

# LEKOECCOS: Kombiniertes ökonomisch-ökologisches Gebäudelebenszyklusmodell

C. Ipser  
H. Floegl  
H. Mötzl  
V. Huemer-Kals  
U. Radosch  
S. Geissler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 49/2014

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# LEKOECCOS: Kombiniertes ökonomisch-ökologisches Gebäudelebenszyklusmodell

Dipl.-Ing. Christina Ipser, Dipl.-Ing. Dr. Helmut Floegl  
Donau-Universität Krems

Mag. Hildegund Mötzl, Mag. Veronika Huemer-Kals  
IBO - Österr. Institut für Bauen und Ökologie GmbH

Mag. Dr. Ulrike Radosch  
AEA - Austrian Energy Agency (Österr. Energieagentur)

Mag. Dr. Susanne Geissler  
SERA energy & resources e.U.

Wien, Mai 2014

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



# Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einleitung.....  | 15 |
| 1.1   | Ausgangssituation und Problemstellung .....  | 15 |
| 1.2   | Ziele des Forschungsprojekts LEKOECOS.....   | 16 |
| 2     | Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....   | 17 |
| 2.1   | Beschreibung des Standes der Technik.....  | 17 |
| 2.1.1 | Methoden der ökologischen Produktbewertung (Ökobilanz) .....   | 17 |
| 2.1.2 | Lebenszykluskosten-Analyse (LZK- oder LCC-Berechnung) .....  | 20 |
| 2.1.3 | Kombinierte Bewertung: Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment LCA)<br>und Lebenszykluskosten (LZK) ..... | 24 |
| 2.2   | Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....  | 25 |
| 2.2.1 | Erweitertes Schulungstool Energieausweisberechnung basierend auf<br>ÖNORM B 8110-4 und ÖNORM M 7140..... | 25 |
| 2.2.2 | Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten der Österreichischen<br>Energieagentur.....                 | 25 |
| 2.2.3 | Rechenbehelf für die ökologische Lebenszyklusanalyse von Gebäuden<br>(ECOSOFT) .....                     | 27 |
| 2.2.4 | LEKOS - Methodik und Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten<br>von Gebäuden.....                   | 28 |
| 2.3   | Neuerungen und Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des<br>Projekts) .....                | 30 |
| 2.4   | Verwendete Methoden.....   | 31 |
| 2.5   | Vorgangsweise zur Modellentwicklung .....  | 32 |
| 3     | Ergebnisse des Projektes .....   | 32 |
| 3.1   | LEKOECOS Modellentwicklung (AP3) .....   | 32 |
| 3.1.1 | Beschreibung der Basismodelle ECOSOFT und LEKOS.....   | 32 |
| 3.1.2 | Analyse der weiteren Basismodelle .....  | 34 |
| 3.1.3 | Entwicklung der Basisstruktur für das harmonisierte<br>Lebenszykluskostenmodell LEKOECOS .....           | 35 |
| 3.1.4 | Zusammenführung des ökonomischen und ökologischen Modells .....  | 36 |
| 3.1.5 | Ökologische Relevanz und Festlegung der Systemgrenzen.....   | 37 |
| 3.1.6 | Ableitung externer Kosten von CO <sub>2</sub> -Emissionen und Möglichkeiten der<br>Verrechnung.....      | 38 |
| 3.1.7 | Ergebnisse der ökologisch-ökonomischen Berechnung.....   | 40 |
| 3.2   | LEKOECOS Grundelemente-Katalog (AP2) .....   | 42 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.2.1 | Grundelemente-Katalog Konstruktion.....  | 43  |
| 3.2.2 | Grundelemente-Katalog Haustechnik.....   | 43  |
| 3.3   | LEKOEKOS Rechenmodell (AP 3).....  | 45  |
| 3.3.1 | Modellteil Energie im Betrieb.....   | 45  |
| 3.3.2 | Modellteil Dienstleistungen.....   | 53  |
| 3.3.3 | Ökobilanzmodell.....   | 56  |
| 3.3.4 | Rechenhilfemodell zur Errichtungskostenschätzung.....  | 61  |
| 3.4   | LEKOEKOS Tool (AP4) - Handbuch.....  | 62  |
| 3.4.1 | Wesentliche Charakteristika des kombinierten Rechenmodells<br>LEKOEKOS.....                          | 62  |
| 3.4.2 | Anwendung des LEKOEKOS Tools.....  | 63  |
| 3.4.3 | Farbmarkierung der Tabellenblätter.....  | 64  |
| 3.4.4 | Beschreibung der Tabellenblätter.....  | 66  |
| 3.5   | LEKOEKOS Modellvalidierung (AP5).....  | 77  |
| 3.5.1 | Vorgehensweise.....  | 77  |
| 3.5.2 | Ausgewählte Gebäude für die Validierung.....   | 78  |
| 3.5.3 | Datenerhebung und -eingabe ins LEKOEKOS-Modell.....  | 81  |
| 3.5.4 | Ergebnisse der Testanwendungen.....  | 82  |
| 3.6   | Einpassung in das Programm.....  | 94  |
| 3.7   | Beitrag zum Gesamtziel des Programms.....  | 95  |
| 3.8   | Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im<br>Projekt.....               | 96  |
| 3.9   | Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse.....                                | 97  |
| 4     | Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen.....  | 98  |
| 5     | Ausblick und Empfehlungen.....   | 100 |
| 6     | Verzeichnisse.....   | 103 |
| 7     | Anhang.....  | 111 |
| 7.1   | Anhang 1 Dokumentation Grundelemente-Katalog.....  | 111 |
| 7.2   | Anhang 2 Dokumentation Modellvalidierung - Eingabedaten und<br>Detailergebnisse der Testgebäude..... | 111 |



## Abkürzungsverzeichnis

|                     |   |
|---------------------|---|
| AP                  | Acidification Potential (Versauerungspotential)   |
| AT Mix              | Österreichmix (Strom)   |
| BG                  | Bilanzgrenze  |
| BGF                 | Brutto-Grundfläche  |
| CO <sub>2</sub> eq. | Kohlendioxid-Äquivalent   |
| d                   | Tag   |
| ENTSO-E             | European Network of Transmission System Operators (Nachfolge von UCTE seit 2009)  |
| EP                  | Eutrophication Potential (Beitrag zur Eutrophierung)  |
| GWP                 | Global Warming Potential (Treibhauspotential)   |
| KWK                 | Kraftwärmekopplung  |
| LCA                 | Life cycle assessment (Ökobilanz)   |
| LCCA                | Life Cycle Cost Analysis  |
| LZK                 | Lebenszykluskosten  |
| Mono-Si             | Monokristallines Silizium   |
| ODP                 | Ozone Depletion Potential (Beitrag zum Abbau des stratosphärischen Ozons)   |
| PEI                 | Primärenergieinhalt (Bedarf an erneuerbaren und nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen)                                |
| PEI e               | Primärenergieinhalt erneuerbar (Bedarf an erneuerbaren energetischen Ressourcen)  |
| PEI ne              | Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (Bedarf an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen)                                |
| Pkm                 | Personenkilometer   |
| POCP                | Photochemical Ozone Creation Potential (Beitrag zur Bildung von Photooxidantien)  |
| PV                  | Photovoltaik  |
| SEER                | Seasonal Energy Efficiency Ratio  |
| tkm                 | Tonnenkilometer   |
| UCTE Mix            | Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (europaweite Zusammensetzung des Stroms; bis 2009, dann ENTSO-E) |

## **Kurzfassung**

### **Ausgangssituation/Motivation**

Die Sicherstellung der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit von Gebäuden, erfordert eine Optimierung bereits in der Planungsphase sowie die laufende Nachjustierung über den gesamten Lebenszyklus. Je früher im Planungsverlauf eines Neubaus oder einer Sanierung verschiedene Planungsvarianten untersucht werden, desto besser kann optimiert und desto stärker können die Projektentscheidungen beeinflusst werden.

Lebenszykluskostenberechnungen liefern aussagekräftige Kennzahlen für die ökonomische Nachhaltigkeit von Gebäuden. Lebenszykluskostenprognosen bieten schon in der Planungsphase die Möglichkeit, die langfristige Leistbarkeit und damit auch die ökonomische Nachhaltigkeit von Immobilien abzuschätzen. Die Berechnung ökologischer Indikatoren und deren Optimierung haben vor allem für die ökologische Nachhaltigkeit, und auch in Hinblick auf mögliche zukünftige Umweltsteuern, wie etwa eine CO<sub>2</sub>-Steuer, Bedeutung. Bisher wurden die entsprechenden Analysen getrennt und mit den jeweils passenden Werkzeugen durchgeführt.

### **Inhalte und Zielsetzungen**

Das Ziel des Forschungsprojektes LEKOECOS war es, ein einfach anzuwendendes Werkzeug zur Ermittlung der lebenszyklischen Ressourcenverbräuche von Gebäuden und den damit verbundenen Folgewirkungen zu schaffen. Dieses Werkzeug enthält ein neues Gebäudelebenszyklusmodell, das auf dem FFG-geförderten Lebenszykluskostenmodell LEKOS der Donau-Universität 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.

Die Aufgabenstellung bringt es mit sich, dass große Mengen unterschiedlicher Daten zu erheben und strukturiert zu verarbeiten sind. Daher werden verschiedene Maßnahmen getroffen, um die Anwendung des LEKOECOS-Programms zu vereinfachen. Dazu gehören unter anderem eine aufgabenbezogene NutzerInnenführung und eine strukturierte anwendungsorientierte Zusammenstellung verschiedener Voreinstellungswerte, die durch detaillierte Daten ersetzt werden können, sobald diese verfügbar sind.

Eine ganz wesentliche Maßnahme zur Vereinfachung der Dateneingabe stellen die neu entwickelten und hinterlegten Grundelemente-Kataloge dar. Diese enthalten die Umweltkennzahlen für Grundmaterialien, typische Bauteilschichten, Haustechnik- und Energiebereitstellungssysteme für die Gebäudetypen Bürogebäude, Schulen und Wohnbauten,

sowie für Transport- und Entsorgungssysteme. Für die Ökobilanz können die vorgefertigten Elemente aus den Katalogen ausgewählt oder eigene Konstruktionen eingegeben werden.

Das neue LEKOECOS-Programm wurde an drei Beispielgebäuden validiert und zur Überprüfung der Anwendungsfreundlichkeit ausgewählten BauträgerInnen, PlanerInnen und Facility ManagerInnen vorgestellt. Seit Projektabschluss kann es mit einer technischen Beschreibung und Bedienungsanleitung kostenlos von den Projektwebseiten der Projektbeteiligten heruntergeladen werden.

## **Methodische Vorgehensweise**

Als wissenschaftliche Methode wurde die Modellentwicklung eingesetzt. Das neue Berechnungsmodell basiert auf dem FFG-geförderten Lebenszykluskostenmodell LEKOS der Donau-Universität Krems und dem ökologischen Materialbewertungstool ECOSOFT des Österreichischen Instituts für Bauen und Ökologie (IBO).

Ziel war die Entwicklung eines Berechnungsprogramms, mit dem die Lebenszykluskosten und die lebenszyklischen Wirkungen auf die Treibhausgas- und Energiebilanz von Gebäuden konsistent, auf Normen basierend und einfach bereits in der Planungsphase ermittelt werden können. Entscheidend für die Modellentwicklung war außerdem die klare Formulierung und Dokumentation ausgewogener und abgestimmter Annahmen und Idealisierungen. Die Viabilität des LEKOECOS-Programms wurde durch die Anwendung an konkreten Gebäudebeispielen überprüft.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Zentrales Ergebnis des LEKOECOS-Projekts ist ein frei zugängliches und einfach anzuwendendes Excel-basiertes Werkzeug zur gemeinsamen Berechnung von Lebenszykluskosten und lebenszyklischen Umweltwirkungen von Gebäuden. Durch die Kombination der ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusbetrachtung können die NutzerInnen zugleich die ökonomischen und ökologischen Ressourcen über den Gebäudelebenszyklus abgestimmt optimieren. Das LEKOECOS-Modell wurde BauträgerInnen, PlanerInnen und Facility ManagerInnen vorgestellt und steht gemeinsam mit dem Projektbericht, der die Modelldokumentation und ein umfassendes Handbuch enthält auf der Haus der Zukunft Projektseite zum Herunterladen zur Verfügung.

Obwohl es eine der großen Herausforderungen des LEKOECOS-Projektes war, die unterschiedlichen Methoden, Terminologien und Sichtweisen (z.B. in Bezug auf die Definition des Gebäudelebenszyklus) der Kostenrechnung und der Ökologie zusammen zu bringen, zeigten sich auch Gemeinsamkeiten und Synergien. So wurden etwa Modellteile des Lebenszykluskostentools LEKOS entsprechend adaptiert und für die Ermittlung von Ökokennzahlen verwendet, und auch ein umgekehrtes Vorgehen ist vorstellbar.

Die Validierung des Gesamtmodells erfolgte in Form von Testanwendungen anhand ausgewählter Gebäude mit dem Ziel der Überprüfung der Funktionalität und Anwendbarkeit, sowie der Plausibilität einzelner Modellteile. Die Ergebnisse der Testanwendungen

untermauern die Resultate früherer Forschungsprojekte zur lebenszyklischen Kostenbetrachtung von Gebäuden, wonach die Gebäudefolgekosten bereits bei relativ kurzen Betrachtungszeiträumen (36 Jahre bei den Testanwendungen) ein Vielfaches der Errichtungskosten betragen. Außerdem zeigt sich bei einer Gegenüberstellung der Umweltwirkungen aus der Gebäudeerrichtung mit jenen aus Nutzung und Betrieb inklusive Objektbeseitigung und Abbruch, dass die Umweltwirkungen aus dem Betrieb bei einem Betrachtungszeitraum von 36 Jahren ebenfalls deutlich mehr als die Hälfte der gesamten lebenszyklischen Umweltwirkungen der Errichtung ausmachen.

## **Ausblick**

Mit dem LEKOECOS-Modell können ganz neue Erkenntnisse über die ökonomisch-ökologische Optimierung von Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus gewonnen werden. Schon in der Planungsphase von Gebäuden können auf diese Weise in Zukunft mögliche ökonomisch-ökologische Zielkonflikte erkannt und durch eine abgestimmte Optimierung der Planung bestmöglich gelöst werden. Mit den Ergebnissen des LEKOECOS-Projektes können entscheidende Impulse für die Ausbildung und Vernetzung der Planenden gesetzt werden.

Im Zuge der LEKOECOS-Modellentwicklung wurde jedoch auch der weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich der kombinierten ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden deutlich. Ein großes Potential sehen die ForschungspartnerInnen sowohl in der konsequenten Weiterentwicklung als auch in der Anwendung des LEKOECOS-Modells zu Forschungszwecken.

## **Abstract**

### **Initial situation / motivation**

Ensuring the economical and environmental sustainability of buildings requires continual optimisation throughout their entire life cycle. The sooner different planning alternatives are evaluated during the planning process of a new building or a refurbishment, the more possibilities for modification still exist, and the more greatly project decisions can be influenced.

Life cycle cost calculations are of particular interest to parties involved with construction, operation, and use, because they offer the opportunity to assess the long-term affordability of real estate already during the planning stage, whereas ecological indicators such as the global warming potential and its optimisation are especially important for environmental sustainability with regard to future environmental taxes such as a CO<sub>2</sub> tax. So far, the corresponding analyses have been carried out separately with their respective appropriate tools.

### **Contents and objectives**

The aim of the research project LEKOECOS is to create an easy to apply tool for determining the life cycle resource consumption of buildings. This tool will include a new building life cycle model based on the Danube University's FFG-funded life cycle cost model LEKOS and the ecological material evaluation tool ECOSOFT of the Austrian Institute for Building and Environment (IBO).

The earlier a strategic resource management is carried out in the life cycle, the more effective it is. The resulting LEKOECOS building life cycle model will therefore enable economical and environmental optimisation already during the early planning stage, a time at which basic decisions are made and many options for change are still feasible.

As a result of this task, large amounts of various data are generated, all of which need to be processed in a well-structured manner. Therefore, various measures are taken to facilitate the application of the LEKOECOS programme. These include, amongst other things, a task-related user guide and a structured, application-orientated compilation of various default values which may be replaced by more detailed data as they become available.

Newly developed basic elements catalogues present a fundamental measure to simplify data input. They include typical structural designs and engineering systems for office buildings, schools, and residential buildings, as well as related ecological parameters. Ready to use elements can be selected from the catalogues and adjusted as needed.

The new LEKOECOS programme will be presented to developers, planners, and facility managers and will be available for download on the project website free of charge after project completion, together with a technical description and user manual.

## **Methodical approach**

Model development is applied as a scientific method. The new calculation model is based on the FFG-funded life cycle cost model LEKOS of the Danube University Krems and the ecological material evaluation tool ECOSOFT of the Austrian Institute for Building and Environment (IBO).

The goal is to create a calculation programme able to consistently determine a building's life cycle costs as well as its life cycle's environmental impacts (in CO<sub>2</sub> equivalents) based on standards and applicable during the planning process. Therefore, explicit phrasing and the documentation of well-balanced and concerted assumptions and idealisations is critical for model development. The viability of the LEKOECOS programme is verified by the application of specific building examples.

## **Results and conclusions**

Essentially, the result of the LEKOECOS project is an openly accessible and easy to use excel based tool for the joint calculation of life cycle costs and life cycle related environmental impacts of buildings. By combining economical and environmental life cycle analyses, buildings' users can at the same time optimise economical and environmental resources in coordination with a building's life cycle. The LEKOECOS model was presented to developers, planners, and facility managers and is available for download on the project 'Haus der Zukunft' website together with the project report, which includes the model documentation and a comprehensive manual. Even though one of the greatest challenges of LEKOECOS project was to bring different methods, terminologies, and views (e.g. relating to the definition of building life cycle) on cost calculation and ecology together, similarities and synergies nevertheless still appeared. For example, model parts of the life cycle cost tool LEKOS were adjusted accordingly and used for the determination of ecological parameters; and a vice versa approach is also conceivable. The validation of the overall model was carried out in the form of test applications based on selected buildings with the aim of checking functionality and applicability, as well as the reasonableness of individual model parts. The results of the test applications support the results of previous research projects on life cycle cost analysis of buildings, according to which building follow-up costs amount to a multiple of the construction costs already after relatively short observation periods (36 years in the test applications). Besides, comparison of environmental impacts caused by a building's construction with those deriving from its use and operation (including demolition and removal) shows that, after an observation period of 36 years, the environmental impacts deriving from its operation also amount to well over half of a building's total life cycle's environmental impact caused by its construction.

## **Prospects / suggestions for future research**

With the LEKOECOS model, completely new insights into the economical and ecological optimisation of buildings can be obtained throughout their entire life cycle. In future, potential economical and ecological conflicts of goals can, by this means, already be recognised

during the planning phase of buildings and be solved to the best extent by optimising the planning process accordingly. Key impetus for planners' training and networking can be added with the results of project LEKOECS.

The development of the LEKOECS model also demonstrated the need for further research and development in the area of combined economical and environmental life cycle assessment of buildings. Research partners see a huge potential in the LEKOECS model's consistent enhancement as well as in its application for research purposes.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit von Gebäuden sicherzustellen erfordert ihre laufende Optimierung über den gesamten Lebenszyklus. Je früher im Planungsverlauf eines Neubaus oder einer Sanierung verschiedene Planungsvarianten untersucht werden, desto mehr Optimierungsmöglichkeiten bestehen und desto stärker können die Projektentscheidungen beeinflusst werden.

Lebenszykluskostenberechnungen bieten die Möglichkeit, schon in der Planungsphase die langfristige Leistbarkeit von Immobilien abzuschätzen, die Berechnung ökologischer Indikatoren wie das Treibhauspotenzial und deren Optimierung haben vor allem für die ökologische Nachhaltigkeit, oder in Hinblick auf mögliche zukünftige Umweltsteuern wie etwa eine CO<sub>2</sub>-Steuer Bedeutung. Bisher wurden die entsprechenden Analysen getrennt und mit den jeweils passenden Werkzeugen durchgeführt.

Es gibt derzeit viele teilweise sehr mächtige Gebäudebewertungsmodelle zur ökologischen und ökonomischen Beurteilung von Planungen und Gebäuden, auf die hier nicht im Detail eingegangen werden kann.

Die verfügbaren Tools können jedoch zusammenfassend wie folgt charakterisiert werden (wobei nicht alle Merkmale bei jedem Tool zutreffen müssen):

- Sie sind aufwändig.
- Sie erfordern Planungsdaten, die oft erst in der Detailplanung festgelegt werden.
- Sie sind nicht für eine Variantenanalyse konzipiert.
- Die zugrundeliegenden Modellvorstellungen, Idealisierungen und Abgrenzungen sind für die AnwenderInnen nicht einsichtig (welche Parameter sind in den Lebenszykluskosten enthalten und nicht enthalten und welche aus dem Gebäudelebenszyklus induzierten Verbräuche von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten werden berücksichtigt oder nicht berücksichtigt).
- Sie liefern Ergebnisse, die nicht mit den Ergebnissen der jeweils anderen Programme vergleichbar sind.

Die Zusammenführung von Wissen um ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit ist derzeit nur schwer möglich und wird – von Pilotprojekten und InnovatorInnen abgesehen - im Berufsalltag kaum praktiziert.



## 1.2 Ziele des Forschungsprojekts LEKOECOS

Mit dem Forschungsprojekt LEKOECOS wurde ein einfach anzuwendendes Werkzeug zur Ermittlung der lebenszyklischen Ressourcenverbräuche von Gebäuden und den damit verbundenen Folgewirkungen geschaffen. Dieses Werkzeug enthält ein Gebäudelebenszyklusmodell, das auf dem FFG-geförderten Lebenszykluskostenmodell LEKOS der Donau-Universität 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 ermöglicht daher die ökonomische und ökologische Optimierung bereits in der frühen Planungsphase, zu einem Zeitpunkt also, zu dem grundlegende Entscheidungen getroffen werden und noch viele Optimierungsmöglichkeiten bestehen.

Das neue LEKOECOS-Programm richtet sich an BauträgerInnen, PlanerInnen und Facility ManagerInnen und steht mit einer technischen Beschreibung und Bedienungsanleitung kostenlos auf den Projektwebseiten der Projektbeteiligten zum Download zur Verfügung.

## 2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

### 2.1 Beschreibung des Standes der Technik

#### 2.1.1 Methoden der ökologischen Produktbewertung (Ökobilanz)

Bei der Ökobilanzierung handelt es sich um eine Bestimmung der stoffflussverbundenen Umweltwirkungen im Verlauf des Lebensweges von Produkten und Dienstleistungen. Die Methode wurde durch Arbeiten von SETAC<sup>1</sup>, CML<sup>2</sup>, Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment<sup>3</sup> entwickelt und schließlich in den Normen ISO 14040 und 14044 standardisiert. Nach ISO 14040 ist Life Cycle Assessment definiert als „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems (Ware oder Dienstleistung) im Verlauf seines Lebensweges“. Der gesamte Lebensweg umfasst die Rohstoffgewinnung und -erzeugung, die Energieerzeugung und Materialherstellung bis hin zur Anwendung, Abfallbehandlung und endgültigen Beseitigung (ISO 14040).

Den Rahmen bieten die Normen (in Österreich: ÖNORM EN ISO...):

- ISO 14040 Umweltmanagement - Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- ISO 14044 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen

Für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden kann außerdem die

- ÖNORM EN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethoden

herangezogen werden.

Eine Ökobilanz besteht aus den folgenden vier Phasen, die unter Umständen auch iterativ durchlaufen werden können und die in den ISO-Normen 14040 und 14044 geregelt sind:

- Festlegung von Ziel- und Untersuchungsrahmen;
- Sachbilanz;
- Wirkungsabschätzung;
- Auswertung der Resultate.

---

<sup>1</sup> Consoli et al. 1993, zitiert in Geissler Susanne: Immobilienbewertung als Instrument zur Forcierung der nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Ressourcen (Schwerpunkt Energie) im Hochbau. Wien: Schriftenreihe des Departments Nr. 13 – August 2007. Department für Bautechnik + Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien 2007.

<sup>2</sup> Heijungs et al. 1992, zitiert in Geissler 2007

<sup>3</sup> Lindfors et al. 1995, zitiert in Geissler 2007

Zentral bei der Erstellung einer Ökobilanz ist die Definition der „funktionalen Einheit“, die Gegenstand des Vergleichs ist. In der Sachbilanz werden alle Input- und Outputposten aufgelistet, wobei jeder einzelne Sachbilanzposten mit verschiedenen Umweltproblemen in einem Wirkungsverhältnis stehen kann (z.B.: Schwefeldioxidemissionen mit dem Umweltproblem "Versauerung"). Das Wirkungsverhältnis wird durch die sogenannten Charakterisierungsfaktoren, welche sich immer auf eine Leitsubstanz beziehen, beschrieben, z.B.: "Treibhauspotenzial (GWP, Global Warming Potential)" in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für den Einfluss einer atmosphärischen Emission auf die Klimaerwärmung.

| <b>Indikatoren, die Umweltauswirkungen beschreiben</b>   | <b>Einheit</b>                          |
|--|---|
| Treibhauspotential (GWP);  | kg CO <sub>2</sub> äquiv                |
| Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP);  | kg FCKW 11 äquiv                        |
| Versauerungspotential von Boden und Wasser (AP);   | kg SO <sub>2</sub> äquiv.               |
| Eutrophierungspotential (EP)   | kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> äquiv. |
| Potential für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP);  | kg Ethen äquiv                          |
| Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen - nicht fossile Ressourcen (ADP Stoffe)           | kg Sb äquiv                             |
| Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen - fossile Brennstoffe (ADP fossile Energieträger) | MJ                                      |

| <b>Indikatoren, die die Verwendung von Ressourcen beschreiben</b>                                       | <b>Einheit</b> |
|---|----------------|
| Verwendung erneuerbarer Primärenergieressourcen - ohne Energieressourcen, die als Rohstoff dienen       | MJ             |
| Verwendung von erneuerbaren Primärenergieressourcen, die als Rohstoff dienen                            | MJ             |
| Verwendung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen - ohne Energieressourcen, die als Rohstoff dienen | MJ             |
| Verwendung von nicht erneuerbaren Primärenergieressourcen, die als Rohstoff dienen                      | MJ             |
| Verwendung von Sekundärmaterialien  | kg             |
| Verwendung von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen  | MJ             |
| Verwendung von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen  | MJ             |
| Verwendung von Frischwasser, netto  | m <sup>3</sup> |

| <b>Indikatoren, die Abfallkategorien beschreiben</b> | <b>Einheit</b> |
|--|----------------|
| Entsorgter gefährlicher Abfall                       | kg             |
| Entsorgter ungefährlicher Abfall                     | kg             |
| Entsorgter radioaktiver Abfall                       | kg             |

| <b>Indikatoren, die aus dem System austretende Abgabeströme beschreiben</b> | <b>Einheit</b> |
|---|----------------|
| Komponenten für die Wiederverwendung  | kg             |
| Material für das Recycling  | kg             |
| Material für die Energierückgewinnung (keine Abfallverbrennung)             | kg             |

|                     |    |
|---------------------|----|
| Exportierte Energie | MJ |
|---------------------|----|

**Tabelle 1: Umweltindikatoren nach ÖNORM EN 15978**

In Tabelle 1 sind alle in der ÖNORM EN 15978 aufgelisteten Indikatoren dargestellt. Die Umweltindikatoren wurden in der ÖNORM EN 15978 aufgrund der Tatsache ausgewählt, dass es vereinbarte Berechnungsmethoden gibt. Die Aufnahme weiterer Umweltindikatoren ist derzeit (März 2014) in Diskussion.

Im Gebäudebereich können Ökobilanzen auf verschiedenen Ebenen eingesetzt werden. Sie dienen einerseits zur Identifizierung von umweltrelevanten Prozessen oder Phasen, zum Vergleich von Baustoffen und Energiebereitstellungsoptionen für die Entscheidungsfindung in der Planung, oder aber zur Bewertung des gesamten Gebäudes von der Herstellung bis zum Rückbau inklusive aller vorgelagerter Prozesse. Entsprechend der ÖNORM EN 15978 wird das Gebäude als System betrachtet, das in die Herstellungsphase, Errichtungsphase, Nutzungsphase und Entsorgungsphase unterteilt, welche wiederum in weitere Teilabschnitte gegliedert werden (vgl. Tabelle 2). Außerhalb der Systemgrenze des Gebäudelebenszyklus liegt das sogenannte „Modul D“, in dem Vorteile und Belastungen durch Recycling oder Energierückgewinnung abgebildet werden können.

|                         |    |   |
|-------------------------|----|---|
| Herstellungsphase       | A1 | Rohstoffbeschaffung                                     |
|                         | A2 | Transport   |
|                         | A3 | Produktion  |
| Errichtungsphase        | A4 | Transport   |
|                         | A5 | Errichtung / Einbau                                     |
| Nutzungsphase           | B1 | Nutzung   |
|                         | B2 | Instandhaltung  |
|                         | B3 | Instandsetzung  |
|                         | B4 | Austausch   |
|                         | B5 | Modernisierung  |
|                         | B6 | Energieverbrauch im Betrieb                             |
|                         | B7 | Wasserverbrauch im Betrieb                              |
| Entsorgungsphase        | C1 | Rückbau/Abriss  |
|                         | C2 | Transport   |
|                         | C3 | Abfallbehandlung  |
|                         | C4 | Beseitigung   |
| Gutschriften und Lasten | D  | Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential |

**Tabelle 2: Lebenszyklusphasen nach EN 15978**

Die Komplexität des „Produktes Gebäude“ verdeutlicht, dass eine mit vertretbarem Aufwand machbare Bewertung nur mittels Ökobilanzdatenbank, Softwareunterstützung, vorgefertigter Module und Vereinfachungen möglich ist. Dafür wurden in den vergangenen Jahren unterschiedliche Software-Tools entwickelt.

## **2.1.2 Lebenszykluskosten-Analyse (LZK- oder LCC-Berechnung)**

### **2.1.2.1 Methoden der Lebenszykluskostenberechnung**

Die Lebenszykluskosten-Analyse (engl.: Life Cycle Cost Analysis – LCCA) ist ein Sammelbegriff für eine Betrachtung aller akkumulierter Kosten eines Gebäudes von der Planung über die Errichtung, den Betrieb mit Berücksichtigung größerer Instandsetzungen bis hin zum Abbruch und der Entsorgung des Gebäudes. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht handelt es sich um eine Kostenflussbetrachtung (Cash Flow) aus der Perspektive der Eigennutzung. Aufgrund der unterschiedlichen Zeitpunkte der Entstehung der Kosten wird gerne mit den Barwerten (Present Values) der Kosten gerechnet. Die weltweit erste Norm zur Definition der Lebenszykluskosten für Gebäude war die norwegische Norm NS 3454. Sie erschien im Jahr 2000 als 2. Ausgabe der 1988 erschienenen Norm „Jährliche Kosten für Gebäude“ mit dem neuen Titel „Lebenszykluskosten für Gebäude, Grundlagen und Klassifikationen“<sup>4</sup>.

Ein weiterer Meilenstein in der Standardisierung der Berechnungsgrundlagen war die ISO 15686-5<sup>5</sup>. Sie legt eine allgemeine, für standardisierte Lebenszykluskosten-Berechnungen nicht wirklich ausreichend präzise Struktur für Kostengruppen von Lebenszykluskosten fest. Diese werden in 4 Hauptkostengruppen, „Construction“ (entspricht den Errichtungskosten) „Operation“ und „Maintenance“ (entspricht den Nutzungskosten) und „End-of-life“ (entspricht den Objektbeseitigungs- und Abbruchkosten) mit je 5 bis 9 Unterkostengruppen strukturiert.

Eine fundierte Basis für Lebenszykluskostenberechnungen war erst die neue ÖNORM B 1801-2<sup>6</sup> Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 2: Objekt-Folgekosten. Zusammen mit der ÖNORM B 1801-1<sup>7</sup> lassen sich Lebenszykluskosten bei den Errichtungskosten in Kostenbereiche und Kostenelemente und bei den Folgekosten in zwei Kostengruppen-ebenen untergliedern (vgl. Abbildung 1).

Nach der Fertigstellung des Gebäudes entstehen die Folgekosten. Sie setzen sich aus den Kosten zusammen, die während der Nutzungsphase anfallen, und den Kosten für Abbruch und Entsorgung des Gebäudes. Folgekosten betreffen neben den EigentümerInnen auch die

---

<sup>4</sup> NS 3454, 2.utgave mars 2000, *Livssyklusostnader for byggverk – Prinsipper og struktur*

<sup>5</sup> ISO 15686-5:2008-6 Buildings and constructed assets – Service life planning, Part 5, Life-Cycle Costing, 2008.

<sup>6</sup> ÖNORM B 1801-2:2011-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 2: Objekt-Folgekosten

<sup>7</sup> ÖNORM B 1801-1:2009-06 Bauprojekt und Objektmanagement - Teil 1: Objektterrichtung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2009.

BetreiberInnen und NutzerInnen von Gebäuden<sup>8</sup>. In der genormten Form in ihrer Gesamtheit treten sie eigentlich nur für EigennutzerInnen auf.

| Finanzierungskosten                                       |                            |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
|---|----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------|------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|
| <b>Kostengruppen gemäß ÖNORM B 1801-1 - Baugliederung</b> |                            |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 0   | Grund GRD                  |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 1   | Aufschließung AUF          | Bauwerkskosten BWK | Baukosten BAK | Errichtungskosten ERK | Gesamtkosten GEK | Anschaffungskosten | Gebäudebasiskosten GBK          |                    |                 |                        |
| 2   | Bauwerk-Rohbau BWR         |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 3   | Bauwerk-Technik BWT        |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 4   | Bauwerk-Ausbau BWA         |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 5   | Einrichtung EIR            |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 6   | Außenanlagen AAN           |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 7   | Planungsleistungen PLL     |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 8   | Nebenleistungen NBL        |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 9   | Reserven RES               |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| <b>Kostengruppen gemäß ÖNORM B 1801-2</b>                 |                            |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 1   | Verwaltung                 |                    |               |                       |                  |                    | Kosten des Gebäudebetriebes KGB | Nutzungskosten ONK | Folgekosten OFK | Lebenszykluskosten LZK |
| 2   | Technischer Gebäudebetrieb |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 3   | Ver- und Entsorgung        |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 4   | Reinigung und Pflege       |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 5   | Sicherheit                 |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 6   | Gebäudedienste             |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 7   | Instandsetzung, Umbau      |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 8   | Sonstiges                  |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |
| 9   | Objektbeseitigung, Abbruch |                    |               |                       |                  |                    |                                 |                    |                 |                        |

**Abbildung 1: Kosten im Gebäudelebenszyklus nach ÖNORM B 1801 Teil 2**

Bei der Berechnung der LZK kommt der Umwandlung von zukünftigen Kosten in derzeitige Kosten die zentrale Rolle zu. Die Berechnung von Barwerten (Present Values) ermöglicht es unter anderem, den Gegenwartswert von Investitionen in der Zukunft zu bestimmen, wodurch Vergleiche von Alternativen möglich werden. Eine weitere Standardisierung der Lebenszykluskostenberechnungsmethoden erfolgte durch die ÖNORM B1801-4<sup>9</sup>. Alle zitierten Normen betrachten Erlöse (z.B. Strom aus Photovoltaik oder aus dem Verkauf Bewehrung beim Abbruch) als negative Kosten. Nach Pelzeter<sup>10</sup> sollten auch die Erlöse zu den Kosten betrachtet werden. Sie bezeichnet diese Betrachtung und spricht von der „Analyse des Lebenszykluserfolgs“<sup>11</sup>.

### 2.1.2.2 Ausgewählte Rechenmodelle und Werkzeuge zur Lebenszykluskostenberechnung

In verschiedenen Publikationen wurde seit einigen Jahren eine sehr große Anzahl unterschiedlichster Rechenmodelle zur Ermittlung der Lebenszykluskosten von Gebäuden

<sup>8</sup> Floegl Helmut: Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien, Forschungsprojekt „Nachhaltig massiv“ des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der Wirtschaftskammer Österreich“, 2008-2009.

<sup>9</sup> ÖNORM B 1801-4:2014-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten

<sup>10</sup> Pelzeter, Andrea: Lebenszykluskosten von Immobilien, Hrsg: Schulte Karl-Werner, Bone-Winkel Stephan, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 2006. ISBN 3-89984-156-5.

<sup>11</sup> CRB und IFMA Schweiz: Lebenszykluskosten-Ermittlung von Immobilien. Teil 1: Modell, Teil 2: Tool. Herausgeber: IFMA Schweiz, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich 2011.

entwickelt. Ein bekanntes Beispiel ist das nordische Lebenszykluskostenmodell für die Berechnung von Lebenszykluskosten. Es basiert auf der langjährigen Praxis der norwegischen Vereinigung Beratender Ingenieure (RIF), Informationen über die Konsequenzen der Investitionen im Baubereich zu sammeln und wurde von der norwegischen Statsbyg gemeinsam mit einer Reihe nordischer Organisationen entwickelt und im Jahre 2004 veröffentlicht<sup>12</sup>.

Auf dem Markt werden derzeit auch verschiedene Software-Tools zur Analyse der Lebenszykluskosten von Gebäuden angeboten. Darüber hinaus bieten Dienstleistungsunternehmen die Erstellung maßgeschneiderter Softwaretools für die unternehmensspezifische Analyse der Lebenszykluskosten von Gebäuden an<sup>13</sup>. Die Firma Intep<sup>14</sup> entwickelte beispielsweise ein Lebenszykluskosten-Tool für Siemens Real Estate. Ziel war es, im Vorentwurf die Bauteile mit den höchsten Lebenszykluskosten zu ermitteln und entsprechende Optimierungspotentiale zu eruieren, da Entscheidungen nicht mehr nur nach Investitionskosten, sondern in Bezug auf den gesamten Lebenszyklus fallen sollten.

Den unterschiedlichen Lebenszykluskosten-Modellen ist gemeinsam, dass sie Gebäude zu einem bestimmten Zeitpunkt (meistens am Ende der Errichtung) betrachten und aus gebäudebezogenen Daten wie der Geometrie der Bauteile, den strukturierten Errichtungskosten oder Raum- und Anforderungskatalogen, Folgekosten errechnen.

### **2.1.2.3 Normen und Richtlinien für die Berechnung von Lebenszykluskosten**

ÖNORM B 1801-1:2009-06 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung

ÖNORM B 1801-2:2011-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 2: Objekt-Folgekosten

Die neue ÖNORM B 1801-2 brachte eine ausreichende Standardisierung für vergleichbare Folgekosten mit konsistenten und gut strukturierten Haupt- und Untergruppen. Damit ist nun eine standardisierte Basis für Lebenszykluskostenkennzahlen gegeben<sup>15</sup> - interessant ist die beigefügte Tabelle zum Vergleich der Kostenstellen mit der DIN 18960: 02 2008<sup>16</sup>.

ÖNORM B 1801-4:2014-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten

---

<sup>12</sup> Bjørberg Svejn et al.: Nordic Project for LCC, 2004, [http://coreweb.nhosp.no/bnl.no/html/files/Lcc\\_brosjyre.pdf](http://coreweb.nhosp.no/bnl.no/html/files/Lcc_brosjyre.pdf) (abgerufen am 20. Februar 2010).

<sup>13</sup> Geissler Susanne et al.: Lebenszykluskosten Prognosemodell. Immobilien-Datenbank-Analysen zur Ableitung lebenszyklusorientierter Investitionsentscheidungen. Österreichische Energieagentur, Wien 2010.

<sup>14</sup> Intep (2011): <http://www.intep.com/14,83,32-Lebenszykluskosten.html> (abgerufen am 08. Juli 2011)

<sup>15</sup> Floegl Helmut: Kennzahlen für ökonomische Nachhaltigkeit von Gebäuden“; Netzwerk bau, Fachzeitschrift für Baumanagement und Bauwirtschaft, 2011/14, S. 38 - 47.

<sup>16</sup> DIN 18960:2008-02 Nutzungskosten im Hochbau, Beuth Verlag, Berlin 2008.

Diese Norm legt die Grundlagen der Kostenbetrachtungen und der Berechnungsmethode für Lebenszykluskosten normativ fest.<sup>17,18</sup>

#### ÖNORM M 7140:2013-07 Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode

Diese ÖNORM legt eine dynamische Rechenmethode fest, die auf der Zinseszinsrechnung beruht.<sup>19</sup>

#### ÖNORM B 8110-4:2011-07 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes

Die ÖNORM beschreibt die Anforderungen an die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Barwertmethode: Es sind Eingabedaten über kapitalgebundene, verbrauchsgebundene und nicht verbrauchsgebundene Baunutzungskosten anzugeben sowie kalkulatorische Zinsen festzulegen.<sup>20</sup>

#### GEFMA/IFMA Richtlinie 220-1 und -2 Lebenszykluskostenrechnung im Facility Management

Die Richtlinie GEFMA/IFMA 220-1 und -2 Lebenszykluskostenrechnung im Facility Management wurde in einer Kooperation von Andrea Pelzeter<sup>21</sup>, GEFMA<sup>22</sup>/ IFMA<sup>23</sup> und Intep<sup>24</sup> erarbeitet, womit eine zwischen Deutschland und der Schweiz akkordierte Fassung vorliegt. Die Richtlinie definiert den Begriff „Lebenszykluserfolg“ (siehe auch ISO 15686-5 im folgenden Kapitel): Dabei sind nicht nur Kosten, sondern auch Erlöse und externe Kosten während des gesamten Lebenszyklus zu berücksichtigen.

Bei der Ermittlung der Lebenszykluskosten wird davon ausgegangen, dass die verfügbare Information im Laufe des Lebenszyklus ständig zunimmt.

#### ISO 15686-5:2008-6 Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 5: Life-Cycle Costing

---

<sup>17</sup> Floegl Helmut: Normative Grundlagen für Lebenszykluskostenberechnungen, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 158. Jg., Heft 1–12/2013.

<sup>18</sup> ÖNORM B 1801-4:2014-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten, Österreichisches Normungsinstitut, April 2014.

<sup>19</sup> ÖNORM M 7140:2013-07 Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode - Begriffsbestimmungen, Rechenverfahren. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2013.

<sup>20</sup> ÖNORM B 8110-4:2011-07 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2011.

<sup>21</sup> <http://www.pelzeter.de/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014).

<sup>22</sup> GEFMA: German Facility Management Association <http://www.gefma.de/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014).

<sup>23</sup> IFMA: International Facility Management Association <http://www.ifma.org/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014).

<sup>24</sup> <http://www.intep.com/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014).



Während das Konzept der Lebenszykluskosten-Analyse ausschließlich Kosten in Betracht zieht, werden bei der so genannten „Whole Life Cost“-Analyse (Analyse des Lebenszykluserfolgs) nach ISO 15686-5 zusätzlich zu den Lebenszykluskosten auch Einkünfte und externe Kosten berücksichtigt.

### **2.1.3 Kombinierte Bewertung: Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment LCA) und Lebenszykluskosten (LZK)**

Lebenszykluskostenberechnungen sind für die an der Errichtung, am Betrieb und der Nutzung beteiligten Personen interessant, weil sie die Möglichkeit bieten, schon in der Planungsphase die langfristige Leistbarkeit von Immobilien abzuschätzen, während ökologische Kennzahlen wie das Treibhauspotential und deren Optimierung vor allem für die ökologische Nachhaltigkeit, aber auch in Hinblick auf zukünftige Umweltsteuern wie etwa eine CO<sub>2</sub>-Steuer Bedeutung haben.

Für die Berechnung der Lebenszykluskosten (LZK) von Gebäuden bilden Ergebnisse von Life Cycle Assessments (LCA) eine wertvolle Basis. Sie stellen die physischen Grundlagen dar, die in der Folge mit monetären Werten belegt werden können. LZK-Berechnungen können auf Mengendaten der LCA zurückgreifen.

Wegen dieser Verbindung zwischen LZK-Berechnung und LCA ist es naheliegend, Ökobilanzierungsmodelle für Gebäude um Kostenberechnungsmodule zu erweitern. Das in Deutschland entwickelte Softwareprogramm LEGEP<sup>25</sup> ist so ein kombiniertes Kostenberechnungs- und Ökobilanzierungstool.

Ein Problem bei der standardisierten Anwendung von LEGEP in Österreich besteht in dem schon angeführten wesentlichen Unterschied der Errichtungskostengliederung nach ÖNORM B 1801 Teil 1 (Trennung in Rohbau und Ausbau) bzw. nach DIN 276 (Rohbau und Ausbau sind in der Hauptgruppe 300 Bauwerk – Baukonstruktion zusammenfasst).

Das Softwareprogramm LEGEP ist mit einem vergleichsweise hohen Aufwand in der Bedienung verbunden. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrades eignet es sich eher für die Analyse und weniger für die Abschätzung lebenszyklischer Kosten und Umweltwirkungen in der frühen Planungsphase. Je früher jedoch im Lebenszyklus ein strategisches Ressourcenmanagement erfolgt, desto effektiver ist es. Eine ökonomische und ökologische Optimierung von Gebäuden sollte daher bereits in der frühen Planungsphase erfolgen, zu einem Zeitpunkt, zu dem grundlegende Entscheidungen getroffen werden und noch viele Änderungsmöglichkeiten bestehen. In diesem Planungsstadium sind dafür derzeit jedoch Berechnungen mit zwei oder mehr verschiedenen Werkzeugen erforderlich, wobei sich die jeweils erforderlichen Eingabedaten teilweise überschneiden und keine vollständige Konsistenz der jeweiligen Kennzahlen garantiert ist.

---

<sup>25</sup> LEGEP (2013): Demoversion der Software, <http://www.legep.de> (abgerufen am 17. Jänner 2014)

## 2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

### 2.2.1 Erweitertes Schulungstool Energieausweisberechnung basierend auf ÖNORM B 8110-4 und ÖNORM M 7140

Das Tool wurde im Rahmen des Projekts „Sanierungsoffensive“ der Österreichischen Energieagentur auf Basis des „EXCEL-Schulungstool für Wohngebäude“ (Christian Pöhn, [www.oib.or.at](http://www.oib.or.at)) erstellt, welches die Berechnung eines Energieausweises auf Excel-Basis ermöglicht. Das Wirtschaftlichkeitstool wurde auf Basis der 2009/2010 vorliegenden Ausgaben der ÖNORM M 7140 und ÖNORM B 8110-4 so erweitert, dass es sich bei der Berechnung der Energieeinsparungen der Methodik des Basistools bedient. Ziel war es, ein Tool für die lebenszyklusorientierte Kostenbetrachtung und gleichzeitig für den Nachweis der kostenoptimalen Mindestwerte gemäß EPBD Recast (Richtlinie 2010/31/EU) zu entwickeln. Inzwischen liegen aktuelle Versionen dieser beiden Normen vor.<sup>26,27</sup>

Es ist erforderlich, das Bestandsgebäude einzugeben bzw. einen Energieausweis für das Bestandsgebäude auf Excel-Basis zu berechnen. Im nächsten Schritt werden die gewünschten Verbesserungsmaßnahmen eingegeben, die als Grundlage für die Berechnung des zweiten Energieausweises nach der Verbesserung dienen. Die erzielten Energieeinsparungen werden daraufhin monetär berechnet und mit den entstehenden Investitionskosten verglichen. Diese Berechnung wird mit der Barwertmethode durchgeführt (dynamische Investitionsrechnung). Die Preise, die dem Tool zugrunde liegen, sind Defaultwerte und von den NutzerInnen auf Aktualität und Plausibilität zu prüfen. Prinzipiell bietet das Tool die Möglichkeit, ein gesamtes Gebäude inklusive Heiztechnik einer wirtschaftlichen Betrachtung zu unterziehen. Das Tool ist derzeit nur für Wohngebäude verfügbar.<sup>28</sup>

### 2.2.2 Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten der Österreichischen Energieagentur

In der Österreichischen Energieagentur wurde ein Kalkulationsschema zur Bestimmung von Lebenszykluskosten entwickelt, das den Vergleich unterschiedlicher Heizsysteme erlaubt. Zusätzlich werden die Kosten von vier möglichen Sanierungsmaßnahmen, nämlich der Dämmung der Außenwand, der obersten Geschoßdecke, der Kellerdecke sowie des Fenstertausches bestimmt.

---

<sup>26</sup> ÖNORM M 7140:2013-07 Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode - Begriffsbestimmungen, Rechenverfahren. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2013.

<sup>27</sup> ÖNORM B 8110-4:2011-07 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2011.

<sup>28</sup> Trebut Franziska, Geissler Susanne: Sanierungsoffensive zur CO<sub>2</sub>- und Energieeinsparung – Österreich umbauen. Publizierbarer Endbericht – A760440 im Programm NEUE ENERGIEN 2020. Klima- und Energiefonds Wien 2010.

Für jede der ausgewählten Maßnahmen (neues Heizsystem, Sanierungsmaßnahme) werden die Investitionskosten, die statische und dynamische Amortisationsdauer und die Einsparung an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bestimmt.

Die BenutzerInnen wählen aus, welche der angeführten Sanierungsmaßnahmen sie untersuchen möchten. Die BenutzerInnen wählen ebenfalls aus, ob der Tausch des Heizungssystems untersucht werden soll. Zur Auswahl werden Heizungsanlagen für Hackgut, Pellets, Heizöl, Erdgas, Strom und Fernwärme angeboten.

Das Modell verwendet Excel, ab Version 2003, und Visual Basic. Im AEA Projekt LCC Info-System wurde das Modell in die ZEUS Datenbank für Energieausweise (EA) integriert. Damit haben die BenutzerInnen der ZEUS Datenbank die Möglichkeit, für geplante Sanierungsmaßnahmen (damals noch nicht im EA verpflichtend anzugeben) die Investitionskosten, die Amortisationsdauer und die CO<sub>2</sub> Einsparung zu bestimmen.

Basis zur Modellierung unterschiedlicher Heizsysteme sind die jährlichen Kosten unterschiedlicher Heizsysteme. Die jährlichen Kosten umfassen Kapitalkosten, verbrauchsgebundene Kosten und betriebsgebundene Kosten. Die Kapitalkosten stellen die jährliche Rückzahlung der Investitionskosten auf Basis der Diskontrate über die Lebensdauer des entsprechenden Heizsystems dar. Für jeden Brennstoff werden die Heizkosten auf Basis von Defaultwerten bestimmt.

Von den BenutzerInnen sind die Angaben zur Gebäudeform und den Ausmaßen, dazu zählen Grundfläche, Volumen, Geschoß und Außenwandstärke, einzugeben. Für alle oben angeführten Dämmmaßnahmen werden in der Applikation die Art des Dämmstoffs und die Dämmstoffdicke ausgewählt. Aus diesen Angaben berechnet das Tool den neuen U-Wert. Für die Sanierungsmaßnahme Fenstertausch können Material und neuer U-Wert ausgewählt werden. Für die Erneuerung des Heizsystems sind die Preissteigerung für Energie, die Inflation und der Hypothekarzinssatz (Diskontrate) anzugeben. Die BenutzerInnen haben die Möglichkeit, den prognostizierten Jahresnutzungsgrad des Heizsystems, sowie für biogene Brennstoffe den Wassergehalt und die Schüttdichte einzugeben. Für sämtliche Input-Daten sind Defaultwerte hinterlegt, die vom Benutzer überschrieben werden können.

Aus den Angaben zum Gebäude wird im Modell der Heizwärmebedarf (HWB) (alt) bestimmt. Der HWB wird aus der Gebäudeheizlast und den prognostizierten Jahresvolllaststunden errechnet. Fehlen die Angaben zum Gebäude, so kann der HWB (alt) ebenso als externer Parameter direkt in die Applikation eingegeben werden.

Im Modell werden die Investitionskosten je Sanierungsmaßnahme und Investitionskosten gesamt, Ersparnis pro Jahr, eine statische und dynamische Amortisationsdauer und die Einsparung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aus den Sanierungen ermittelt:

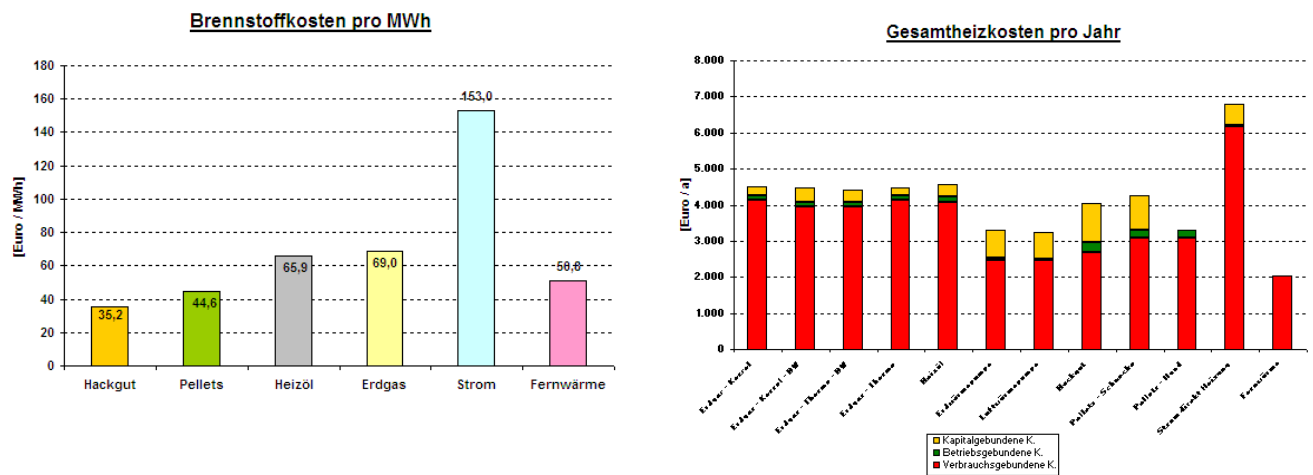


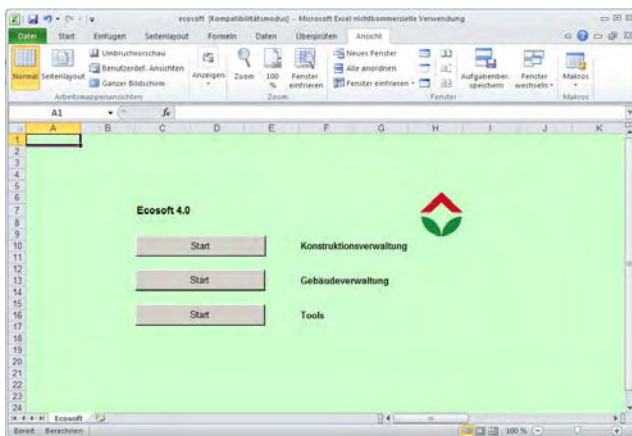
Abbildung 2: Brennstoffkosten und Gesamtheizkosten pro Jahr

### 2.2.3 Rechenbehelf für die ökologische Lebenszyklusanalyse von Gebäuden (ECOSOFT)

ECOSOFT ist ein Rechenbehelf zur ökologischen Bewertung von Baukonstruktionen und Gebäuden auf Basis von ökologischen Indikatoren und des Ökoindikators OI3. ECOSOFT basiert auf der MS Office-Anwendung EXCEL und wurde vom IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie seit 1999 entwickelt und weiterentwickelt. Es werden folgende ökologische Indikatoren berechnet:

- Treibhauspotential (Global Warming Potential GWP)
- Versauerungspotential (Acidification Potential AP)
- Bedarf an erneuerbaren und nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen (Primärenergieinhalt PEI e, PEI ne)
- Beitrag zur Bildung von Photooxidantien (Photochemical Ozone Creation Potential POCP)
- Beitrag zur Eutrophierung (Eutrophication Potential EP)
- Beitrag zum Abbau des stratosphärischen Ozons (Ozone Depletion Potential ODP)

Die ECOSOFT Datenbank umfasst derzeit mehr als 500 Richtwerte für Baustoffe, welche laufend aktualisiert und erweitert werden. Die Baustoffe sind stufenkumuliert bis Zeitpunkt "Produkt ab Werk" bilanziert. Es werden somit alle vorgelagerten Prozesse bis zum auslieferfertigen Produkt berücksichtigt. Für jeden Prozessschritt werden Material-, Transport- und Energieinputs sowie Emissionen in Luft, Boden, Wasser und Abfälle ermittelt. Die Berechnungen erfolgen mit dem Programm SimaPro unter Verwendung von CML2 Baseline 2001.



|    | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 40 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 41 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**ECOSOFT OI3 Berechnung**

Objekt:

Straße:

PLZ/Ort:

Bauherr(en):

Straße:

PLZ/Ort:

Berechnert/Firma:

Straße:

PLZ/Ort:

Kenwerte mit Bezug auf die Bruttogeschosshöhe und der Charakteristischen Länge

Bruttogeschosshöhe:

charakteristische Länge:

|             | Errichtung | Errichtung & Nutzung |
|-------------|------------|----------------------|
| OI3         | Punkte     | Punkte               |
| OI3 BG3,lc  | Punkte     | Punkte               |
| PEI ne      | Punkte     | Punkte               |
| CO2 Prozess | Punkte     | Punkte               |
| CO2         | Punkte     | Punkte               |

|                         | Errichtung  | Errichtung & Nutzung                                    |
|-------------------------|---|---|
| GWP 100                 | 0,00 kg CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>                | 0,00 kg CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>                |
| AP                      | 0,000 Kg SO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>               | 0,000 Kg SO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>               |
| PEI ne                  | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                |
| Photochem. Oxidation    | 0,000 kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> | 0,000 kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> |
| Eutrophication          | 0,000 kg PO <sub>4</sub> --- / m <sup>3</sup>           | 0,000 kg PO <sub>4</sub> --- / m <sup>3</sup>           |
| ODP                     | 0,000 kg CFC-11 / m <sup>3</sup>                        | 0,000 kg CFC-11 / m <sup>3</sup>                        |
| PEI ne Prozess          | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                |
| PEI erneuerbar          | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                |
| PEI e Prozess           | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                | 0,00 MJ / m <sup>3</sup>                                |
| CO <sub>2</sub> Prozess | 0,00  | -   |

Abbildung 3: Eingabe- und Ergebnismaske von ECOSOFT

Die Daten beruhen auf einem umfassenden methodischen Rahmenwerk, das von IBO und PartnerInnen in zahlreichen Forschungsprojekten erarbeitet wurde und laufend aktualisiert wird.

Derzeit wird ECOSOFT mit der IBO Richtwertedatenbank 2012 ausgeliefert. Die Richtwertedatenbank enthält auch Werte für Transport- und Energiesysteme sowie die Entsorgung von Baumaterialien. Damit kann der gesamte Lebenszyklus von Gebäuden berechnet werden. Die Basisdaten für Transport- und Energiesysteme stammen aus ecoinvent.

Des Weiteren enthält ECOSOFT zusätzlich 154 vorgefertigte Konstruktionen aus dem IBO Passivhaus-Bauteilkatalog.

### 2.2.4 LEKOS - Methodik und Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten von Gebäuden

Das Lebenszykluskostenprognosemodell LEKOS der Donau-Universität Krems entstand aus dem vom Klima- und Energiefonds im Programm „ENERGIE DER ZUKUNFT“ geförderten Grundlagenforschungsprojekt „Lebenszykluskosten von Gebäuden“<sup>29</sup> und wurde als standardisiertes, praxistaugliches Werkzeug zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Immobilien für den Einsatz in der Immobilien-Projektentwicklung entwickelt.

<sup>29</sup> Floegl Helmut: Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien. Bericht zum Forschungsprojekt „Nachhaltig massiv“ des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der österreichischen Wirtschaftskammer, Krems 2009.

Seit 2009 wurden mit LEKOS für unterschiedliche neu errichtete und generalsanierte Wohngebäude, Bürogebäude und Geschäftszentren umfassende Analysen und Parameterstudien durchgeführt. Es wurden Lebenszykluskostenkennwerte ermittelt und daraus Planungsempfehlungen für optimierte Folgekosten generiert.

Im Rahmen dieser Anwendungen wurde das Modell stetig weiterentwickelt. 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 sowie der ÖNORM B1801-4 entsprechend strukturiert und transparent aufgebaut..

Das Modell setzt auf die berechneten oder geschätzten, nach der Baugliederung der ÖNORM B 1801-1 gegliederten Errichtungskosten auf. Diese gegliederten Kosten fließen einerseits direkt in die Lebenszykluskosten ein und dienen andererseits als Parameter für die Folgekostenberechnung.

Neben den allgemeinen Flächengrößen wie BGF, NGF und Grundstücksfläche werden Fenster- und Fassadenflächen, Sanitärflächen und viele weitere Flächen sowie bauteil- und leistungsspezifisch unterschiedliche Preissteigerungsraten und ein Abzinsungssatz für die Barwertberechnung als Parameter für die Berechnung der gegliederten Folgekosten verwendet. Eine Reihe weiterer Flächenkennwerte (z.B. Fensterflächen, Sanitärflächen, Ausmaflflächen) sowie diverse besondere Parameter wie z.B. Energiepreise sind für die Berechnung von Leistungen und deren Kosten in der Betriebsphase erforderlich.

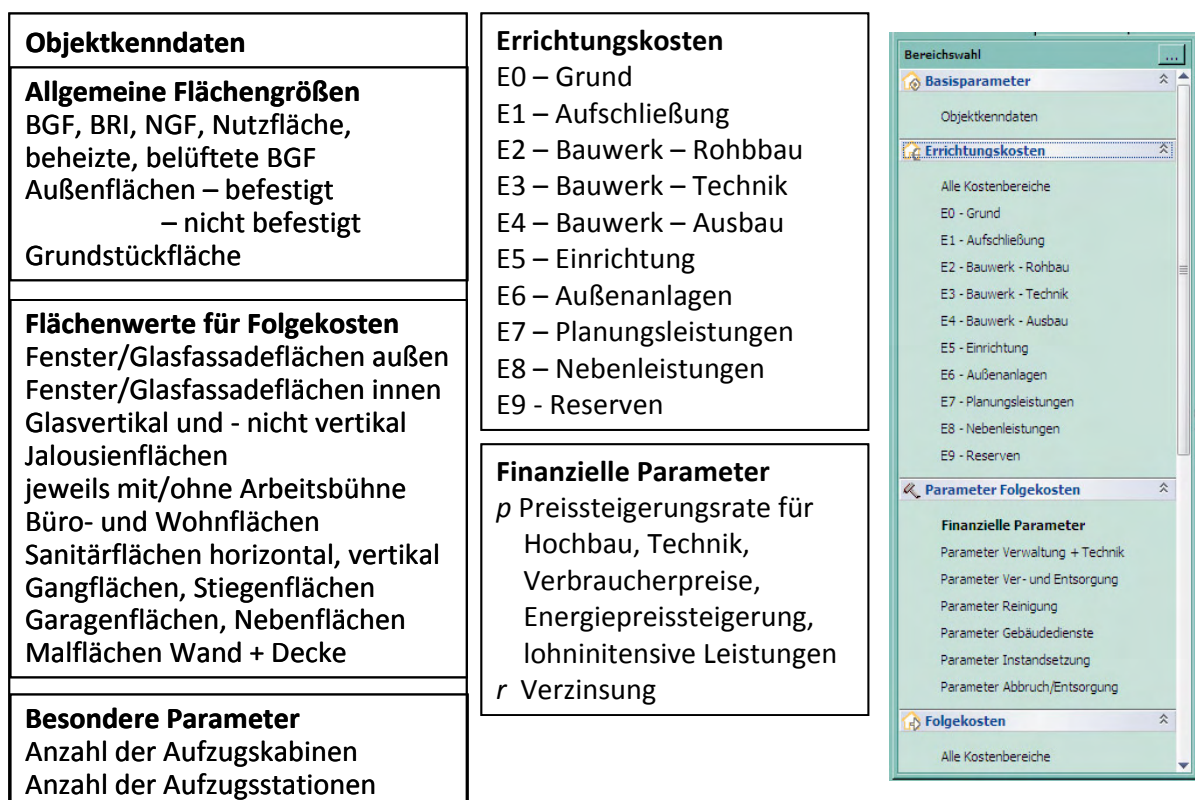


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Eingaben und Ergebniswerte (Teil 1)

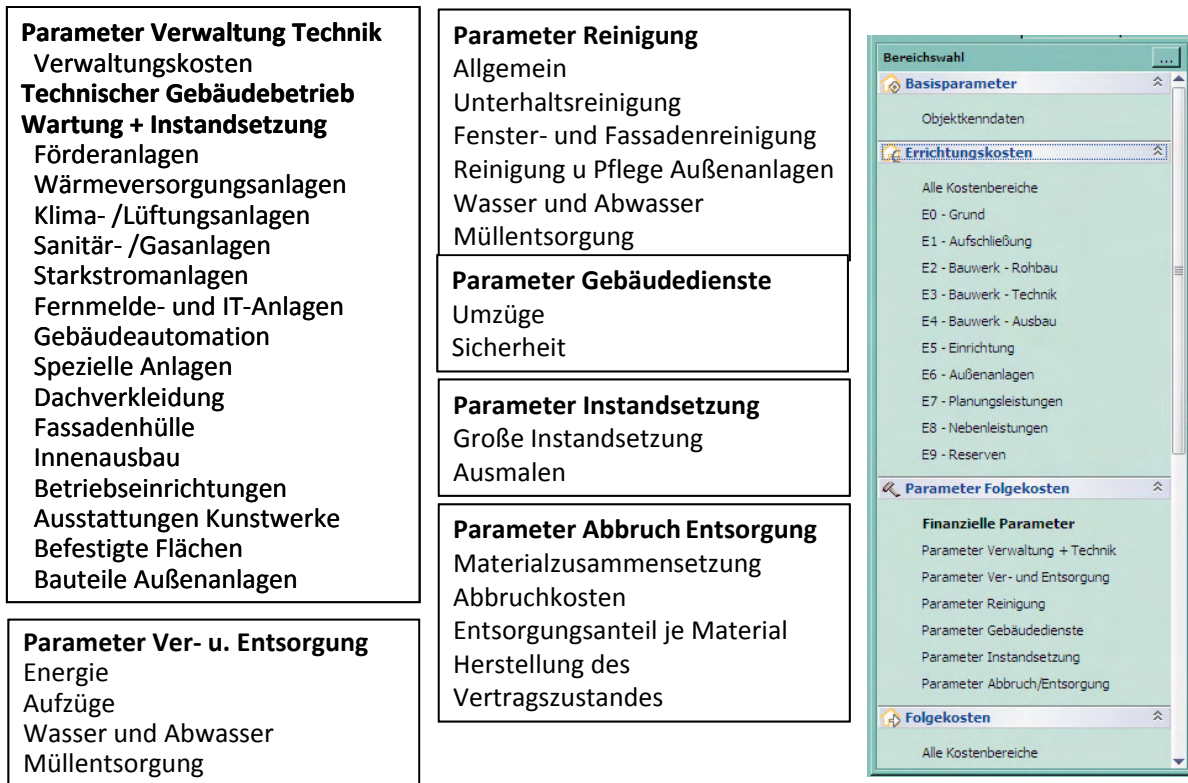


Abbildung 5 Schematische Darstellung der Eingaben und Ergebniswerte (Teil 2)

Da Folgekosten im gesamten Gebäudelebenszyklus zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, werden die Lebenszykluskosten (Summe aus Errichtungs- und Folgekosten) entweder als Nominalwerte oder als Barwerte betrachtet.

Die ÖNORM B 1801-4 empfiehlt, als kalkulatorischen Zinssatz die Sekundärmarktrendite Bund (aktueller Wert zum Zeitpunkt der Berechnung oder Durchschnittswert der letzten drei Jahre) heranzuziehen.

## 2.3 Neuerungen und Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

**Verbesserung zu bestehenden Lösungen:** LEKOCOS ist ein einfaches, öffentlich verfügbares kombiniertes Tool für die Ökobilanzierung und Lebenszykluskosten-Analyse von Gebäuden. Die Verbesserung besteht in der konsistenten Reduktion der Komplexität bei der Berechnung und Darstellung von Kosten und Umweltwirkungen, die im Lebenszyklus des Gebäudes auftreten.

**Neuheitsgrad:** LZK-Berechnungen greifen zwar auf Mengendaten der LCA zurück, die mit Marktpreisen versehen werden, berücksichtigen jedoch die in Materialien und Energie enthaltene Primärenergie und verursachte CO<sub>2</sub>-Äquivalente üblicherweise nicht. Neu ist außerdem die Modell-Konsistenz in der Abgrenzung und Betrachtung der Lebenszykluskosten und der lebenszyklischen Umweltwirkungen in Form von Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Das ermöglicht in weiterer Folge die Berücksichtigung von externen Kosten

bei der Lebenszykluskostenbewertung von Gebäuden, indem die CO<sub>2</sub>-Äquivalente mit Preisen versehen werden. Auf die Entwicklungen in Bezug auf Plus-Energiegebäude wird eingegangen, indem Erträge aus erneuerbaren Energieträgern in der Kosten- und CO<sub>2</sub>-Bilanz berücksichtigt werden.

LZK beziehen sich auf die Phasen Errichtung, Betrieb, Erhaltung, Renovierung und die Objektbeseitigung und Abbruch, für die eine Untergliederung in einzelne Kostenkategorien vorliegt. Im Stadium des Rückbaus werden nicht notwendigerweise nur Kosten verursacht, sondern können auch Erlöse erwirtschaftet werden, wenn die Materialien wieder verwertbar sind. Gebäude bilden bedeutende Rohstofflager, wofür unter dem Begriff „Urban Mining“ zunehmend Bewusstsein entsteht.

Auch die Entwicklung des Gebäudesektors in Richtung Plusenergie-Gebäude erfordert die methodische Erweiterung von der reinen lebenszyklusbezogenen Kostenbetrachtung auf die Berücksichtigung von Kosten und Erträgen. Die Entwicklungen bei der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion (Emissionshandel und Kyoto-Protokoll) machen deutlich, dass die Integration ökologischer Folgewirkung in die Kostenbewertung erforderlich ist: In der Bewertung der Lebenszykluskosten können auch Treibhausgasemissionen, zumindest aber CO<sub>2</sub>-Emissionen, ausgewiesen und mit Kosten belegt werden.

## **2.4 Verwendete Methoden**

Das neue Berechnungsmodell LEKOECS zur gleichzeitigen Abbildung von ökonomischen und ökologischen Kennwerten in der frühen Planungsphase wurde auf der Basis des Lebenszykluskostenmodells LEKOS und des ökologischen Materialbewertungstools ECOSOFT entwickelt. Als wissenschaftliche Methode wurde die Modellentwicklung eingesetzt.

Die Aufgabenstellung brachte es mit sich, dass große Mengen unterschiedlicher Daten entstanden und strukturiert zu verarbeiten waren. Daher wurden verschiedene Maßnahmen getroffen, um die Anwendung des LEKOECS-Programms zu vereinfachen. Dazu gehören unter anderem eine aufgabenbezogene Benutzungsführung und eine strukturierte anwendungsorientierte Zusammenstellung verschiedener Voreinstellungswerte, die durch detailliertere Daten ersetzt werden können, sobald diese verfügbar sind.

Eine ganz wesentliche Maßnahme zur Vereinfachung der Dateneingabe bestand in der Entwicklung und Hinterlegung von Grundelemente-Katalogen. Diese enthalten Umweltkennzahlen für Grundmaterialien, typische Bauteilschichten, Haustechnik- und Energiebereitstellungssysteme für die Gebäudetypen Bürogebäude, Schulen und Wohnbauten sowie für Transport- und Entsorgungssysteme. Für die Ökobilanz können die vorgefertigten Elemente aus den Katalogen ausgewählt oder eigene Konstruktionen eingegeben werden.

Entscheidend für die Modellentwicklung war auch die klare Formulierung und Dokumentation ausgewogener und abgestimmter Annahmen und Idealisierungen. Die Viabilität des



LEKOECOS-Programms wurde durch die Anwendung an konkreten Gebäudebeispielen überprüft.

## 2.5 Vorgangsweise zur Modellentwicklung

Das LEKOECOS Projekt wurde im Rahmen von sechs Arbeitspaketen abgewickelt:

- AP1 Projektmanagement
- AP2 Ökonomisch-ökologischer Grundelemente Katalog
- AP3 Kombiniertes Rechenmodell
- AP4 Programmierung des Modells
- AP5 Validierung des Modells an Testgebäuden
- AP6 Verbreitung/Bekanntmachung/Dissemination

In der Untergliederung des folgenden Kapitels 3 Ergebnisse des Projektes spiegelt sich dieser Aufbau wieder. Hier finden sich Detailangaben zur Vorgehensweise und zu den Ergebnissen der Arbeitspakete AP2 (Kapitel 3.2 LEKOECOS Grundelemente-Katalog (AP2)), AP3 (Kapitel 3.1 LEKOECOS Modellentwicklung (AP3)), AP4 (Kapitel 3.3.4 Rechenhilfemodell zur Errichtungskostenschätzung) und AP 5 (Kapitel 3.5 LEKOECOS Modellvalidierung (AP5)).

## 3 Ergebnisse des Projektes

### 3.1 LEKOECOS Modellentwicklung (AP3)

#### 3.1.1 Beschreibung der Basismodelle ECOSOFT und LEKOS

Das Excel-basierte Materialbewertungstool ECOSOFT wurde vom IBO zur Erstellung von Ökobilanzen für die Herstellung (Cradle to Gate) von Baukonstruktionen für den Neubau und die Sanierung von Gebäuden entwickelt. 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 ökologischen Kennwerte können berechnet werden: Treibhauspotential (GWP), Versauerungspotential (AP), Bedarf an erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie (PEI e, PEI ne), Bildung von Photooxidantien (POCP), Eutrophierung (EP), Ozonabbaupotenzial, OI3 Index (Kennzahl aus GWP, AP, PEI), außerdem der Entsorgungsindikator (EI), eine qualitative Einstufung der Entsorgungseigenschaften von Baukonstruktionen. Die Berechnungsergebnisse werden für die Verwendung in der Wohnbauförderung und für Gebäudebewertungssysteme (klima:aktiv Haus, Total Quality Building) in Form eines Gebäude-Ökologieausweises übersichtlich dargestellt.

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“ (Floegl,

2009). 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 durchgeführt. Es wurden Lebenszykluskostenkennwerte ermittelt und daraus Planungsempfehlungen für optimierte Folgekosten generiert.

|   | ECOSOFT  | LEKOS   |
|---|--|---|
| <b>Entwickler</b>                       | IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH  | Donau-Universität Krems   |
| <b>Anwendung</b>                        | Quantitative ökologische Bewertung von Baukonstruktionen und Gebäuden  | Planungsoptimierung durch Erstellen und Analysieren von Lebenszykluskostenprognosen für das Gesamtgebäude   |
| <b>Ergebnis</b>                         | Umweltindikatorwerte für die verwendeten Baustoffe und Materialien (Cradle to Gate, Ersatz): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primärenergieinhalt (PEI)</li> <li>• Säurebildungspotenzial (AP)</li> <li>• Treibhauspotenzial (GWP)</li> <li>• OI3-Indikatoren</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Errichtungskosten nach ÖNORM B 1801-1</li> <li>• Folgekosten nach ÖNORM B 1801-2</li> <li>• Folgekosten-Kennwerte</li> </ul>   |
| <b>Inputs</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektkenndaten</li> <li>• Konstruktionen/ Bauteilaufbauten</li> <li>• Bauökologische Materialdaten</li> <li>• Mengenangaben</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektkenndaten</li> <li>• Errichtungskosten nach ÖNORM B 1801-1</li> <li>• Finanzielle Parameter</li> <li>• Parameter zu <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verwaltung und Technik</li> <li>○ Ver- und Entsorgung</li> <li>○ Reinigung</li> <li>○ Gebäudedienste</li> <li>○ Instandsetzung</li> <li>○ Abbruch und Entsorgung</li> </ul> </li> </ul> |
| <b>Hinterlegte Daten / Defaultwerte</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauökologische Materialdaten</li> <li>• Beispielaufbauten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzielle Parameter</li> <li>• Kostenkennwerte für Errichtung, Abbruch, Reinigung, Verwaltung, Ver- und Entsorgung, Gebäudedienste, ...</li> <li>• Parameter zur Mengenermittlung mit Objektkenndaten</li> <li>• Parameter für Instandsetzung und Wartung</li> </ul>   |
| <b>Kommentar</b>                        | „Erweitertes ECOSOFT“ ermöglicht die Berücksichtigung weiterer Gebäudekomponenten und Lebensstadien des Gebäudes sowie die Berechnung weiterer Umweltindikatoren   |   |

**Tabelle 3: Zusammenstellung und systematischer Vergleich der wesentlichen Modellcharakteristika der Basismodelle**

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 transparent aufgebaut. Es ist mit verschiedenen Voreinstellungswerten für Bürogebäude und Wohngebäude hinterlegt.

### 3.1.2 Analyse der weiteren Basismodelle

In einer vorangestellten Recherche wurden neben den beiden Basismodellen ECOSOFT und LEKOS drei bestehende österreichische Programme zur ökologischen und wirtschaftlichen Betrachtung von Energieeffizienzmaßnahmen analysiert (vgl. Kapitel 2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema). Tabelle 4 zeigt einen systematischen Überblick der analysierten Modelle und Programme.

|            | LZK-Rechner AEA<br>klima:aktiv  | econ calc  | Erweitertes<br>Energieausweis-Tool   |
|------------|---|--|--|
| Entwickler | Österreichische Energieagentur  | Energieinstitut Vorarlberg   | Dr. Christian Pöhn / Österreichische Energieagentur  |
| Anwendung  | Vergleich von Kosten, Amortisation und ökologischen Auswirkung (CO <sub>2</sub> -Äquivalente) verschiedener Heizsysteme und Sanierungsmaßnahmen                                     | Vergleich von Kosten, Amortisation und ökologischen Auswirkung (CO <sub>2</sub> -Äquivalente, Primärenergiebedarf) verschiedener Energieeffizienzmaßnahmen für unterschiedliche Nutzerperspektiven   | Vergleich der Kosten, Energieeinsparung und Amortisationsdauer von energetischen Verbesserungsmaßnahmen (Sanierung oder Variantenvergleich)  |
| Ergebnis   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Kosteneinsparungen</li> <li>• dynamische Amortisationszeit</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Einsparungen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten nach ÖN B 1801-1</li> <li>• Folgekosten nach ÖN B 1801-2</li> <li>• Preis der eingesparten kWh</li> <li>• Annuitätischer Gewinn</li> <li>• Annuitätenvergleich der Kosten</li> <li>• Kapitalwertvergleich der Kosten</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>• End- und Primärenergiebedarf</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amortisationszeit und</li> <li>• Jährliche finanzielle Belastung</li> </ul>   |
| Inputs     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektkennndaten</li> <li>• Heizsystem</li> <li>• Sanierungsmaßnahmen</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektkennndaten</li> <li>• Angaben zu Nutzerperspektive und Wirtschaftlichkeitsmethode</li> <li>• Finanzielle Parameter</li> <li>• Energiekennwerte</li> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Wartung und Instandsetzung</li> <li>• Folgekosten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daten für Energieausweisberechnung: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Orientierung und Abmessung des Gebäudes</li> <li>○ U-Werte</li> <li>○ Auslegung der Haustechnik</li> </ul> </li> <li>• Investitionskosten für Verbesserungsmaßnahmen</li> <li>• Verbrauchsgebundene Kosten (Energiepreise)</li> <li>• Betriebsgebundene</li> </ul> |

|   | LZK-Rechner AEA<br>klima:aktiv   | econ calc  | Erweitertes<br>Energieausweis-Tool  |
|---|--|--|---|
|   |  |  | Kosten  |
| Hinterlegte<br>Daten /<br>Default-<br>werte | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostendaten für unterschiedliche Heizsysteme (Investitions-, Kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten)</li> <li>• Brennstoffkosten und Jahresnutzungsgrad</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzielle Parameter</li> <li>• Energiepreise und Einspeisetarife</li> <li>• Primärenergiefaktoren und CO<sub>2</sub>-Kennwerte</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten für Verbesserungsmaßnahmen</li> <li>• Verbrauchsgebundene Kosten</li> <li>• Betriebsgebundene Kosten</li> </ul>   |
| Kommentar                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingabe: HWB oder Heizlast und Jahresvollaststunden, EEB kann geschätzt werden (Jahresnutzungsgrad)</li> <li>• Verringerung des HWB durch Sanierungsmaßnahmen wird geschätzt</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auf Variantenvergleich ausgelegt</li> <li>• EEB kann als Endenergie oder Nutzenergie x Nutzungsgrad eingegeben werden</li> <li>• Interessant ist hier weniger der Modellaufbau als die Art der Ergebnisdarstellung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basiert auf Berechnung und Vergleich von Energieausweisen</li> <li>• Vor allem für Wohngebäude, Schwächen hinsichtlich Haustechnik werden bei Bürogebäuden sichtbar</li> </ul> |

**Tabelle 4: Zusammenstellung und systematischer Vergleich der wesentlichen Modellcharakteristika bestehender Programme zur ökologischen und wirtschaftlichen Betrachtung von Energieeffizienzmaßnahmen**

### 3.1.3 Entwicklung der Basisstruktur für das harmonisierte Lebenszykluskostenmodell LEKOECS

Eine wesentliche Herausforderung des LEKOECS-Projektes war die konsistente Zusammenführung der unterschiedlichen Betrachtungsweisen der ökologischen und ökonomischen Bewertung.

Abbildung 6 zeigt zwei übliche Betrachtungsweisen der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit über den Lebenszyklus eines Gebäudes. Die Lebenszykluskosten sind die Gesamtkosten, die ein Gebäude in seinem Lebenszyklus verursacht. Sie werden den ÖNORMEN B1801 Teil 1 und Teil 2 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 oft 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, so wird dies häufig als Cradle-to-Cradle bezeichnet.



Abbildung 6: Ökologische und ökonomische Gebäudelebenszyklusbetrachtung

### 3.1.4 Zusammenführung des ökonomischen und ökologischen Modells

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, Bauteilen 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 7 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. Mit dem Lebenszykluskostenmodell LEKOS (blau) wird der gesamte Gebäudelebenszyklus recht gut abgedeckt. Das Programm ECOSOFT



den Anforderungen der Ökologie gerecht zu werden, wurden einige Kostenpositionen des LEKOS-Modells 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 Gebäudebetrieb, 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 8 stellt die Ergebnisse dieser "Umweltrelevanzanalyse" und damit die Systemgrenzen des LEKOECOS-Modells vereinfacht dar.

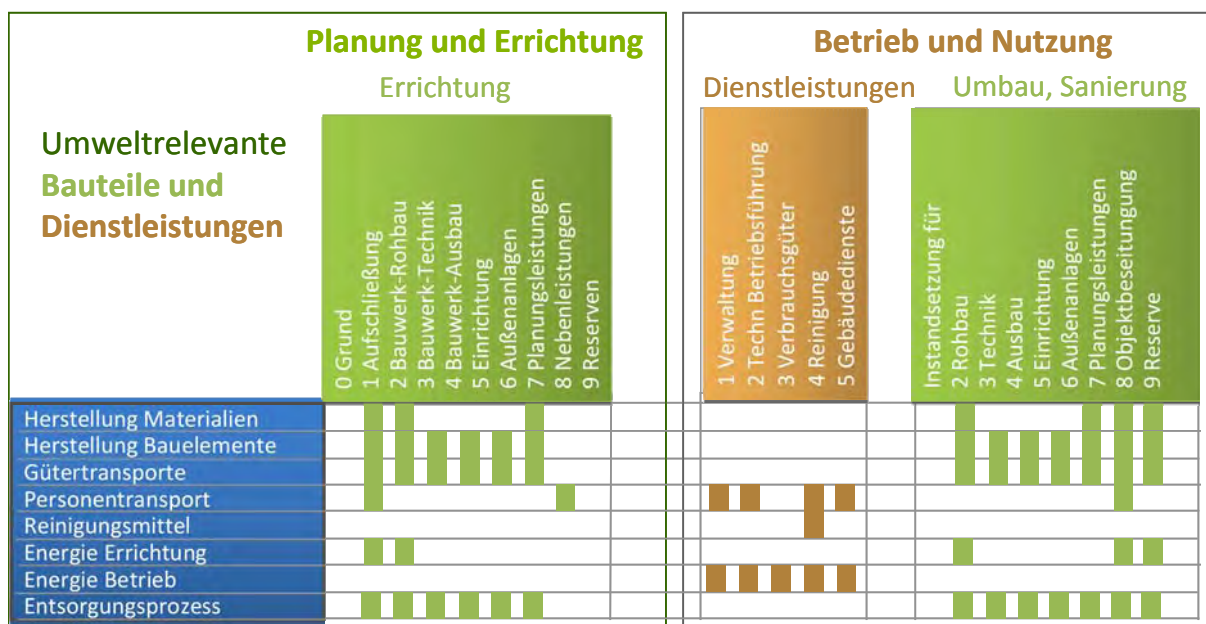


Abbildung 8: Umweltwirkungen der Produkte, Prozesse und Dienstleistungen des Gebäudelebenszyklus

### 3.1.6 Ableitung externer Kosten von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Möglichkeiten der Verrechnung

Unter externen Kosten von CO<sub>2</sub> (bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) versteht man Kosten zur Vermeidung der negativen Auswirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Emissionen, die von der Allgemeinheit getragen werden.

Es liegen mehrere Studien zu Schätzwerten für die externen Kosten der Emission von CO<sub>2</sub> (bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) vor, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind.

| Externe Kosten   | EUR/t | Quelle   |
|--|-------|--|
| CO <sub>2</sub> -Börse aktueller Wert (12.08.2013) <sup>33</sup> | 4,50  | EXAA Energy Exchange Austria kooperiert seit August 2011 mit greenmarket (Tochter der Bayerischen Börse) am CO <sub>2</sub> Markt. Der CO <sub>2</sub> -Spotmarkt an der EXAA wurde stillgelegt. <sup>34</sup> |
| CO <sub>2</sub> -Börse aktueller Wert (28.03.2014) <sup>35</sup> | 4,35  |  |
| Schadenskosten 2°C Ziel unterer Schätzwert                       | 20    | Maibach et al. 2007  |
| Schadenskosten 2°C Ziel mittlerer Schätzwert                     | 70    | Maibach et al. 2007  |
| Schadenskosten 2°C Ziel oberer Schätzwert                        | 280   | Maibach et al. 2007  |
| Vermeidungskosten UK short term traded price in 2020             | 29    | central estimate (50% +range and 50% - range); UK department of Energy and Climate Change (2009)<br><br><a href="http://www.decc.gov.uk/">http://www.decc.gov.uk/</a>  |
| Vermeidungskosten UK short term non-traded price 2020            | 69    |  |
| Vermeidungskosten UK long term traded price in 2030              | 80    |  |
| Vermeidungskosten UK long term traded price in 2050              | 229   |  |

**Tabelle 5: Externe Kosten der Emission von CO<sub>2</sub> bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in EUR/t nach verschiedenen Quellen**

Ausgehend von den Ergebnissen von Downing et al. (2005) empfehlen Watkiss et al. (2005), die Schadenskosten um 0,4 €/t CO<sub>2</sub> pro Jahr ansteigen zu lassen. In der Literatur findet sich Übereinstimmung dahingehend, dass mit einem Ansteigen der CO<sub>2</sub>-Konzentration auch die Kosten für die Vermeidung von Schäden (Vermeidungskosten) bzw. zur Beseitigung der Schäden (Schadenskosten) des Klimawandels steigen (siehe u.a. Stern 2006).

Eine vom deutschen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung herausgegebene Studie (BMVBS 2010) arbeitet die vorhandene Literatur auf und bewertet und vergleicht mehrere Gebäude anhand der externen Kosten. Demnach liegt die von der Mehrheit der ExpertInnen akzeptierte untere Bandbreite des Schätzungen bei 14 €/t CO<sub>2</sub>, die obere Bandbreite reicht bis etwa 280 €/t CO<sub>2</sub>.

Wegen der hohen Unsicherheiten behilft man sich in einigen Anwendungen mit der Schätzung von Zielerreichungskosten. Für den Zeitraum bis 2012 lässt sich das Kyoto-Ziel – Verringerung der Treibhausgasemissionen in Deutschland um 21 Prozent im Zeitraum 2008-2012, bezogen auf das Jahr 1990 – als relevante Zielsetzung betrachten. Die Kosten zur Erreichung dieses Ziels werden in dieser Studie auf 20 €/t CO<sub>2</sub> geschätzt. Für den Zeitraum nach 2012 gibt es noch keine rechtlich verbindlichen Ziele, unter Fachleuten besteht jedoch

<sup>33</sup> [http://www.co2-handel.de/article58\\_20777.html](http://www.co2-handel.de/article58_20777.html) (abgerufen am 23. August 2013)

<sup>34</sup> [http://www.co2-handel.de/article58\\_16667.html](http://www.co2-handel.de/article58_16667.html) (abgerufen am 23. August 2013)

<sup>35</sup> [http://www.co2-handel.de/article58\\_21849.html](http://www.co2-handel.de/article58_21849.html) (abgerufen am 31. März 2014)



die Überzeugung, dass weitere Verringerungen der Treibhausgasemissionen dringend geboten sind, um gravierende Klimafolgeschäden zu vermeiden. (BMVBS 2010)

In weiterer Folge bezieht sich die Studie ebenfalls auf den von Maibach et al. (2007) im Auftrag des deutschen Bundesumweltministeriums erarbeiteten zentralen Schätzwert von 70 €/t CO<sub>2</sub>.

Methodisch handelt es sich um Grenzschadenskosten, wobei Schäden der nächsten 100 Jahre berücksichtigt werden. Die Zeitpräferenzrate (Diskontrate) beträgt 1 Prozent und „equity weighting“ („equity weighting“ bedeutet, dass ein Schaden pro Geldeinheit in einem ärmeren Land höher gewichtet wird als in einem relativ reicheren Land) ist berücksichtigt.

Für die Durchführung von Sensitivitätsrechnungen mit einer Untergrenze von 20 €/t CO<sub>2</sub> (ohne Gewichtung der regionalen Schäden) und einer Obergrenze von 280 €/t CO<sub>2</sub> (Zeitpräferenzrate von 0 Prozent) wurde ein Online-Tool<sup>36</sup> zur Verfügung gestellt.

Der empfohlene Best-Guess-Wert von 70 €/t CO<sub>2</sub> liegt in einer sinnvollen Größenordnung im Vergleich zu den vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (WBGU) berechneten marginalen Vermeidungskosten. Der Stern-Report geht ebenfalls von Schadenskosten in einer ähnlichen Größenordnung (85 €/t CO<sub>2</sub>) aus<sup>37</sup>.

Die Analysen anhand von beispielhaften Bürogebäuden zeigen, dass die absoluten jährlichen externen Kosten bei durchschnittlich 29.702,14 Euro liegen (Spannbreite von 6.286,15 bis 60.814,05 Euro/Jahr). Auf die Bruttogeschossflächen der Gebäude bezogen lagen die externen Kosten der betrachteten Beispielgebäude zwischen 3,46 und 5,45 Euro pro m<sup>2</sup> BGF pro Jahr. Im Durchschnitt betragen die externen Kosten 15 Prozent der Betriebs- und Instandhaltungskosten der in der Studie betrachteten Gebäude. Würden externe Kosten in die Investitionskosten-Kalkulation einbezogen, ergibt sich auf Basis der sechs untersuchten Gebäude eine Erhöhung der Neubaukosten um etwa 34,5 Prozent<sup>38</sup>.

Umgekehrt müssten CO<sub>2</sub>-Einsparungen gutgeschrieben werden. LEKOECS gibt CO<sub>2</sub>-Belastungen aus, womit die externen Kosten für CO<sub>2</sub> in der Errichtung und im Betrieb leicht berechnet werden können.

### **3.1.7 Ergebnisse der ökologisch-ökonomischen Berechnung**

Die Ergebnisstruktur des Lebenszykluskostenmodells LEKOS ist entsprechend der ÖNORM B 1801 Teil 1 (Errichtungskosten - Baugliederung) und ÖNORM B 1801 Teil 2 (Folgekosten)

---

<sup>36</sup> Gebäude-Umweltkosten-Online; Beschreibung siehe BMVBS (2010): Externe Kosten im Hochbau. BMVBS (Hrsg.) BMVBS-Online-Publikation 17/2010. ISSN 1869-9324

<sup>37</sup> Stern, N.: The Economics of Climate Change. The Stern Review. Cabinet Office - HM Treasury, UK 2006. abrufbar unter [www.hm-treasury.gov.uk](http://www.hm-treasury.gov.uk), Rubrik "Independent Reviews"

<sup>38</sup> Gebäude-Umweltkosten-Online; Beschreibung siehe BMVBS (2010): Externe Kosten im Hochbau. BMVBS (Hrsg.) BMVBS-Online-Publikation 17/2010. ISSN 1869-9324

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 einzelne Kostenpositionen nicht mehr nur Kosten, sondern auch Umweltindikatoren ausgegeben.

In der verfügbaren ersten Modellversion wurden dazu das Treibhauspotential (GWP - Global Warming Potential) und der Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Energieträgern (PEI n.e.) als geeignete Indikatoren ausgewählt. Sie werden hier stellvertretend für die Beschreibung der ökologischen Nachhaltigkeit verwendet, in dem Wissen, dass die „Treibhausgaswirksamkeit“ und der „energetische Ressourcenverbrauch“ nur einen Ausschnitt der ökologischen Nachhaltigkeit beschreiben. In der Weiterentwicklung des LEKOECOS-Tools ist eine Erweiterung um andere Umweltindikatoren denkbar.

Die Ergebnisse der Wirkungskategorien Treibhausgaspotential (GWP 100) sind in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (kg CO<sub>2</sub> eq.) als Summe und aufgeteilt in den in nachwachsenden Rohstoffen gespeicherten Kohlenstoff („Speicher“) und die in Prozessen freigesetzten Treibhausgase („Prozess“) dargestellt. Der Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Ressourcen (PEI n.e.) wird in der Einheit Megajoule (MJ) angegeben.

Abbildung 9 zeigt die ökonomischen und ökologischen Modellergebnisse in Kosten und Umweltwirkungen (GWP und PEI n.e.) beispielhaft für einzelne Kostenpositionen der Errichtungskosten (Bodenkonstruktionen), sowie der jährlichen (Strom Technik) und mehrjährigen (Instandsetzung Fassade) Folgekosten.

| Kostenposition nach ÖNORM B 1801 Teil 1 und 2 (Beispiele) | Kosten           | GWP                              | PEI n.e.          |
|---|------------------|----------------------------------|-------------------|
| E2.C.04 Bodenkonstruktionen                               | €                | kg CO <sub>2</sub> eq.           | MJ                |
| F3.1.b Strom Technik                                      | €/Jahr           | kg CO <sub>2</sub> eq./Jahr      | MJ/Jahr           |
| F7.1-4.C Instandsetzung Fassade                           | €/Instandsetzung | kg CO <sub>2</sub> eq./Instands. | MJ/Instandsetzung |

**Abbildung 9: Beispielhafte Darstellung der ökologischen und ökonomischen Modellergebnisse**

## 3.2 LEKOEKOS Grundelemente-Katalog (AP2)

Der Grundelemente-Katalog soll alle für die Gebäudetypen Bürogebäude, Schulen und Kindergärten, Wohnbauten und Gemeinschaftsstätten erforderlichen Daten für Grundmaterialien, typische Bauteilschichten, Haustechnik- und Energiebereitstellungssysteme sowie Transport- und Entsorgungssysteme enthalten.

Für die Entwicklung des kombinierten LEKOEKOS-Modells wurde das auf aggregiertem Niveau arbeitende LEKOS als Basis verwendet und das auf Detailebene arbeitende ECOSOFT wurde angekoppelt. Dafür war die Annäherung des Detaillierungsgrades der Arbeitsebenen erforderlich. Für ECOSOFT bedeutet das, dass Elemente in Form von typischen Konstruktionen, Haustechniksystemen und Prozessen für definierte Gebäudetypen zusammengefasst und als Grundelemente-Katalog ausgearbeitet wurden.

Im ersten Schritt wurden typische Baukonstruktionen der Gebäudetypen Bürogebäude, Schulen und Kindergärten und Wohnbauten definiert und ökologisch bewertet. Die Zuordnung der ökologischen Kennwerte für die Gebäude über den Lebenszyklus basiert auf ECOSOFT. Die ökologischen Kennwerte stammen aus der IBO-Richtwertetabelle. Als Indikatoren für die ökologische Nachhaltigkeit dienen der Verbrauch von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und der Primärenergieinhalt.

Da sich die Errichtungskosten von Gebäuden nicht analog zur ökologischen Wirkbilanz der Baumaterialien aus rein bauteilbezogenen Daten hochrechnen lassen, wurde die ursprünglich geplante Vorgehensweise, die Grundelemente nicht nur mit ökologischen Kennwerten, sondern auch mit Kostendaten zu hinterlegen, im Projektteam analysiert und schließlich verworfen. Stattdessen wurde das bestehende BKI-Kostenschätzungsmodul des LEKOS ABK-Modells zu einem eigenen Modellteil des LEKOEKOS-Modells weiterentwickelt, mit dem sich Errichtungskosten anhand von flächenbezogenen Kostenkennwerten und verschiedenen Annahmen zur Flächen- und Kostenaufteilung abschätzen lassen.

Die ursprünglich geplante detaillierte Modellierung der Haustechnik-Komponenten in Form von eigenen Grundelementen in LEKOEKOS wurde wegen der hohen Eingabeerfordernisse für die NutzerInnen nicht weiterverfolgt (siehe 3.2.2 Grundelemente-Katalog Haustechnik). Nur die Aufwendungen für die Herstellung von Photovoltaikanlagen und Solarkollektoren werden in eigenen Grundelementen abgebildet. Daraus ergab sich die folgende Liste von benötigten Grundelementen:

- Herstellung von Grundmaterialien wie Zement, Beton, Kies, Holz
- Herstellung von Bauelementen, i.e. zusammengesetzte Elemente aus mehreren Materialien, Schichten etc.
- Transportprozesse aufgeteilt in Güter- und Personentransporte
- Herstellung von Solaranlagen (Photovoltaikanlagen, Solarthermie)
- Entsorgungsprozesse (Abbruch, Recycling, Verbrennung, Deponierung)

Die benötigten Daten zu den Elementen sind: Funktionale Einheit, Flächengewicht bei den Bauteilschichten, ökologische Indikatorwerte pro funktionaler Einheit, Nutzungsdauer.

Die in ECOSOFT vorhandenen Materialien bzw. Komponenten wurden zu typischen Konstruktionen und Systemen zusammengefasst und der Systematik der ÖNORM B 1801-1 zugeordnet.

### **3.2.1 Grundelemente-Katalog Konstruktion**

Die Eingliederung von ECOSOFT in die Systematik der ÖNORM B 1801-1 hatte zur Folge, dass die in der Ökobilanzierung übliche Gliederung nach Bauteilen größtenteils aufgehoben werden musste, da die einzelnen Bauteilschichten unterschiedlichen Kostenpositionen zugeordnet werden mussten. Ein weiterer Punkt, auf den die Struktur der Grundelemente Rücksicht nehmen musste, ist die möglichst große Variantenvielfalt bei gleichzeitig möglichst abzählbaren Elementen und großer Nutzungsfreundlichkeit. Dieser Gedanke führte zu einer weiteren Aufspaltung der Aufbauten.

Für einen erdberührten Boden bedeutet das zum Beispiel folgende Zerlegung:

|           |                              |
|-----------|------------------------------|
| E2.C.BP   | Bodenplatte inkl. Rollierung |
| E2.C.Estr | Estrich                      |
| E.4.D.01  | Bodenbelag                   |

*(Anmerkung: „E“ steht für Errichtungskosten, um diese von „F“, den Folgekosten, unterscheiden zu können; 2.C und 4.D entsprechen den Positionen der ÖNORM B 1801-1, und die Kürzel BP und Estr stehen für die jeweilige Schicht, falls einer Position mehrere Schichten zugeordnet werden müssen).*

Für all diese Schichten stehen nun im Grundelemente-Katalog mehrere Varianten zur Auswahl. Unter den Estrichen befinden sich z.B. Nass- und Trockenestriche, mit oder ohne Wärmedämmung, mit Standard- oder Alternativ-Dämmstoff aus erneuerbaren Rohstoffen.

Die Bauteilschichten aus dem Grundelementekatalog sind mit Daten aus ECOSOFT hinterlegt. Diese umfassen nicht nur das Global Warming Potential und den Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Energieträgern, jeder Bauteilschicht sind auch Nutzungsdauern, verbaute Massen und Transportweiten zugeordnet.

Anhand der tatsächlich ausgewählten Bauteilschichten werden die Ökobilanzen für die einzelnen Lebenszyklusphasen berechnet. Die daraus ermittelte Massenbilanz dient außerdem als Grundlage für die Berechnung der Kosten für den Abbruch und die Objektbeseitigung.

Die Dokumentation zum Grundelemente-Katalog befindet sich im Anhang 1.

### **3.2.2 Grundelemente-Katalog Haustechnik**

Auch für die Haustechnikanlagen gilt, dass eine detaillierte Aufgliederung in Komponenten erforderlich ist, wenn der Kostensystematik von LEKOS (Planung, Errichtung, Nutzung,

Abbruch/Rückbau) entsprochen werden soll. LEKOS berücksichtigt unterschiedliche Lebensdauern und Instandhaltungszyklen der Komponenten.

Eine Heizanlage („Wärmeversorgungsanlage“) wird gemäß ÖNORM B 1801-1 Bauwerk Technik in folgende Kategorien gegliedert:

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| <b>E3.C</b> | <b>Wärmeversorgungsanlagen</b>   |
| E3.C.01     | Wärmeerzeugungsanlagen           |
| E3.C.02     | Wärmeverteilnetze                |
| E3.C.03     | Raumheizflächen                  |
| E3.C.S      | Sonstige Wärmeversorgungsanlagen |

Biomassefeuerungen werden beispielsweise zu *E3.C.01 Wärmeerzeugungsanlagen* zugeordnet, während Leitungen und Heizkörper den weiteren Kategorien *Wärmeverteilnetze* und *Raumheizflächen* zugeordnet werden. Zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lebensdauern und Instandhaltungszyklen der Komponenten ist diese Aufteilung sinnvoll. Allerdings sind die erforderlichen Detailinformationen beispielsweise zu Leitungslängen im frühen Planungsstadium kaum vorhanden. Diese Informationen wären aber für die Nutzung von Daten aus ECOSOFT notwendig. Hinsichtlich Wärmeerzeugungsanlagen bietet ECOSOFT Ökokennzahlen zu unterschiedlichen Leistungsgrößen angegeben in kW. Es bestehen jedoch folgende Herausforderungen, die Energieverbrauchsprofile (Einstufung des Energieverbrauchs in die Kategorien „sehr niedrig“, „niedrig“, „mittel“, „hoch“; Grundlage des Modellteils Energie) mit der erforderlichen Leistung zu verknüpfen: Ausschlaggebend für die erforderliche Leistung ist nicht nur das Energiebedarfsprofil im Bereich Heizung, sondern auch die Größe des Gebäudes und der Faktor, ob die Warmwasserbereitung mit der Heizung erfolgt oder nicht, und wenn ja, wie hoch der Warmwasserverbrauch angenommen wird. Wollte man der Struktur der Kostensystematik von LEKOS entsprechen, so müsste man von der einfachen Eingabesystematik auf der Basis von Energieverbrauchsprofilen abgehen und einen höheren Komplexitätsgrad in Kauf nehmen.

| Wirkungskategorie in<br>Einheit / MJ erzeugter Energie   | GWP<br>kg CO2 eq | PEI ne<br>MJ eq | PEI ern<br>MJ eq |
|--|------------------|-----------------|------------------|
| Erdgas, in Heizkessel modulierend < 100kW  | 0,0725           | 1,1707          | 0,0040           |
| Kessel und Wärmeverteilung (Herstellung und Entsorgung)  | 0,0003           | 0,0038          | 0,0003           |
| <b>Gas konventionell</b> (Erdgas, in Heizkessel modulierend < 100kW<br>inkl. Kessel und Wärmeverteilung) | 0,0727           | 1,1745          | 0,0044           |

**Tabelle 6: Beispielhafte Darstellung der Ökokennzahlen für die Wärmebereitstellung. Der Datensatz „Gas konventionell“ in LEKOCOS enthält die Umweltwirkungen aus der Herstellung des Kessels und der Wärmeverteilung ebenso wie aus dem Betrieb des Kessels**

Da sich die Ökokennzahlen für Wärmeerzeugungsanlagen unterschiedlicher Leistungen auf den Lebenszyklus bezogen im Vergleich zu anderen Bauteilen wie „Decken“ nur sehr geringfügig unterscheiden, wurden die Arbeiten auf diesem Detailniveau nicht mehr weiterverfolgt. Stattdessen wurden die in der Basisdatenbank ecoinvent berechneten durchschnittliche Anlagen direkt in die Betriebsenergiemodule eingerechnet (Tabelle 6). Die Emissionen für die Herstellung der Wärmeerzeugungsanlagen werden somit auf die kWh Energie umgelegt, die verbraucht wird, und sind damit in den Ökokennzahlen pro

verbrauchte kWh Energie enthalten. Lüftungsanlagen, Wärmepumpen und Kühlungsanlagen werden derzeit nicht abgebildet. Eine detaillierte Modellierung der Haustechnik-Komponenten kann in EcoSoft oder online in eco2soft erfolgen.

Die Dokumentation zum Grundelemente-Katalog befindet sich im Anhang 1.

### **3.3 LEKOECS Rechenmodell (AP 3)**

#### **3.3.1 Modellteil Energie im Betrieb**

##### **3.3.1.1 Energiebedarf in der Betriebsphase des Gebäudes**

Im Immobilien-Benchmarking und in der BKI Kostendatensammlung werden die Klassifizierungen „niedrige“, „mittlere“ und „hohe“ Gebäudequalität verwendet, um die Nutzung der Tools zu erleichtern. Diesen Qualitäten sind verschiedene Gebäudekonzepte und Kosten zugeordnet, die bei Auswahl einer Qualität aktiviert werden. Das ermöglicht die Anwendung der Tools ohne viel Detailwissen.

Da in der frühen Planungsphase genaue Daten zur Gebäudequalität noch nicht vorhanden sind, wird dieser Ansatz der Klassifizierung zur Ermittlung von energierelevanten Ökokennzahlen des Energieverbrauchs im Betrieb im Programm LEKOECS übernommen.

Die Grundidee des Modells zur Abschätzung der betriebsbezogenen Umweltwirkungen im LEKOECS-Modell besteht darin, vorgefertigte Energie-Szenarien zu definieren, welche mit hinterlegten Energieverbrauchswerten verknüpft sind. Damit wird das einfach anzuwendende Konzept von LEKOS beibehalten und gleichzeitig die Ausgabe detaillierter ökologischer Kennzahlen ermöglicht.

Das Eingabehilfemodell „Energiebedarf im Betrieb“ zur Aktivierung der hinterlegten Energieszenarien ist somit wie folgt strukturiert:

#### **1. Auswahl des Gebäudetyps - Auswahlmöglichkeiten:**

- Bürogebäude
- Schule/Kindergarten
- Mehrgeschossiger Wohnbau

#### **2. Auswahl des Energiebedarfsprofils - Auswahlmöglichkeiten:**

- Sehr niedriger Bedarf
- Niedriger Bedarf
- Mittlerer Bedarf
- Hoher Bedarf

Energiebedarfsprofile für die oben genannten Gebäudetypen und Nutzungen liegen als Defaultwerte in der Einheit kWh vor. Diese vier Energieverbrauchsprofile bilden sowohl Neubau- als auch Bestandsobjekte ab und inkludieren neben der baulichen Qualität auch die Ausstattung, Belegungsfaktoren und das Nutzungsverhalten. Tabelle 7 zeigt beispielhaft das Energiebedarfsprofil zur Kühlung der Nutzungseinheiten.

|                          | Sehr niedrig | Niedrig | Mittel | Hoch |                      |
|--------------------------|--------------|---------|--------|------|----------------------|
| Bürogebäude              | 10           | 20      | 40     | 80   | kWh/m <sup>2</sup> a |
| Schule/Kindergarten      | 5            | 10      | 20     | 40   | kWh/m <sup>2</sup> a |
| Mehrgeschossiger Wohnbau | 2,5          | 5       | 10     | 20   | kWh/m <sup>2</sup> a |

**Tabelle 7: Energiebedarfsprofil zur Kühlung der Nutzungseinheiten in kWh/m<sup>2</sup>a (Bezugsfläche: BGFgekühlt)**

Als Basis für die Festlegung der Werte der Energiebedarfsprofile "sehr niedrig", "niedrig", "mittel", "hoch" dienen Erfahrungswerte sowie Angaben der VDI 3807 Blatt 2 - Energieverbrauchskennwerte für Gebäude (Juni 1998), Blatt 4 - Teilkennwerte elektrische Energie (August 2008) und Blatt 5 - Teilkennwerte thermische Energie (Juni 2012).

Mit der Auswahl des Gebäudetyps und Energiebedarfsprofils sind überschreibbare Voreinstellungen für die Energieträger (Heizung und Warmwasser, Kühlung, Strom für Nutzungseinheiten und allgemeine Teile des Hauses) und den Energiebedarf verknüpft.

Daraus ermittelt das Programm eine Grobabschätzung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente und der Primärenergieinhalte, die durch die Art des Energieträgers und die eingesetzte Energiemenge bestimmt werden.

Sind der oder die Energieträger für Heizung, Warmwasser sowie Kühlung und mechanische Lüftung (wenn vorhanden) und die Art der bezogenen elektrischen Energie bekannt, so kann im Blatt „Energie“ eine genauere Auswahl getroffen werden.

### 3. Auswahl der Energieträger - Auswahlmöglichkeiten:

- Strom: PV-Eigenverbrauch, Ökostrom, AT Mix, Europ. Mix, eigene Daten
- Heizung: Fernwärme mit KWK (50 % Gas/50 % Biomasse), Fernwärme mit KWK (100 % Biomasse), Fernwärme mit KWK (100 % Gas), Fernwärme Heizwerk (ohne KWK), Biomasse (1 MW), Fernwärme Wien, Abwärme, Solarthermie, Pellets, Hackschnitzel, Gasbrennwert, Gas konventionell, Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl = 4), Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl = 3,5), Luft-Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl = 2,7), eigene Daten Heizung
- Warmwasser: Warmwasserbereitung mit Heizung, Solarthermie, elektrisch zentral, elektrisch dezentral, eigene Daten Warmwasser
- Kühlung: Fernkälte Default, Fernkälte Wien, Absorptionskältemaschine (Fernwärme, Gas, Solar/Fernwärme, Solar/Gas), Free Cooling (Lüftungsanlage, Grundwasser), Kompressionskältemaschine (SEER=2,5), Turbokältemaschine (SEER=6), keine Kühlung vorgesehen, eigene Daten Kühlung
- Lüftung: mechanische Lüftung mit/ohne Wärmerückgewinnung, Fensterlüftung, Abluftanlage (bedarfsorientiert)

Es können die Energieträger und/oder Energieverbräuche genau angegeben werden, wenn sie bekannt sind. Dadurch erhöht sich der Genauigkeitsgrad der Berechnung. Das Modell erlaubt also die Überschreibung der Defaultwerte mit gebäudespezifischen Werten in unterschiedlichen Detailgraden. Es ist möglich, das Tool zu Beginn der Planung mit den

Defaultwerten zu benützen und im Laufe des Planungsfortschritts mit immer genaueren gebäudespezifischen Daten zu überschreiben.

Es können bis zu jeweils drei Energieträger für Heizung, Warmwasserbereitstellung, Kühlung und Strom sowie die Art der Lüftung ausgewählt werden. Die bei den einzelnen Nutzungen zur Auswahl zugeordneten Energieträger sind mit den jeweiligen Ökokennzahlen je kWh laut *ecoinvent*<sup>39</sup> verknüpft. Die Aufgliederung der Nutzungen wurde so gewählt, dass energetisch relevante Unterschiede verschiedener Varianten mit der LEKOECOS-Berechnung möglichst deutlich zum Ausdruck kommen.

Ebenso ist es möglich, den Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser, Kühlung und Strom direkt anzugeben.

### **3.3.1.2 Energiebereitstellung in der Betriebsphase des Gebäudes**

Das Eingabehilfemodell "Energiebereitstellung im Betrieb" zur Aktivierung der hinterlegten Energieszenarien ist wie das Eingabehilfemodell "Energiebedarf im Betrieb" aufgebaut.

Die Energiebereitstellung mittels solarthermischer Kollektoren (Wärme) und Photovoltaik (elektrischer Strom), hier bezeichnet als Energieproduktion, kann in Form von Energiebereitstellungsprofilen wie folgt ausgewählt werden:

- Keine
- Niedrig
- Mittel
- Hoch

Mit der Auswahl eines Energiebereitstellungsprofils wird im Hintergrund ein Energie-Szenario aktiviert, das eine bestimmte Energiemenge und die damit verbundenen Ökokennzahlen auf den Energieverbrauch anrechnet, also die CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus dem Energieverbrauch entsprechend verringert.

#### **Energiebereitstellungsprofile Photovoltaik-Anlage**

Stromerträge werden auf der Basis von PV-Flächen berechnet<sup>40</sup>.

Eine netzgekoppelte Photovoltaik-Anlage besteht aus dem PV-Generator (bestehend aus den PV-Modulen, die ihrerseits wiederum aus den PV-Zellen bestehen), Wechselrichter, Verkabelung, Einspeise- und Eigenverbrauchszähler.

Der Ertrag einer PV-Anlage wird beeinflusst von der Modulfläche, vom Modul- und Anlagenwirkungsgrad, der Modultemperatur, der Orientierung, der Neigung der Fläche sowie

---

<sup>39</sup> <http://www.ecoinvent.org/> (abgerufen am 31. März 2014)

<sup>40</sup> Siehe dazu: <http://www.pvaustria.at/> , <http://www.ertex-solar.at/> , <http://www.solarserver.de/themenkanaele/photovoltaik.html> , [http://www.sto-industrie.de/114306\\_DE-Uebersicht-Photovoltaik.htm](http://www.sto-industrie.de/114306_DE-Uebersicht-Photovoltaik.htm) , <http://alwitra.de/produkte/flachdach-photovoltaiksysteme/> , <http://www.photovoltaik-web.de/module/sondermodule/transparente-module-semi-transparente-module.html> , <http://www.solaranlagen-portal.com/> (abgerufen am 31. März 2014)



der Verschattung. Alle diese Faktoren werden hier nicht berücksichtigt, sondern es wird ein durchschnittlicher Wert angenommen.

Die Modulfläche kann aus den Angaben für die Dachfläche und die Außenwandfläche errechnet werden. Die Berücksichtigung der Dachfläche in LEKOECOS ist nur dann zulässig, wenn es sich um ein Schrägdach handelt (vgl. Systemgrenzen des Betriebsenergiemodells in LEKOECOS). Aus der Modulfläche ergibt sich die installierte Leistung in kW und daraus wieder der jährliche Stromertrag in kWh.

Pro kW installierter Leistung wird bei Schrägdächern ein durchschnittlicher jährlicher Stromertrag von 700 - 1.200 kWh erzielt. Das entspricht etwa 100 bis 170 kWh/m<sup>2</sup> PV-Modul<sup>41</sup>. Bei Fassaden ist der durchschnittliche jährliche Ertrag aufgrund des ungünstigeren Einstrahlungswinkels geringer (55 - 80 kWh/m<sup>2</sup> PV Modul).

In der Voreinstellung des LEKOECOS-Modells wird angenommen, dass 40 % der Dachfläche für die Nutzung von Solarenergie verwendet werden können und 15 % der Außenwandfläche (geeignete Flächen). Erfolgt die Nutzung der Sonnenenergie sowohl mittels Photovoltaik als auch Solarthermie, so wird diese Fläche je zur Hälfte auf diese beiden Technologien aufgeteilt. Tabelle 8 zeigt die im LEKOECOS-Modell hinterlegten Werte zur automatischen Abschätzung des Stromertrags. Die im Modell angegebenen Defaultwerte und die Ergebnisse der Abschätzung sind überschreibbar.

| <b>Stromertrag pro m<sup>2</sup> Modulfläche und Jahr (Nutzenergie)</b> |         |
|---|---------|
| Niedrig   | 70 kWh  |
| Mittel  | 130 kWh |
| Hoch  | 170 kWh |

**Tabelle 8: Energiebereitstellungsprofile für Stromertrag pro m<sup>2</sup> Modulfläche und Jahr (Nutzenergie) im LEKOECOS-Modell**

### **Faktoren, die den Stromertrag beeinflussen**

Die Menge des Stromertrags wird beeinflusst durch die Menge der Sonneneinstrahlung am Standort des Gebäudes, die Orientierung und Neigung der Module, die Art der Zellentechnologie (kristallines Silizium, Dünnschicht-Technologie, Tandemzellen etc.), weiters durch die Art der Verschattung in Verbindung mit temporärer Verschattung und durch das Auftreten von schadhaften Zellen.

Die Verwendung geprüfter Module (z.B. durch AIT) stellt sicher, dass die angegebenen Energieerträge auch in der Praxis realisiert werden können. Die Verwendung geprüfter Qualitätsprodukte reduziert das Risiko eines Minderertrags, das mit dem Ankauf von minderwertigen Waren verbunden ist.

Die Vielfalt an technischen Möglichkeiten erfordert die Planung und den fehlerfreien Einbau durch einen qualifizierten Fachbetrieb (z.B. zertifizierter Photovoltaikplaner und –installateur).

---

<sup>41</sup> Je nach Wirkungsgrad der Zellentechnologie entspricht 1kW installierte Leistung einer Modulfläche von etwa 7 m<sup>2</sup> (Bandbreite 6-9 m<sup>2</sup>).

Damit wird gewährleistet, dass ein für den Einsatzort optimiertes System zur Anwendung kommt.

Die Fernüberwachung der Anlage im Betrieb ermöglicht die unmittelbare Behebung von Fehlern und reduziert damit ebenfalls das Risiko eines Minderertrags.

### Einbau von Photovoltaikmodulen am/im Gebäude

PV-Module können am Steildach auf dem Dachbelag montiert werden (auf-Dach Montage), oder anstelle eines Dachbelags (in-Dach Montage). Bei Flachdächern können die Module aufgeständert werden, um eine günstige Neigung zu erreichen. Hier müssen Kosten und ökologische Kennwerte für das Aufständermaterial berücksichtigt werden (siehe Tabelle 9). Eine Alternative sind spezielle Produkte für Flachdächer (PV-Dachbahn), die den Anforderungen an die Abdichtung entsprechen und die Nachteile der geringen Dachneigung durch die angewendete Technologie ausgleichen. Im LEKOECOS-Modell werden die Aufständernungen aber ebenso wie die Wechselrichter und Elektroinstallationen nicht berücksichtigt, da die Eingabe als zu komplex erachtet wurde. Eine detaillierte Modellierung der PV-Anlage kann in EcoSoft oder online in eco2soft erfolgen.

|   |                  | GWP100 | PEI n.e. |
|---|------------------|--------|----------|
| Photovoltaikpaneel, mono-Si               | 1 m <sup>2</sup> | 242    | 4078     |
| Wechselrichter 2500 W, Photovoltaik       | 1 p              | 174    | 2698     |
| Elektroinstallationen für 3 kWp PV-Anlage | 1 p              | 132    | 1879     |
| Schrägdachkonstruktion integriert für PV  | 1 p              | 25     | 389      |

**Tabelle 9: Ökologische Aufwendungen für die Herstellung eines Wechselrichters, der Elektroinstallationen für eine PV-Anlage und einer Schrägdachkonstruktion im Vergleich zur Herstellung von 1 m<sup>2</sup> Photovoltaikpaneel, mono-Si.**

PV-Module können auch als Fassadenelemente eingebaut werden und ersetzen in diesem Fall die Fassadenverkleidung. Hier gibt es mit farbigen und (halb-)transparenten PV-Modulen interessante Gestaltungsmöglichkeiten.

### Energiebereitstellungsprofile der Solarthermie-Anlage

Wärmeerträge werden auf der Basis der Kollektorfläche berechnet<sup>42</sup>.

Das System zur solaren Warmegewinnung besteht aus Kollektor, Kollektorkreis, Speicher, Wärmetauscher, Nachheizung, Warmwasserentnahme, Kaltwasserzufuhr, Regelungs- und Steuerungselementen. Die Solaranlage kann ausschließlich der Warmwasserbereitung dienen oder der Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung.

Eine thermische Solaranlage erzielt jährlich einen Ertrag von rund 250 bis 600 Kilowattstunden (kWh) pro Quadratmeter Kollektorfläche. Dieser ist abhängig von der Art des

---

<sup>42</sup> Siehe dazu: <http://www.solarwaerme.at/> , <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien899.pdf> , <http://www.bine.info/publikationen/publikation/fassadenkollektoren-mit-durchblick/> , <http://www.solarserver.de/themenkanaele/solarthermie.html> , <http://www.solaranlagen-portal.com/> (abgerufen am 31. März 2014)

verbauten Solarthermie-Kollektors sowie dem Wirkungsgrad des Systems. Für einen hohen Wärmeertrag entstehen auch oft höhere Anschaffungskosten.

In der Voreinstellung wird angenommen, dass 40 % der Dachfläche für die Nutzung von Solarenergie verwendet werden können und 15 % der Außenwandfläche (geeignete Flächen). Erfolgt die Nutzung der Sonnenenergie sowohl mittels Photovoltaik als auch Solarthermie, so wird diese Fläche je zur Hälfte auf diese beiden Technologien aufgeteilt. In Tabelle 10 sind die im LEKOECOS-Modell hinterlegten Werte zur automatischen Abschätzung des Wärmeertrags aus der Solarthermie-Anlage dargestellt. Die Ergebnisse der Abschätzung sind, wie sämtliche im Modell hinterlegte Defaultwerte, überschreibbar.

| <b>Wärmeertrag pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche und Jahr (Nutzenergie)</b> |         |
|---|---------|
| Niedrig   | 250 kWh |
| Mittel  | 400 kWh |
| Hoch  | 600 kWh |

**Tabelle 10: Energiebereitstellungsprofile für den Wärmeertrag pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche und Jahr (Nutzenergie) im LEKOECOS-Modell**

### **Faktoren, die den Wärmeertrag beeinflussen**

Die Menge der gewonnenen nutzbaren Wärme wird beeinflusst durch die Menge der Sonneneinstrahlung am Standort des Gebäudes, die Orientierung und Neigung der Anlage, durch die Art der Kolleorteknologie (Flachglaskollektor oder Vakuumröhrenkollektor mit weiteren unterschiedlichen Ausprägungen) und durch Verluste, die im System auftreten.

Die Verwendung zertifizierter Komponenten (z.B. Austria Solar Gütesiegel) stellt sicher, dass die angegebenen Energieerträge auch in der Praxis realisiert werden können. Die Verwendung geprüfter Qualitätsprodukte reduziert das Risiko eines Minderertrags, das mit dem Ankauf von minderwertigen Waren verbunden ist.

Die Vielfalt an technischen Möglichkeiten erfordert die Planung und den fehlerfreien Einbau durch einen qualifizierten Fachbetrieb (z.B. zertifizierter Solarwärmepfänger und –installateur). Damit wird gewährleistet, dass ein für den Einsatzort optimiertes System zur Anwendung kommt.

Die Fernüberwachung der Anlage im Betrieb ermöglicht die unmittelbare Behebung von Fehlern und reduziert damit ebenfalls das Risiko eines Minderertrags.

### **Einbau von solarthermischen Kollektoren am/im Gebäude**

Kollektoren können am Steildach auf dem Dachbelag montiert werden (auf-Dach Montage), oder anstelle eines Dachbelags (in-Dach Montage). Bei Flachdächern erfolgt eine Aufständigung der Kollektoren, um eine günstige Kollektorneigung zu erreichen. Hier müssen Kosten und ökologische Kennwerte für das Aufständigungsmaterial berücksichtigt werden. Im LEKOECOS-Modell wird nur der Kollektor selbst bilanziert. Aufständigungen werden ebenso wie andere Anlagenkomponenten (z.B. Expansionsgefäße) nicht

berücksichtigt (siehe auch PV-Anlage). Eine detaillierte Modellierung der PV-Anlage kann in EcoSoft oder online in eco2soft erfolgen.

Kollektoren können auch als Fassadenelemente eingebaut werden und ersetzen in diesem Fall die Fassadenverkleidung. Hier gibt es mit der halbtransparenten Fassade eine interessante Entwicklung: Integrierte Vakuumkollektoren erzeugen solare Wärme auf hohem Temperaturniveau, leuchten Räume gleichmäßig semitransparent aus und bieten Sonnenschutz, ohne den Blick nach draußen zu nehmen. Das System eignet sich vor allem für Funktionsbauten mit hohem Verglasungsanteil.

### **3.3.1.3 Systemgrenzen des Betriebsenergiemodells in LEKOECS**

#### **Belastung der genutzten kWh Wärme mit Primärenergieinhalten und CO<sub>2</sub>-Äquivalenten**

In der Betriebsphase werden die vorgelagerten Umweltwirkungen inklusive des Primärenergieaufwands für die Infrastruktur für die Energieumwandlung berücksichtigt, sofern die Energieumwandlung innerhalb des Gebäudes stattfindet. Die Primärenergie und weiteren Umweltwirkungen für die Errichtung eines Heizwerks und der Leitungsinfrastruktur sowie die damit verbundenen Transportverluste werden in der kWh Fernwärme bzw. Nahwärme aus einem Heizwerk nicht berücksichtigt. Bei Abwärmenutzung und Wärme aus Kraftwärmekopplung werden der Wärmenutzung keine Umweltwirkungen zugeordnet, weil die Wärmeproduktion nicht primäre Zielsetzung des Prozesses ist.

#### **Berücksichtigung des Energiebedarfs während der Gebäudenutzung**

Es wird kein Prozessenergiebedarf berücksichtigt wie beispielsweise der Energiebedarf von Kantinen oder der Energiebedarf von Büroinfrastruktur wie für den Betrieb von Computern und Druckern. Es wird ausschließlich jener Energiebedarf berücksichtigt, der durch die Qualität der Gebäudehülle und technische Gebäudeausstattung verursacht wird.

#### **Berücksichtigung von Stromerträgen während der Gebäudenutzung**

Es werden Erträge berücksichtigt, die direkt mit Teilen der Gebäudehülle verbunden sind, die also mit gebäudeintegrierter Photovoltaik produziert werden (Solardachziegel, Fassadenmodule).

Andere Produktionseinheiten wie z.B. Brennstoffzellen, die nicht mit dem Gebäude verbunden sind, werden als Teil eines Geschäftsprozesses betrachtet (Energieproduktion und Energieverkauf) und bei der LEKOECS-Berechnung nicht berücksichtigt.

Die Energieproduktion aus gebäudeintegrierter Photovoltaik kann als Option der Stromversorgung ausgewählt werden („PV-Eigenverbrauch“). Die Menge kWh Strom aus Photovoltaik ist mit den entsprechenden Umweltwirkungen belegt. Der PV-Eigenverbrauch einer Anlage beträgt bei netzgekoppelten Anlagen ohne Speicher 20-30%. Der Überschuss wird ins Netz eingespeist. Für die Energiebilanz wird der Zeitraum von einem Jahr herangezogen. Die Kostenbilanz berücksichtigt den PV-Eigenverbrauch und den Überschuss an eingespeistem Strom als Verminderung der Stromkosten. Die Überschussenergie wird entweder zu marktüblichen Preisen oder bei Anerkennung als Ökostromanlage zum geförderten Tarif eingespeist. Bei der Anerkennung als Ökostromanlage beträgt der

Einspeisetarif für Anlagen die ab 1. Juli 2012 bis Ende des Jahres 2013 errichtet wurden 18,12 Cent/kWh für 13 Jahre<sup>43</sup>. Im Jahr 2014 errichtete Ökostrom-Anlagen können für 13 Jahre zu einem geförderten Tarif von 12,5 Cent/kWh einspeisen.<sup>44</sup>

Laut PV Austria wird für Überschuss-Einspeisung, die nicht unter den Ökostromtarif fällt, je nach Energieversorgungsunternehmen bis zu 0,10 EUR pro kWh bezahlt<sup>45</sup>. Es ist jedoch nur die ÖMAG zur Abnahme des Stroms zum gängigen Marktpreis verpflichtet. Im 2. Quartal 2013 waren das 4,08 Cent / kWh<sup>46</sup>.

### Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Systeme und thermische Kollektoren

In der Systematik der ÖNORM B 1801-1 sind diese Elemente nicht nur zur Kategorie Bauwerk-Technik sondern auch zur Kategorie Bauwerk-Ausbau zuzuordnen, da es sich um Bauteile mit Mehrfachnutzen handelt. Photovoltaik-Module können neben der Stromproduktion gleichzeitig die Funktion von Dachbelägen erfüllen und klassische Dachziegel damit ersetzen. Ähnliches gilt für die Fassade, wo Photovoltaik-Module und thermische Kollektoren neben der Energieproduktion gleichzeitig die Funktion einer Fassadenbekleidung erfüllen.

|          |                             |           |  |
|----------|-----------------------------|-----------|--|
| E3.C     | Wärmeversorgungsanlagen     | E4.B.01   | Dachbeläge                             |
| E3.C.01  | Wärmeerzeugungsanlagen      | E4.B.01.a | Dachbelag 1                            |
| E3.C.01a | Solarthermie Dach           | E4.B.01.b | Dachbelag 2                            |
| E3.C.01b | Solarthermie Fassade        |           | Dachintegrierte Photovoltaikmodule     |
| E3.C.02  | Wärmeverteilnetze           |           | Dachintegrierte Solarkollektoren       |
| E3.C.03  | Raumheizflächen             |           |  |
|          |                             | E4.C.01   | Fassadenverkleidungen                  |
| E3.F.02  | Eigenstromversorgung        | E4.C.01a  | Putzfassade                            |
| E3.F.02a | PV am Dach                  | E4.C.01b  | Vorgehängte Fassade                    |
| E3.F.02b | PV an der Fassade           |           | Fassadenintegrierte Photovoltaikmodule |
| E3.F.02c | sonstige Eigenstromversorg. |           | Fassadenintegrierte Solarkollektoren   |

**Tabelle 11: Zuordnung der Elemente in den Kostenbereichen Bauwerk-Technik (E3) und Bauwerk-Ausbau (E4)**

Die Anrechnung von Umweltwirkungen und Kosten darf jedoch nur einmal erfolgen. Damit kommt der Mehrfachnutzen als Bauteil und als Teil einer Energiebereitstellungsanlage in der LEKOECOS-Berechnung zum Ausdruck. Die Flächen von dach- oder fassadenintegrierten PV-Modulen oder Solarkollektoren können unter Bauwerk-Ausbau als Dachbeläge oder Fassadenverkleidungen angegeben werden. Kosten und Umweltwirkungen werden jedoch immer im Bereich Bauwerk-Technik unter E3.F.02 Eigenstromversorgung

<sup>43</sup> Ökostrom- Einspeisetarifverordnung 2012 – ÖSET-VO 2012: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich Jahrgang 2012, Ausgegeben am 18. September 2012, Teil II 307

<sup>44</sup> Ökostrom- Einspeisetarifverordnung 2012 – ÖSET-VO 2012: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich Jahrgang 2012, Ausgegeben am 18. September 2012, Teil II 503

<sup>45</sup> <http://www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/strom-verkaufen/> (abgerufen am 30.04.2014)

<sup>46</sup> <http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/oeko-energie/oekostrom-foerdersystem> (abgerufen am 30.04.2014)

(Photovoltaikmodule) bzw. unter E3.C.01 Wärmeerzeugungsanlagen (Solarkollektoren) berücksichtigt.

### 3.3.2 Modellteil Dienstleistungen

Die laufenden 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, die durch Dienstleistungen zustande kommen, die unmittelbar mit dem Gebäudebetrieb zusammenhängen - etwa die Gebäudeverwaltung oder Instandhaltungs- und Reinigungsdienste.

Dazu wurde basierend auf der Systematik des LEKOS-Modells ein eigenes Modell zur Abschätzung der dienstleistungsbezogenen CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen und der Energieverbräuche aus nicht erneuerbaren Ressourcen entwickelt. Das Modell wurde mit den entsprechenden ökologischen Kennzahlen und sorgfältig gewählten Annahmen hinterlegt, die bei Bedarf überschrieben werden können.

Für die folgenden gebäudebezogenen Dienstleistungen können unterschiedliche Parametereinstellungen vorgenommen und lebenszyklische Umweltwirkungen abgeschätzt werden:

- F1.1 Verwaltung und Management
- F1.3 Flächenmanagement
- F2.1 Technisches Gebäudemanagement
- F2.2 Inspektionen
- F2.3 Wartung
- F2.4 Kleine Instandsetzung, Reparaturen
- F4.1.a Büro/Wohnflächenreinigungskosten
- F4.1.b Sanitärreinigungskosten
- F4.1.c Gang- und Stiegenreinigungskosten
- F4.1.d Tiefgaragen- und Nebenflächenreinigungskosten
- F4.2.a Fensterreinigungskosten
- F4.2.b Innenglasflächenreinigung
- F4.3 Fassadenreinigung
- F4.4.a Sonnenschutzreinigungskosten
- F4.4.b Reinigungskosten PV und Solarthermie
- F4.5 Winterdienste
- F4.6 Reinigung Außenanlagen
- F4.7 Gärtnerdienste
- F5.1 Sicherheitsdienste (Schließdienste, Bewachung)
- F5.2 Brandschutzdienste
- F6.1 Hauspost (Verteilung der Post im Haus)
- F6.2 Kommunikations- und Informationstechnik
- F6.3 Umzüge - interne Transporte, Hausarbeiterdienste

- F6.4 Empfang und interne Bürodienste

Für die Folgekostengruppe F6.5 Gastroservice werden keine Umweltwirkungen ermittelt, da sich diese Dienstleistung grundlegend von den übrigen Dienstleistungen unterscheidet und die damit verbundenen Prozesse für diese vereinfachte Modelldarstellung zu komplex sind.

Je nach Einstellung können für jede Dienstleistung Umweltwirkungen aus folgenden Prozessen abgeschätzt und in der Berechnung berücksichtigt werden:

- Fahrten des Dienstleistungsunternehmens zum Arbeitsplatz (in der Voreinstellung deaktiviert)
- Fahrten des Dienstleistungsunternehmens zum Objekt
- Unterhalt von Büroräumen (inkl. Administration) des Dienstleistungsunternehmens
- Gerätebetrieb mit Strom am Objektstandort im Rahmen der Dienstleistung (Reinigungsautomaten, Arbeitsbühnen, usw.)
- Gerätebetrieb mit Diesel am Objektstandort im Rahmen der Dienstleistung (Rasenmäher, Schneefräsen, usw.)

Dazu werden die Umweltwirkungen aus jedem dieser Prozesse auf dafür definierte „verrechnete Arbeitsstunden“ bezogen und mit jenen „verrechneten Arbeitsstunden“ multipliziert, die sich aus den jährlich anfallenden Kosten und dem im Modell hinterlegten (ebenfalls überschreibbaren) Stundensatz für die jeweilige Dienstleistung ergeben.

Für den Modellaufbau wurden verschiedene Parameter definiert und mit Voreinstellungswerten hinterlegt, die bei Bedarf angepasst werden können. Diese Parameter werden im Folgenden kurz beschrieben. Verrechnete Arbeitsstunden

Die Anzahl der „verrechneten Arbeitsstunden“ pro Jahr wird für jede Dienstleistung aus den jährlichen Gesamtkosten der Folgekostenposition (abzüglich der Kosten für Arbeitsbühnen bei Reinigungskosten) und dem im Modell hinterlegten (überschreibbaren) verrechneten Stundensatz berechnet. Der vom Dienstleistungsunternehmen verrechnete Stundensatz enthält nach dieser Annahme die Gesamtkosten der Dienstleistung (Personal-, Transport-, Material-, Verwaltungskosten usw.), die auf die an den Auftraggeber verrechneten Arbeitsstunden bezogen werden.

### **3.3.2.1 Fahrten zum Arbeitsplatz pro verrechneter Arbeitsstunde**

Dieser Parameter bezieht sich auf Fahrten des Dienstleistungspersonals zu einem Arbeitsplatz, der nicht im betrachteten Gebäude liegt. Fahrten zum Arbeitsplatz werden in der Defaulteinstellung des Dienstleistungsmodells nicht berücksichtigt, durch Änderung der Voreinstellungswerte kann eine Berücksichtigung jedoch erfolgen. In diesem Fall werden als Annahme zwei Fahrten pro Personearbeitstag bei einer durchschnittlichen Anzahl von 200 Arbeitstagen pro Jahr und einer angenommenen durchschnittlichen Entfernung von 10 Pkm (Personenkilometer) zum Arbeitsplatz hinterlegt, wobei sämtliche Annahmen bei Bedarf überschrieben werden können.

Über den Faktor Bürotätigkeit (siehe Bürotätigkeit pro verrechneter Arbeitsstunde) wird berücksichtigt, wie viele Personenfahrten zum Arbeitsplatz anteilig der verrechneten Dienstleistung zugeordnet werden.

### **3.3.2.2 Fahrten zum Objekt pro verrechneter Arbeitsstunde**

Berücksichtigt werden hier Fahrten vom Arbeitsplatz zum Objekt, bzw. Fahrten direkt vom Wohnort zum Objekt, wenn keine Fahrt zu einem externen Arbeitsplatz stattfindet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die erste Fahrt vom Wohnort bzw. Arbeitsplatz zu Objekt 1 stattfindet und alle weiteren Objekte, die an einem durchschnittlichen Arbeitstag vor Ort betreut werden, direkt angefahren werden. Außerdem wird für die durchschnittliche Entfernung zwischen Wohnort und Objekt der gleiche Wert angesetzt wie für die durchschnittliche Entfernung zwischen Arbeitsplatz und Objekt bzw. zwischen den einzelnen Objekten.

Die Anzahl der Fahrten pro Jahr ergibt sich aus der Anzahl der pro Jahr durchgeführten Einsätze plus einer Rückfahrt pro Arbeitstag, an dem ein Einsatz stattfindet. Die Anzahl der pro Jahr durchgeführten Einsätze ergibt sich aus der als Annahme hinterlegten durchschnittlichen Anzahl von 1320 tatsächlich geleisteten Arbeitsstunden pro Jahr dividiert durch die angenommene Arbeitszeit pro Einsatz. Die Anzahl der Arbeitstage, an denen ein Einsatz stattfindet, entspricht der Anzahl der durchschnittlichen Arbeitstage pro Jahr, wenn die Anzahl der Einsätze größer ist als die Anzahl der durchschnittlichen Arbeitstage pro Jahr und der Anzahl der Einsätze, wenn die Anzahl der Einsätze kleiner ist als die Anzahl der durchschnittlichen Arbeitstage pro Jahr.

### **3.3.2.3 Arbeitszeit pro Einsatz**

Dieser Parameter bildet die anteilige Arbeitszeit pro Einsatz am Objekt inklusive Fahrzeiten ab. Fährt beispielsweise eine Person der Gebäudeverwaltung im Schnitt je acht verrechneter Arbeitsstunden einmal zum Objekt, so beträgt der Wert Arbeitszeit pro Einsatz gleich acht.

### **3.3.2.4 Bürotätigkeit pro verrechneter Arbeitsstunde**

Mit Hilfe dieses Faktors wird abgebildet, wie viele Arbeitsstunden Bürotätigkeit (inkl. Verwaltung, Administration usw.) einer tatsächlich verrechneten Dienstleistungsstunde zugeteilt werden. Je nach Art der Dienstleistung kann dieser Faktor größer oder kleiner als 1 (100%) sein. Für den Bereich der Gebäudeverwaltung ist beispielsweise als Annahme ein Faktor von 1,2 (120%) hinterlegt, für eine verrechnete Arbeitsstunde werden also Umweltwirkungen aus 1,2 Personenstunden Bürotätigkeit in einem externen Bürogebäude berücksichtigt.

Für Reinigungsdienstleistungen wird voreingestellt ein Faktor von 0,1 (10%) angenommen. Für eine verrechnete Arbeitsstunde werden als 0,1 Personenstunden Bürotätigkeit in einem externen Bürogebäude (für Verwaltung und Administration) angesetzt.

Bei der Abschätzung der Umweltwirkungen aus der Bürotätigkeit in einem externen Bürogebäude werden der Energiebedarf aus dem Gebäudebetrieb und der benötigte



Nutzerstrom, jeweils bezogen auf einen Arbeitsplatz in einem angenommenen durchschnittlichen Bürogebäude (vgl. Tabelle 12), berücksichtigt.

| Annahmen zur Energiebedarfsberechnung Büro des Dienstleistungsunternehmens |   |   |
|--|---|---|
| Energiebedarf  | <i>mittel</i>                               |   |
| Energieproduktion (Solarthermie)   | <i>keine</i>                                |   |
| Energieproduktion (Strom aus Photovoltaik)                                 | <i>keine</i>                                |   |
| Mechanische Lüftung ja/nein  | <i>ja</i>                                   |   |
| Kühlung ja/nein  | <i>ja</i>                                   |   |
| Befeuchtung ja/nein  | <i>ja</i>                                   |   |
| Entfeuchtung ja/nein   | <i>ja</i>                                   |   |
| Kühlung:   | <i>Kompressionskältemaschine (SEER=2,5)</i> |   |
| Lüftung:   | <i>mechanische Lüftung</i>                  |   |
| Warmwasser:  | <i>elektrisch dezentral</i>                 |   |
| Gesamtstrombedarf inkl. Betriebsstrom                                      |   | <b>105,84</b> kWh/m <sup>2</sup> BGFbeheizt a |
| Heizenergiebedarf Raumwärme HEB-RH (exkl. Hilfsstrom)                      |   | <b>61,38</b> kWh/m <sup>2</sup> BGFbeheizt a  |

**Tabelle 12: Annahmen zum Energiebedarf eines durchschnittlichen Bürogebäudes zur Ermittlung der Umweltwirkungen aus der Bürotätigkeit eines Dienstleistungsunternehmens**

### 3.3.2.5 Gerätebetrieb mit Strom am Objektstandort pro verrechneter Arbeitsstunde

Mit diesem Parameter wird der Stromverbrauch am Objektstandort aus dem tätigkeitsbezogenen Betrieb elektrischer Geräte (z.B. Betrieb von Reinigungsautomaten, Hochdruckreinigern, Arbeitsbühnen usw.) je verrechneter Arbeitsstunde abgebildet. Für die Berechnung der Umweltwirkungen werden die Einstellungen zur Stromversorgung des betrachteten Objektes (Ökostrom, AT Mix, Europ. Mix oder eigene Daten) berücksichtigt.

### 3.3.2.6 Gerätebetrieb Diesel am Objektstandort pro verrechneter Arbeitsstunde

Mit Hilfe dieses Parameters wird der Treibstoffverbrauch für den Betrieb von Verbrennungsmotoren im Rahmen der gebäudebezogenen Dienstleistung (Rasenmäher, Schneefräsen usw.) je verrechneter Arbeitsstunde abgebildet.

## 3.3.3 Ökobilanzmodell

### 3.3.3.1 Zweck der Bewertung

Die Ökobilanzierung von Gebäuden im LEKOECOS-Tool soll unterstützen, Umweltaspekte in der Planung zu berücksichtigen. Das Gebäude wird dabei als System betrachtet, das in drei Phasen unterteilt wird: in die Bau- (Herstellungs- und Errichtungsphase), die Nutzungs- und die Entsorgungsphase.

Die Ergebnisse können z.B. zum Vergleich unterschiedlicher Planungsvarianten, zur Identifizierung von besonders umweltrelevanten Prozessen und Phasen, zur Gegenüberstellung von Kosten und Umweltwirkungen oder zur Ergänzung der Lebenszykluskosten mit externen Kosten dienen.

Das LEKOECOS-Tool wurde so entwickelt, dass es bereits in einer sehr frühen Planungsphase angewendet werden kann. Eine ganz wesentliche Maßnahme zur Vereinfachung der

Dateneingabe besteht in der Entwicklung und Hinterlegung von Grundelemente-Katalogen (siehe 3.2 LEKOECOS Grundelemente-Katalog (AP2) und Dokumentation der Grundelemente im Anhang).

Die zweite Vereinfachung besteht in Voreinstellungswerten und abgeschätzten Kenngrößen, die überschrieben werden können, sobald detailliertere Daten verfügbar sind. Je detaillierter die Dateneingabe erfolgt, desto genauer ist das Berechnungsergebnis!

### **3.3.3.2 Bewertungsgegenstand**

Der Bewertungsgegenstand ist das Gebäude einschließlich seines Fundaments im Verlauf des gesamten Lebenszyklus. Betrachtungsgrenze ist die Grundstücksgrenze. Außenanlagen werden in LEKOECOS derzeit noch nicht bewertet.

LEKOECOS erlaubt die Eingabe des gesamten Gebäudes oder Teile davon. Als Ergebnisse werden die Absolutmengen – über den gesamten Betrachtungszeitraum oder pro Jahr – dargestellt. Wichtige Kennwerte werden außerdem pro m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche sowie pro m<sup>2</sup> Nutzungseinheit angeführt. Andere funktionelle Äquivalente müssen je nach Aufgabenstellung vom Assessor individuell festgelegt werden.

### **3.3.3.3 Systemgrenzen**

Die Systemgrenzen in LEKOECOS orientieren sich an den Phasen A bis D der ÖNORM EN 15978, werden allerdings im Hinblick auf die Zieldefinition vereinfacht dargestellt. Im Folgenden sind die Lebenszyklusphasen gemäß EN 15978 und deren Umsetzung in LEKOECOS dargelegt:

#### **Herstellungsphase (A 1- A3)**

Die Baumaterialien werden stufenkumuliert über alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Ende der Produktionsphase bilanziert (Cradle to Gate, Module A1 bis A3 gemäß EN 15804). Die Daten für die Herstellungsphase stammen aus der IBO-Richtwerte-Tabelle. Ausgabe 2012. Die detaillierten spezifischen Rahmenbedingungen und methodischen Vorgaben sind unter <http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm> abrufbar.

Der jeweils aktuelle IBO-Referenzdatensatz kann über eine Schnittstelle aus der Online-Datenbank [www.baubook.at](http://www.baubook.at) ausgelesen werden.

#### **Errichtungsphase (A4 - A5)**

In dieser Phase werden Transporte vom Hersteller zur Baustelle berücksichtigt (A4). Angenommen wird vereinfachend ein Transport für alle Materialien mit einem 28t LKW der Klasse EURO 3. Die Transportweiten für verschiedene Kategorien von Baumaterialien entsprechen repräsentativen Transportdistanzen in Österreich und sind in folgender Tabelle angeführt.

Materialverluste auf der Baustelle werden im LEKOECOS-Modell vorerst nicht berücksichtigt.

Der Energiebedarf für Geräte (z.B. Kräne) wird ebenso wie Personentransporte von und zur Baustelle nicht berücksichtigt.

| <b>Material</b>  | <b>Transportweite</b> |
|--|-----------------------|
| Erdaushub  | 30 km                 |
| Schweres (Beton, Estrich, Splittschüttung, Kies etc.)  | 50 km                 |
| Ziegel (Einhängeziegel, Schallschutzfüllziegel etc.)   | 100 km                |
| Mörtel und Putze   | 100 km                |
| Holz (Schnittholz, Brettstapelholz etc.)   | 200 km                |
| Fenster  | 250 km                |
| Dämmungen, Gipskartonplatten, Porenbeton, Abdichtungen, Bodenbeläge, Holzwerkstoffe, Metalle | 300 km                |

**Tabelle 13: Angenommene Transportweiten für verschiedene Kategorien von Baumaterialien**

### **Materialbezogene Nutzungsphase (B1 - B5)**

Von den materialbezogenen Nutzungsphasen B1 - B5 wird nur der Material- bzw. Bauteil-tausch berücksichtigt (B4), alle anderen Phasen werden vernachlässigt. Die Reinigung wird, wie auch sonst üblich, nicht berücksichtigt. B4 umfasst die neuerliche Herstellung der ausgetauschten Materialien „von der Wiege bis zum Werkstor“ (Cradle to Gate). Es gelten die im Kapitel zur Herstellungsphase (A1 - A3) dargestellten Annahmen. Die Transporte der Austauschmaterialien zur Baustelle werden nicht berücksichtigt. Die Umweltwirkungen aus der Entsorgung der ausgetauschten Materialien beim Austausch werden der Entsorgungsphase zugeordnet.

### **Energiebedarf im Betrieb (B6)**

In diesem Modul wird gemäß EN 15978 die Energie, die durch gebäudeinterne technische Systeme während des Gebäudebetriebs verbraucht wird, bewertet. Das entsprechende Rechenmodell ist in Kapitel 3.3.1 Modellteil Energie im Betrieb detailliert dargestellt. Siehe Kapitel 3.3.1.3 Systemgrenzen des Betriebsenergiemodells in LEKOECS für nicht durch gebäudeinterne technische Systeme verursachten Energiebedarf im Betrieb.

Umweltwirkungen, die durch Dienstleistungen zustande kommen, die unmittelbar mit dem Gebäudebetrieb zusammenhängen - etwa die Gebäudeverwaltung oder Instandhaltungs- und Reinigungsdienste - werden in den Gebäudebewertungen gemäß EN 15978 nicht standardmäßig erfasst. In LEKOECS ist ein eigenes Dienstleistungsmodell hinterlegt, das im Kapitel 3.3.2 Modellteil Dienstleistungen beschrieben wird.

### **Entsorgungsphase (C1 - C4)**

Aus der Massenbilanz, basierend auf den Mengenangaben und bilanzierten Bauteilschichten, werden Defaultwerte für die Entsorgungsmengen der einzelnen Materialien erstellt.

Für die Entsorgungsprozesse stehen Ökobilanzmodule aus MÖTZL, PLADERER (2010) zur Verfügung. Die Module enthalten Aufwände für Transporte (C2), Aufwände für die Manipulation auf der Deponie (C4) sowie Aufwände in Sortieranlagen und Abfallverbrennungsprozesse (C3). Die Aufwände für Rückbau/ Abriss (C1) werden für Bauteile aus Stahlbeton berücksichtigt, sonst vernachlässigt.

Die Berechnungen werden für alle Entsorgungsphasen C1 bis C4 zuzüglich Modul D aggregiert dargestellt. Die Entsorgung der ausgetauschten Materialien (Modul B4) wird entgegen der in EN 15978 vorgeschlagenen Vorgangsweise (B4 zuzuordnen) wegen der besseren Übersichtlichkeit ebenfalls der Lebensphase C1-4 zugeordnet.

#### **Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen (D)**

Durch die Nutzung der thermischen Energie bei der Verwertung brennbarer Materialien wie Holz werden andere (fossile) Brennstoffe und dadurch auch Treibhausgasemissionen substituiert. Für Phase D wurde angenommen, dass die verwertbaren Abfallstoffe in einer Verbrennungsanlage für Industrieabfälle mit einem Wirkungsgrad (für Wärme) von 80 % verbrannt werden. Es wird angenommen, dass durch die Altmaterialverbrennung Gas substituiert wird, welches in einem Brennwertkessel mit 95 % Wirkungsgrad verbrannt würde. Dies führt zu einer „Gutschrift“ bei der Entsorgung. Diese Gutschrift ist gemäß EN 15978 in der Phase D abgebildet. Im vereinfachten LEKOEKOS-Modell wurden diese Gutschriften der Entsorgungsphase direkt zugeordnet.

#### **3.3.3.4 Nutzungsdauer**

Ein nicht unwesentlicher Faktor für die Umweltwirkungen im Gebäudelebenszyklus ist die Häufigkeit des Austauschs von Bauteilen und Bauteilschichten. Um dies zu berücksichtigen, werden den einzelnen Elementen im LEKOEKOS-Modell Nutzungsdauern zugeordnet.

Nach Ende jeder Nutzungsperiode werden die Umweltwirkungen für die Erneuerung des Bauteils oder der Bauteilschicht berücksichtigt (siehe Materialbezogene Nutzungsphase (B1 - B5)).

Die vorgeschlagenen Nutzungsdauern im Grundelemente-Katalog beruhen auf einem einfachen Modell, das auf eine Gebäudelebensdauer von 100 Jahren ausgerichtet ist:

- Mechanisch beanspruchte und der Witterung ausgesetzte Bauteile werden mit einer Nutzungsdauer von 25 Jahren angenommen, ebenso Schichten, die im Zuge des Austauschs einer solchen Oberfläche ebenfalls erneuert werden müssen (z. B. Klebeschichten).
- Für Solaranlagen wird eine Nutzungsdauer von 25 Jahren angenommen.
- Für nichttragende erdanliegende Bauteilschichten sowie der Witterung nicht direkt ausgesetzte Abdichtungen wird eine Nutzungsdauer von 50 Jahren angenommen.
- Ebenso wird für Materialien, die weder eine tragende Funktion erfüllen noch einer direkten äußeren Beanspruchung ausgesetzt sind, eine Nutzungsdauer von 50 Jahren angesetzt.
- Per Definition statisch tragende Bauteile sowie Trenn- bzw. Innenwände aus Ziegel und Beton bzw. solche, von denen nicht anzunehmen ist, dass sie im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes ausgetauscht werden, sollen für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren bestehen.

Die Vorschlagswerte für die Nutzungsdauern können überschrieben werden.

Die Gebäudelebensdauer kann frei gewählt werden, ist aber mit maximal 100 Jahren begrenzt. Bei einer kürzeren Gebäudelebensdauer von z.B. 50 Jahren werden nur die Bauteilschichten mit kurzer Nutzungsdauer (25 Jahren) ausgetauscht. Die maximal mögliche Nutzungsdauer für Bauteilschichten ist die Gebäudelebensdauer.

### 3.3.3.5 Datenerhebung

Die Lebenszyklusanalyse basiert auf einer Massenbilanz der Gebäude, dem Endenergiebedarf für den Betrieb und dem INO-Richtwerte-Datensatz zu den Wirkungsindikatoren der verwendeten Prozesse.

Die Massenbilanzen der Gebäude können auf Plänen, Energieausweisen, Ausschreibungsunterlagen und Auskünften der Planungsbüros oder Bauträger basieren. Die Bruttofläche wird üblicherweise als Bezugsgröße für die Außenbauteile herangezogen, Innenwände und –decken werden auf Basis der Nettoflächen bemessen.

### 3.3.3.6 Betrachtete Umweltindikatoren

Von den in ÖNORM EN 15978 angeführten 24 Umweltindikatoren (siehe Tabelle 1) werden in LEKOECS im ersten Schritt nur folgende verwendet:

| Eigene Bezeichnung                              | Indikatoren gemäß EN 15978  | Einheit                  |
|---|---|--------------------------|
| Treibhauspotenzial (GWP)                        | Treibhauspotential (GWP);   | kg CO <sub>2</sub> äquiv |
| C-Gehalt (GWP Speicher)                         | GWP wird in EN 15978 nicht aufgespalten   | kg CO <sub>2</sub> äquiv |
| GWP Prozess                                     | GWP wird in EN 15978 nicht aufgespalten   | kg CO <sub>2</sub> äquiv |
| Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PEI n.e.) | Summe aus: Verwendung erneuerbarer Primärenergieressourcen - ohne Energieressourcen, die als Rohstoff dienen + Verwendung von nicht erneuerbaren Primärenergieressourcen, die als Rohstoff dienen | MJ                       |

### Treibhauspotenzial (GWP)

Das Treibhauspotenzial GWP (Global Warming Potential) beschreibt den Beitrag eines Spurengases zur globalen Erwärmung relativ zu Kohlendioxid. Im vorliegenden Projekt wird das Treibhauspotenzial in Übereinstimmung mit der internationalen Normung für den Zeithorizont von 100 Jahren bestimmt. Das Treibhauspotenzial (GWP<sub>100a</sub>) wurde gemäß CML 2001 v3.9 ermittelt und in kg-CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben.

Während des Wachstums nehmen nachwachsende Rohstoffe Kohlenstoff aus der Atmosphäre auf, der bis zur Oxidation des Materials (z.B. durch Verbrennung) im jeweiligen Produkt gespeichert bleibt. Im LEKOECS wird die Kohlenstoffbindung in der Herstellungsphase (A1 – A3) als CO<sub>2</sub>-Gutschrift berücksichtigt (C-Gehalt) und getrennt ausgewiesen. Die Verbrennung der Bauteile und damit die Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs in Form von Treibhausgasen erfolgt in Phase C.

Biogene Emissionen während der Herstellungsphase werden dagegen nicht ausgewiesen, da sie der aufgenommenen Menge an Kohlendioxid beim Wachstum entsprechen („CO<sub>2</sub>-neutrale“ Verbrennung).

### **Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar (PEI, n.e.)**

Als Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar (abgekürzt PEI, n.e.) wird der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Gesamtbedarf an energetischen Ressourcen bezeichnet. Er enthält sowohl die energetisch als auch die stofflich genutzten Ressourcen. Der Primärenergieinhalt wird entsprechend der Vorgaben der ÖNORM EN 15804 aus dem unteren Heizwert aller eingesetzten energiehaltigen Ressourcen berechnet und in MJ angegeben.

#### **3.3.3.7 Dokumentation**

Die Dokumentation zur Ökobilanzierung sollte umfassen (in Anlehnung an ÖNORM EN 15978):

- Allgemeine Informationen zur Bewertung
  - Zweck der Bewertung;
  - Auftraggeber der Bewertung;
  - Assessor (Name und Organisation);
  - LEKOEKOS Versionsnummer;
  - Datum der Bewertung;
- Gebäudebezogene Daten
  - Bezeichnung des Gebäudes (Anschrift usw.);
  - Gebäudeart und Beschreibung der maßgeblichen Eigenschaften des Gebäudes und zur Struktur der Nutzung
  - Zeitpunkt der Bewertung im Lebenszyklus des Gebäudes;
  - Datengrundlage (Pläne, Energieausweis etc.);
- Angabe zur Methode (Systemgrenzen, Szenarien)
  - Vorgegebenes Bewertungsverfahren, falls zutreffend;
  - Spezifische methodische Annahmen

#### **3.3.4 Rechenhilfemodell zur Errichtungskostenschätzung**

Anstelle des ursprünglich vorgesehenen Vorgehens, den Grundelemente-Katalog (siehe Kapitel 3.2 LEKOEKOS Grundelemente-Katalog (AP2)) mit Kostendaten zu hinterlegen, wurde das bestehende BKI-Kostenschätzungsmodul des LEKOS ABK-Modells zu einem eigenen Modellteil des LEKOEKOS-Modells weiterentwickelt.

Mit diesem Modellteil lassen sich Errichtungskosten anhand von flächenbezogenen Kostenkennwerten und verschiedenen Annahmen zur Flächen- und Kostenaufteilung ermitteln. Da die Errichtungskosten im LEKOS-Modell zum Teil für die Ermittlung der Folgekosten herangezogen werden, ist es besonders wichtig, dass diese möglichst zuverlässig sind. Die Ergebnisse der Kostenschätzung werden daher nicht automatisch übernommen, sondern lediglich als Richtwerte angezeigt, welche nach Überprüfung durch den Nutzer händisch übernommen werden können. Die Erfahrung zeigt, dass von ArchitektInnen und PlanerInnen im Zuge der Planung für das individuelle Projekt erstellte Kostenschätzungen relativ genau sind.

## **3.4 LEKOEKOS Tool (AP4) - Handbuch**

Das vorliegende Kapitel ist in direkter Ansprache an die zukünftigen BenutzerInnen formuliert, da es gleichzeitig als Benutzungshandbuch für das LEKOEKOS-Tool dient.

### **3.4.1 Wesentliche Charakteristika des kombinierten Rechenmodells LEKOEKOS**

LEKOEKOS ist ein integriertes ökonomisch-ökologisches Gebäudelebenszyklusmodell zur gemeinsamen Berechnung von Kosten und Umweltwirkungen im Gebäudelebenszyklus.

Die Entwicklung des Modells wurde im Rahmen des Forschungsprojektes "LEKOEKOS-Kombiniertes ökonomisch-ökologisches Gebäudelebenszyklusmodell" in der Programmlinie Haus der Zukunft plus finanziert und vom Department für Bauen und Umwelt der Donau-Universität Krems, gemeinsam mit dem IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, der Österreichischen Energieagentur und dem Ingenieurbüro SERA energy & resources durchgeführt. Als Basismodelle wurden das im Forschungsprojekt „Nachhaltig massiv“ 2009 entwickelte Lebenszykluskostenmodell LEKOS der Donau-Universität Krems und das ökologische Bewertungstool ECOSOFT des IBO herangezogen.

Mit LEKOEKOS können im Zuge einer Berechnung sowohl Lebenszykluskosten als auch Umweltwirkungen ermittelt werden, die sich aus Errichtung, Nutzung und Betrieb, sowie Abbruch und Entsorgung eines Gebäudes ergeben.

Je früher im Lebenszyklus ein strategisches Ressourcenmanagement erfolgt, desto effektiver ist es. Daher wurde das LEKOEKOS-Tool so entwickelt, dass es bereits in einer sehr frühen Planungsphase angewendet werden kann, auch wenn zu diesem Zeitpunkt relativ wenig detaillierte Gebäudedaten verfügbar sind. Dazu wurde es unter anderem mit einem Katalog vorausgewählter Bauteilkonstruktionen ausgestattet und mit verschiedenen Voreinstellungswerten hinterlegt. Außerdem verfügt LEKOEKOS über Hilfsmodule, mit denen für die Berechnung erforderliche Flächenkennwerte, Energiekennzahlen und Errichtungskosten rasch abgeschätzt werden können.

Sämtliche Voreinstellungswerte und abgeschätzte Kenngrößen können überschrieben werden, wenn - z.B. in einer späteren Planungsphase, oder bei Bestandsgebäuden - detailliertere Daten verfügbar sind. Je detaillierter die Dateneingabe erfolgt, desto genauer ist das Berechnungsergebnis!

LEKOEKOS wurde mit großer Sorgfalt nach bestem Wissen und Gewissen erstellt und getestet, dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Das Entwicklungsteam übernimmt keine Haftung für die Inhalte dieses Excel-Programms. Der Anwender bzw. die Anwenderin des Programms bestätigt, alle Voraussetzungen und Annahmen für die Anwendung der Inhalte und Formeln des Programms zu kennen und für die Verifizierung und Validierung der eigenen Berechnung verantwortlich zu sein.

### 3.4.2 Anwendung des LEKOECS Tools

Das LEKOECS Rechentool ist als Excel Vorlage File mit der Endung xltx verfügbar. Sie benötigen Microsoft Office Excel 2007 oder höher, um das Tool fehlerfrei verwenden zu können. Durch einen Doppelklick auf die Vorlagedatei LEKOECS\_V1\_Beta.xltx öffnen Sie automatisch ein neues Excel-Dokument, welches Sie für Ihre Berechnungen verwenden können. Speichern Sie dieses Dokument zunächst an einem geeigneten Speicherort und benennen Sie die Datei so, dass Sie sie gut wiedererkennen können.

Anschließend können Sie mit der Dateneingabe beginnen. Geben Sie Ihre Daten innerhalb der einzelnen Tabellenblätter von oben nach unten und über die verschiedenen Tabellenblätter von links nach rechts ein. Beachten Sie dabei die Farbmarkierungen der Tabellenblätter und Zellen (siehe unten) für eine leichtere Navigation.

#### 3.4.2.1 Dateneingabe und Farbmarkierung der Zellen

LEKOECS ist für eine leichtere Bedienung mit einer Farbmarkierung gestaltet. Zellen, die für eine Dateneingabe vorgesehen sind, sind im LEKOECS-Tool jeweils dick umrandet. In der hellgrauen Zelle links von jeder Eingabezelle sehen Sie den Wert kursiv dargestellt, der für die Berechnung verwendet wird (Rechenwert). Wenn Sie noch keinen Wert eingegeben haben, wird hier in einigen Fällen ein Default- bzw. Voreinstellungswert angezeigt. Diesen können Sie durch Eingabe eines Wertes in die dick umrandete Eingabezelle überschreiben. Durch Löschen des Wertes in der Eingabezelle wird der Defaultwert wieder hergestellt.

Steht in der Eingabezelle „Bitte auswählen“, dann können Sie nach Anklicken der Zelle Werte aus einem Drop-down-Menü wählen.

|             |   |
|-------------|---|
| <b>Text</b> | Kopfzeile   |
| Text        | Titelzeile  |
| <i>0,00</i> | Rechenwert: zeigt den für die Berechnung verwendeten Wert an        |
| <b>0,00</b> | <b>Eingabefeld: Eingabe zwingend erforderlich</b>                   |
| 0,00        | <b>Eingabefeld: Eingabe/ Prüfung des Rechenwertes empfohlen</b>     |
| 0,00        | <b>Eingabefeld: Eingabe/ Überschreiben des Rechenwertes möglich</b> |
| 0,00        | Ergebnisfeld: zeigt berechnete Werte und Zwischenergebnisse an      |
| 0,00        | Ergebnisfeld - Summe: zeigt Ergebnisse an                           |
| <b>Link</b> | Verknüpfung: Führt Sie zur Prüfung/Eingabe von Rechenparametern     |

Tabelle 14: Farbmarkierung der Eingabemaske im LEKOECS-Tool

Das Ausfüllen der roten Eingabefelder ist für eine Berechnung zwingend erforderlich. Gelbe Eingabefelder müssen nicht zwangsläufig ausgefüllt werden. Nutzer sollten bei diesen Feldern jedoch auf jeden Fall überprüfen, ob der links davon angezeigte Rechenwert plausibel ist und ihn bei Bedarf durch einen Eintrag in das gelbe Eingabefeld korrigieren.

In den blauen Eingabefeldern ist eine Eingabe möglich, aber nicht zwingend erforderlich. Geben Sie hier Daten ein, wenn diese für Sie verfügbar sind. Je detaillierter die Dateneingabe erfolgt, desto genauer ist das Ergebnis der Berechnung. Berechnete



Ergebnisse und nicht überschreibbare Zwischenergebnisse werden in grün hinterlegten Ergebnisfeldern angezeigt.

Um die Navigation zwischen den einzelnen Tabellenblättern zu erleichtern, wurden an einzelnen Stellen des LEKOECOS-Modells "Navigationsknöpfe" angebracht. Mit Hilfe der Links auf diesen grauen Navigationsknöpfen können Sie sich rasch zwischen den einzelnen Tabellenblättern hin und her bewegen. Kleine rote Pfeile in der rechten oberen Zellecke zeigen an, dass weitere Informationen zu einem Eintrag verfügbar sind. Fahren Sie mit dem Cursor über den kleinen roten Pfeil, um sich Kommentare und Anmerkungen anzeigen zu lassen.

### 3.4.3 Farbmarkierung der Tabellenblätter

Für eine kombinierte ökonomische und ökologische Lebenszyklusberechnung ist der Umgang mit einer großen Menge unterschiedlicher Daten erforderlich. Im LEKOECOS-Tool wurden diese Daten systematisch gruppiert und auf insgesamt 24 Excel-Tabellenblättern angeordnet. Um die Übersichtlichkeit der Tabellenblätter zu erhalten, wurden die Blattregister jeweils farbig markiert.

|  |   |
|--|---|
|  | Informationsblatt                             |
|  | <b>Eingabeblatt: Eingabe erforderlich</b>     |
|  | Ergebnisblatt: Darstellung der Ergebnisse     |
|  | Datenblatt - Rechenparameter: Eingabe möglich |
|  | Datenblatt - Ökokennzahlen: Eingabe möglich   |

**Tabelle 15: Farbmarkierung der unterschiedlichen Tabellenblätter im LEKOECOS-Tool**

#### Informationsblätter

- Info
- Anleitung

Wenn Sie ein LEKOECOS-Dokument öffnen, finden Sie ganz links zwei Informationsblätter mit hellgrauem Register. Diese Blätter enthalten Informationen zum LEKOECOS-Projekt und LEKOECOS-Tool. Hier ist keine Dateneingabe möglich oder erforderlich.

#### Eingabeblätter

- Allgemeine Angaben
- Objektkenndaten
- Errichtung
- Energie
- Nutzung und Betrieb

Analog zur Farbcodierung der Eingabefelder sind die Register aller Tabellenblätter rot, die Sie für die Dateneingabe benötigen. Klicken Sie sich von links nach rechts durch die roten Eingabeblätter und ergänzen Sie von oben nach unten die für die Berechnung erforderlichen Gebäudedaten.

## **Ergebnisblätter**

- Ergebnisse Errichtung
- Ergebnisse Nutzung und Betrieb
- Hauptgruppen
- Kennwerte

Grün markierte Tabellenblätter dienen der Ergebnisdarstellung. Die Berechnungsergebnisse sind hier nach den Kostenstrukturen der ÖNORM B 1801 Teil 1 und 2 gegliedert und in unterschiedlicher Detailtiefe dargestellt. In den grünen Ergebnisblättern ist keine Eingabe erforderlich oder möglich, Sie können die Zellen jedoch markieren und die Ergebnisse kopieren, um sie weiter zu bearbeiten (z.B. zur Erstellung von Grafiken usw.).

## **Datenblätter mit Rechenparametern**

- Folgekosten
- Schätzfaktoren
- Finanzielle Parameter
- Dienstleistungen
- Verwaltung & Technik
- Ver- & Entsorgung
- Reinigung
- Gebäudedienste
- Instandsetzung
- Abbruch & Entsorgung

Datenblätter mit hinterlegten Rechenparametern sind hellblau markiert. In diesen Tabellenblättern ist die Dateneingabe möglich, aber nicht zwingend erforderlich. Es ist nicht notwendig, diese Datenblätter direkt über die hellblauen Blattregister anzusteuern. Verwenden Sie dazu die grauen Navigationsknöpfe in den roten Eingabeblättern. Über die Links auf den grauen Navigationsknöpfen können Sie direkt an die richtige Stelle in den hellblauen Datenblättern und wieder zurück zu den Eingabeblättern navigieren.

## **Datenblätter mit Ökokennzahlen**

- Ökodaten Energie
- Ökodaten Transport
- Ökodaten Konstruktionen

Die hellviolett markierten Datenblätter enthalten die für die Berechnung des GWP 100 und des PEI n.e. herangezogenen Ökokennzahlen. In diesen Tabellenblättern ist grundsätzlich keine Dateneingabe erforderlich. Sie können hier bei Bedarf jedoch eigene Ökokennzahlen ergänzen.

### **3.4.4 Beschreibung der Tabellenblätter**

#### **3.4.4.1 Info**

In diesem Tabellenblatt finden Sie die wichtigsten Informationen zum LEKOECON-Projekt, zur LEKOECON-Modellentwicklung, den ProjektpartnerInnen und die Kontaktdaten für Fragen oder Anregungen. Hier ist keine Dateneingabe möglich oder erforderlich.

#### **3.4.4.2 Anleitung**

Das Tabellenblatt Anleitung enthält eine kurze Beschreibung zur Anwendung des LEKOECON-Tools und der verwendeten Farbcodierung. Auch in diesem Blatt ist keine Dateneingabe möglich oder erforderlich.

#### **3.4.4.3 Allgemeine Angaben**

Im Blatt „Allgemeine Angaben“ können allgemeine Informationen zum Projekt und zu den Projektbeteiligten erfasst werden.

#### **Projektart**

Unter „Projektart“ ist auszuwählen, ob es sich um ein Bürogebäude, eine Schule bzw. einen Kindergarten oder um einen mehrgeschossigen Wohnbau handelt. Je nach ausgewählter Projektart werden unterschiedliche Voreinstellungswerte aktiviert.

#### **Lebensdauer**

Geben Sie hier den Betrachtungszeitraum ein, für den die Lebenszyklusberechnung erfolgen soll. Der Voreinstellungswert ist entsprechend der ÖNORM B 1801-4 mit 30 Jahren angegeben. Für unterschiedliche Berechnungszwecke kann die Annahme verschiedener Betrachtungszeiträume sinnvoll sein. Im LEKOECON-Modell ist der Betrachtungszeitraum mit maximal 100 Jahren begrenzt.

#### **Brutto/Netto**

Wählen Sie hier aus, ob die Berechnung der Kosten in brutto (inkl. USt.) oder netto (exkl. USt.) erfolgen soll. Entsprechend Ihrer Auswahl wird die Umsatzsteuer bei allen Voreinstellungswerten automatisch berücksichtigt oder nicht. Verwenden Sie den Link im grauen Navigationsfeld „zu den Umsatzsteuersätzen“, um die hinterlegten Umsatzsteuersätze zu überprüfen und bei Bedarf zu korrigieren. Beachten Sie, dass Sie Ihre eigenen Kostendaten Ihrer Auswahl entsprechend ebenfalls mit oder ohne Umsatzsteuer eingeben müssen!

#### **Energiebedarf**

Die Angaben zu diesem Unterpunkt sind Teil des Eingabehilfemodells „Energiebedarf im Betrieb“ und dienen der Aktivierung verschiedener hinterlegter Energieszenarien. Sämtliche aktivierte Voreinstellungen können in den Folgeblättern überprüft und bei Bedarf überschrieben werden.

Wählen Sie ein Energiebedarfsprofil und ergänzen Sie Informationen zur mechanischen Lüftung, Kühlung sowie Be- und Entfeuchtung. Die vier Energiebedarfsprofile („sehr niedrig“, „niedrig“, „mittel“ oder „hoch“) bilden sowohl Neubau- wie auch Bestandsobjekte ab und

inkludieren neben der baulichen Qualität auch die Ausstattung, Belegungsfaktoren und das Nutzungsverhalten. Detaillierte Informationen zum Eingabehilfemodell "Energiebedarf im Betrieb" finden Sie in Kapitel 3.3.1 unter Energiebedarf in der Betriebsphase des Gebäudes.

### **Energiebereitstellung**

Analog zum Energiebedarf können auch für die Energieproduktion Energiebereitstellungsprofile ausgewählt werden. Geben Sie hier an, ob die Erträge der solarthermischen Kollektoren (Wärme) bzw. Photovoltaikanlage (elektrischer Strom) niedrig, mittel oder hoch sind, oder ob keine Energieproduktion mittels Solarthermie oder Photovoltaik erfolgt.

Mit der Auswahl eines Energiebereitstellungsprofils wird im Hintergrund ein Energie-Szenario aktiviert, das eine bestimmte produzierte Energiemenge auf den Energieverbrauch anrechnet und so die Umweltwirkungen aus dem Energieverbrauch entsprechend verringert. Sämtliche dadurch aktivierte Voreinstellungen können in den Folgeblättern jedoch überprüft und bei Bedarf überschrieben werden. Detaillierte Informationen zum Eingabehilfemodell "Energiebereitstellung im Betrieb" finden Sie im Kapitel 3.3.1 unter Energiebereitstellung in der Betriebsphase des Gebäudes.

#### **3.4.4.4 Objektkenndaten**

Im Tabellenblatt Objektkenndaten werden die wichtigsten Objekt- und Flächenkennwerte für die Berechnung der lebenszyklischen Kosten und Umweltwirkungen erfasst.

#### **Spezielle Flächenwerte**

Spezielle Flächenwerte können, wenn z.B. in einem frühen Planungsstadium noch wenige Daten verfügbar sind, mit Hilfe von Schätzfaktoren grob abgeschätzt werden. Folgen Sie dazu dem Link "Berechnung mit Schätzfaktoren" auf dem grauen Navigationsknopf. Überprüfen Sie die voreingestellten Schätzfaktoren und korrigieren Sie diese bei Bedarf. Wählen Sie in der obersten Zeile zum Übernehmen der Ergebnisse "ja" und folgen Sie dem Link zurück ins Blatt Objektkenndaten.

#### **Flächenwerte für Solarerträge**

Diese Flächenwerte dienen der Abschätzung von Solarerträgen und werden für die Berechnung des Reinigungsaufwands von Photovoltaik- und solarthermischen Anlagen herangezogen. Sie können direkt eingegeben oder über Schätzfaktoren ermittelt werden. Die Vorgangsweise ist analog zur Berechnung der Speziellen Flächenwerte mittels Schätzfaktoren.

#### **3.4.4.5 Errichtung**

Das Tabellenblatt Errichtung ist in Anlehnung an die Baugliederung der Errichtungskosten nach ÖNORM B 1801 Teil 1 strukturiert. Hier werden sowohl die Errichtungskosten des Gebäudes erfasst als auch die erforderlichen Detailinformationen für die Berechnung der mit der Errichtung des Gebäudes verbundenen Umweltwirkungen. Die Untergliederung in Unterpositionen weicht für die Eingabe der verschiedenen Daten etwas voneinander ab.

## Details

Details wie Flächenwerte, Dämmstärken oder Transportweiten sind in Spalte H einzutragen. Für einige Positionen werden hier, basierend auf Ihren Angaben im Tabellenblatt Objektkenndaten, Voreinstellungswerte angezeigt. Überprüfen und korrigieren Sie diese bei Bedarf.

## Konstruktionen

Unter „Konstruktionen“ (Spalte L) können Sie vorgefertigte Konstruktionen aus dem Grundelemente-Katalog auswählen (für detaillierte Informationen zum Grundelemente-Katalog siehe Anhang 1 Dokumentation Grundelemente-Katalog). Alternativ können Sie auch selbst ermittelte Ökokennzahlen für eigene Konstruktionen eingeben. Wählen Sie dazu in der entsprechenden Zeile in Spalte L „Eigene Bodenplatte (E2.C)“, „Eigene Dämmung (E2.C)“ usw., folgen Sie dem Link am grauen Navigationsknopf „zu den „Ökodaten Konstruktionen““ ins Datenblatt und ergänzen Sie dort die entsprechenden Ökokennzahlen. Mit dem Link „zurück zu „Errichtung““ gelangen Sie rasch wieder zurück ins Eingabeblatt „Errichtung“.

Beachten Sie bei der Eingabe, dass die Konstruktionen in diesem Tabellenblatt analog zur Baugliederung der Errichtungskosten nach ÖNORM B 1801-1 in Rohbau (E2) und Ausbau (E4) aufgegliedert sind.

## Errichtungskosten

Die Errichtungskosten des Gebäudes bilden einen Teil der Lebenszykluskosten (Lebenszykluskosten = Errichtungskosten + Folgekosten) und dienen zugleich als Basis für die Berechnung von Folgekosten wie z.B. Wartungs- und Instandsetzungskosten. Für die Berechnung der Lebenszykluskosten mit LEKOECOS ist daher zumindest eine Errichtungskostenschätzung erforderlich. Die Errichtungskosten können direkt in Spalte P eingegeben oder mit Schätzfaktoren im Modell selbst ermittelt werden. Folgen Sie dazu dem Link "Berechnung mit Schätzfaktoren" auf dem grauen Navigationsknopf. Überprüfen Sie die voreingestellten Schätzfaktoren und korrigieren Sie diese bei Bedarf. Wählen Sie in der obersten Zeile zum Übernehmen der Ergebnisse "ja" und folgen Sie dem Link zurück ins Blatt „Errichtung“.

Die Farbmarkierung der Eingabefelder ist bei den Errichtungskosten folgendermaßen zu verstehen: Gelb sind hier jene Zellen markiert, die bei Verwendung der Errichtungskostenschätzung automatisch mit Defaultwerten hinterlegt werden und daher unbedingt auf Plausibilität überprüft werden sollten. Werden Errichtungskosten aus eigener Schätzung eingegeben, so hat die Farbmarkierung keine Relevanz.

### 3.4.4.6 Energie

Das Tabellenblatt „Energie“ dient der detaillierten Erfassung des Energiebedarfs in der Betriebsphase des Gebäudes und der Berechnung damit verbundener Umweltwirkungen und Kosten. Das Tabellenblatt ist in die Themenbereiche Heizung, Warmwasser, Kühlung und Strom untergliedert. Zu jedem Bereich sind in Spalte L sowohl Kennzahlen zum Energiebedarf als auch die zur Deckung herangezogenen Energieträger anzugeben. Für

jeden der vier Bereiche können bis zu drei verschiedene Energieträger ausgewählt werden. Geben Sie dazu in Spalte I an, welcher Prozentanteil des jeweiligen Energiebedarfs durch diesen Energieträger gedeckt wird. (**Achtung:** Die Felder "Energieträger 2" und "Energieträger 3" müssen leer bleiben, falls hier kein zweiter oder dritter Energieträger ausgewählt wird, andernfalls kann es zu einer Fehlermeldung kommen.)

Bei Bestandsgebäuden können anstelle des Bedarfs auch erfasste Verbrauchsdaten herangezogen werden.

Abhängig von Ihren Angaben in den Eingabeblättern „Allgemeine Angaben“ und „Objektkenndaten“ werden in Spalte J bereits unterschiedliche Voreinstellungswerte angezeigt. Diese werden anhand hinterlegter Energieprofile ermittelt (siehe dazu auch Kapitel 3.3.1 Modellteil Energie im Betrieb).

Über den Link „zu den „Ökodaten Energie““ gelangen Sie in das Datenblatt mit den hinterlegten Ökokennzahlen zu den Energieträgern. Hier können Sie bei Bedarf Ökokennzahlen zu eigenen Energieträgern ergänzen. Über den Link „zurück zu „Energie““ gelangen Sie rasch in das Eingabeblatt zurück.

Mit dem Link „zu den Tarifen (Tabellenblatt „Ver- und Entsorgung““ gelangen Sie in den Eingabebereich für Energietarife. Überprüfen, ergänzen und korrigieren Sie die Voreinstellungswerte bei Bedarf und folgen Sie wieder dem Link „zurück zu „Energie““ in das Eingabeblatt.

#### **3.4.4.7 Nutzung & Betrieb**

Im Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“ sind selbst keine Dateneingaben möglich oder erforderlich. In diesem Blatt werden Sie systematisch durch die Datenblätter mit den für die Berechnung hinterlegten Parametern geleitet. Folgen Sie dazu von oben nach unten jeweils dem Link auf dem grauen Navigationsknopf zu den einzelnen Themenbereichen, prüfen und korrigieren Sie die jeweiligen Rechenparameter und springen Sie mit einem Klick auf den Link „zurück zu "Nutzung & Betrieb“ zurück in das Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“.

#### **Finanzielle Parameter**

Unter „Finanzielle Parameter“ finden Sie für die Lebenszykluskostenberechnung erforderliche finanzmathematische Parameter. Diese umfassen bauteil- und leistungsspezifisch verschiedene Preissteigerungsfaktoren ( $p$ ), sowie einen Zinssatz ( $r$ ) für die Abzinsung der über den Betrachtungszeitraum anfallenden Kosten auf den Baufertigstellungszeitpunkt. In Tabelle 16 sind die Voreinstellungswerte der finanzmathematischen Parameter des LEKOCOS-Tools inkl. Quellenangaben aufgelistet.

Für detaillierte Informationen zur Methodik der Lebenszykluskostenberechnung siehe Kapitel 2.2.4 LEKOS - Methodik und Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten von Gebäuden.

| Variable | Bezeichnung  | Quelle Defaultwert  | Wert [%/a] |
|----------|--|---|------------|
| PBAU     | Preissteigerung Bau (pBau)   | STATISTIK AUSTRIA: Baupreisindex für den Hochbau, Wohnhaus- und Siedlungsbau insgesamt, Mittelwert 2008-2013  | 2,77       |
| PTECHNIK | Preissteigerung Technik (pTechnik)   | STATISTIK AUSTRIA: Erzeugerpreisindex Investitionsgüter (EU-harmonisierte Verwendungskategorien), Mittelwert 2008-2013  | 1,35       |
| PALLG    | Preissteigerung Verbrauchspreise (pAllg)   | STATISTIK AUSTRIA: Harmonisierter Verbraucherpreisindex, Mittelwert 2008-2013   | 2,25       |
| PENERG   | Preissteigerung Energie (pEnergie)   | AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: EPI - Energiepreisindex der Österreichischen Energieagentur, Mittelwert 2008-2013  | 3,69       |
| PSTROM   | Preissteigerung Strom (pStrom)   | AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Stromanteil EPI, Mittelwert 2008-2013  | 2,03       |
| PGAS     | Preissteigerung Gas (pGas)   | AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Gasanteil EPI, Mittelwert 2008-2013  | 3,00       |
| PFERNW   | Preissteigerung Fernwärme (pFernw)   | AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Fernwärmeanteil EPI, Mittelwert 2008-2013  | 3,73       |
| PPELLETS | Preissteigerung feste Brennstoffe (pPellets, z.B. Brennholz, Pellets, Holzbriketts, ...) | AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Anteil feste Brennstoffe EPI, Mittelwert 2008-2013   | 1,6        |
| PHEIZÖL  | Preissteigerung Heizöl (pHeizöl)   | AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Heizölanteil EPI, Mittelwert 2008-2013   | 5,44       |
| PLOHN    | Preissteigerung Lohnintensiv (pLohn)   | STATISTIK AUSTRIA: Erzeugerpreisindex für unternehmensnahe Dienstleistungen, Reinigung von Gebäuden, Straßen und Verkehrsmitteln ÖNACE (2008) 81.2 , Mittelwert 2008-2013 (Q1-Q3 2013)  | 2,67       |
| R        | Verzinsung (r)   | Sekundärmarktrendite Österreich, Mittelwert 2011 -2013. Dieser Wert ist sehr stark von der internationalen Geldmarktpolitik der Zentralbanken abhängig. Ein sinnvoller Wert für die Verzinsung ergibt sich aus einem Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013, da die Werte in diesem Zeitraum auf einer abgestimmten Geldmarktpolitik der Zentralbanken fußen. | 1,70       |

**Tabelle 16: Voreinstellungswerte der finanzmathematischen Parameter in LEKOECS**

### Verwaltung & Technik

Im Bereich „Verwaltung und Technik“ befinden sich verschiedene Parameter zur Berechnung der Folgekostengruppen Verwaltung (F1) und Technischer Gebäudebetrieb (F2). Jährlich anfallende Kosten für Wartungen (W) bzw. für kleine Instandsetzungen und Reparaturen (I) werden in % der Errichtungskosten ermittelt. Prüfen und korrigieren Sie die Voreinstellungswerte bei Bedarf und folgen Sie dem Link „zurück zu "Nutzung & Betrieb“ wieder ins Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“.

## Ver- & Entsorgung

Der Bereich Ver- und Entsorgung enthält Parameter zur Berechnung der Folgekosten durch die Wasserversorgung, sowie Abwasser- und Abfallentsorgung. Abhängig von Ihrer Auswahl der Projektart im Blatt „Allgemeine Angaben“ werden hier unterschiedliche Voreinstellungswerte für die anfallenden Wasser-, Abwasser- und Müllmengen angezeigt.

|                                 | <b>Wasserverbrauch pro Person/Jahr</b> | <b>Müllmenge pro Person (Nutzungseinheit) und Jahr</b> |
|---------------------------------|--|--|
| <b>Bürogebäude</b>              | 135 l * 365 d                          | 1,0  |
| <b>Schule/Kindergarten</b>      | 40 l * 365 d                           | 0,5  |
| <b>Mehrgeschossiger Wohnbau</b> | 40 l * 365 d                           | 1,5  |

**Tabelle 17: Voreinstellungswerte in LEKOECS für Wasserverbrauch und Abfallaufkommen**

Der Voreinstellungswert für den Wasserverbrauch in Bürogebäude und Schulen/Kindergärten ist mit 40 l pro Person und Tag angegeben (vgl. Mutschmann et al. 2007<sup>47</sup>: Büro einfache Ausstattung, ohne Kantine bzw. Schule mit Duschen). Für den mehrgeschossigen Wohnbau ist der Defaultwert mit 135 l pro Person und Tag angesetzt, was dem durchschnittlichen Wasserverbrauch in österreichischen Haushalten entspricht (vgl. Neunteufel et al.2012).<sup>48</sup>

Die Grünflächenbewässerung ist mit einem Wasserverbrauch von 1 l pro m<sup>2</sup> Grünfläche und Tag voreingestellt (vgl. dazu ebenfalls Neunteufel et al. 2012).

Die Voreinstellungswerte für die anfallenden Müllmengen basieren auf Annahmen. Als Vergleichsgröße wurde das jährliche Restmüllaufkommen in österreichischen Haushalten und haushaltsähnlichen Einrichtungen laut Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011<sup>49</sup> von ca. 1,68 m<sup>3</sup> pro Einwohner herangezogen.

Die Ver- und Entsorgungskosten (v.a. für Wasser und Abwasser) machen in der Regel einen nicht unerheblichen Anteil der Folgekosten aus und sollten daher nicht vernachlässigt werden. Prüfen und korrigieren Sie die Voreinstellungswerte und folgen Sie dem Link zurück ins Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“.

---

<sup>47</sup> Mutschmann Johann, Stimmelmayer Fritz und Knaus Werner: Taschenbuch der Wasserversorgung. Wiesbaden: Vieweg, 2007. S. 34

<sup>48</sup> Neunteufel Roman, Richard Laurent und Reinhard Perfler: Wasserverbrauch und Wasserbedarf - Auswertung empirischer Daten zum Wasserverbrauch. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012.  
[http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/publikationen/wasser/wasserwirtschaft\\_wasserpolitik/wasserverbrauch\\_stud/Wasserverbrauch-und-Wasserbedarf/Wasserverbrauch%20und%20Wasserbedarf.pdf?1=1](http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/publikationen/wasser/wasserwirtschaft_wasserpolitik/wasserverbrauch_stud/Wasserverbrauch-und-Wasserbedarf/Wasserverbrauch%20und%20Wasserbedarf.pdf?1=1) (abgerufen am 24. März 2014)

<sup>49</sup> Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 BAND 1.  
[http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/dms/bawp/BAWP\\_2011\\_Teil\\_1\\_13.pdf](http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/dms/bawp/BAWP_2011_Teil_1_13.pdf) (abgerufen am 24. März 2014)



## **Reinigung**

Ebenso wie die Ver- und Entsorgung stellt auch die Reinigung sehr häufig einen wesentlichen kostenverursachenden Faktor im Gebäudebetrieb dar. Im Tabellenblatt „Reinigung“ werden Parameter zur Berechnung der Reinigungskosten erfasst. Für unterschiedliche Reinigungsbereiche (Hauptnutzflächen, Sanitärflächen, Gang- und Stiegenflächen, Fenster- und Glasfassadenflächen usw.) können hier unterschiedliche Reinigungsfrequenzen und -dauern angegeben werden. Voreinstellungswerte für die Reinigungskosten sind zum Teil an die „Kosten für Dienstleistungen pro verrechneter Arbeitsstunde Reinigung“ geknüpft. Dieser Wert kann im folgenden Eingabebereich „Dienstleistungen“ überprüft und angepasst werden.

Die eingestellten Defaultwerte im Bereich Reinigung sind nicht an die Auswahl der Projektart geknüpft und können - vor allem im Wohnbaubereich - je nach Zweck der Berechnung sehr unterschiedlich angenommen werden (Berücksichtigung von Eigenleistungen innerhalb der Wohneinheiten usw.). Prüfen Sie die Voreinstellungen daher besonders sorgfältig und korrigieren Sie die Werte. Folgen Sie anschließend dem Link zurück ins Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“.

## **Dienstleistungen**

Parameter im Bereich Dienstleistungen werden sowohl für die Berechnung von Folgekosten als auch von Umweltwirkungen herangezogen, die durch gebäudebezogene Dienstleistungen wie z.B. Verwaltung und Management, Wartung, Reinigung, Winterdienst usw. verursacht werden.

Unter „Kosten Dienstleistungen pro verrechneter Arbeitsstunde“ sind Stundensätze für verschiedene Dienstleistungsbereiche aufgelistet. Die hier angezeigten Voreinstellungswerte sind Annahmen, die auf einer Recherche aktueller marktüblicher Preise basieren. Sie dienen zum Teil der Berechnung von Folgekosten, können aber auch für die Ermittlung verrechenbarer Arbeitsstunden und damit verbundener Umweltwirkungen verwendet werden.

Wählen Sie „ja“ in der Zeile „Umweltwirkungen aus gebäudebezogenen Dienstleistungen berechnen?“, um mit dem eigens dafür entwickelten LEKOECS-Modellteil Umweltwirkungen zu berechnen, die durch Dienstleistungen in der Betriebsphase des Gebäudes verursacht werden. Für eine detaillierte Beschreibung des hinterlegten Modellaufbaus und der dafür getroffenen Annahmen siehe Kapitel 3.3.2 Modellteil Dienstleistungen.

Rechenparameter und hinterlegte Annahmen für diese Berechnung sind in den darunterliegenden Zeilen erfasst. Über den Link „zu „Ökodaten Transport““ gelangen Sie in das Datenblatt mit den hinterlegten Ökokennzahlen zum Personentransport der Dienstleistungspersonen. Auch hier können Sie bei Bedarf entsprechende Anpassungen und Ergänzungen vornehmen.

Wählen Sie „nein“ in der Zeile „Umweltwirkungen aus gebäudebezogenen Dienstleistungen berechnen?“, wenn Sie die Ergebnisse dieses Modellteils in der Berechnung nicht berücksichtigen möchten. In diesem Fall werden die Umweltwirkungen in jenen

Folgekostengruppen, die sich aus Dienstleistungen zusammensetzen (F1, F2, F4, F5 und F6), in den Ergebnisblättern mit Null angezeigt. Alle weiteren Parameter im Datenblatt „Dienstleistungen“ kommen dann ebenfalls nicht zur Anwendung.

Kehren Sie über den Link zurück ins Eingabeblatt „Nutzung & Betrieb“, nachdem Sie Ihre Auswahl getroffen und die Voreinstellungswerte im Datenblatt „Dienstleistungen“ überprüft und korrigiert oder ergänzt haben.

### **Gebäudedienste**

Im Datenblatt „Gebäudedienste“ finden Sie eine Matrix mit den hinterlegten Annahmen zur Berechnung der Umweltwirkungen aus verschiedenen Dienstleistungen der Kostengruppen F1, F2, F4, F5 und F6. Eine detaillierte Beschreibung des hinterlegten Modellaufbaus finden Sie in Kapitel 4.3.2 Modellteil Dienstleistungen. Auch hier können Sie in den blauen Eingabefeldern selbst Einstellungen vornehmen, um das Modell für Ihre Berechnung anzupassen. Beachten Sie jedoch, dass die Voreinstellungen in diesem Blatt nicht durch Löschen der Werte im blauen Eingabefeld wieder hergestellt werden können! Scrollen Sie im Tabellenblatt nach unten, um die Voreinstellungswerte des Modellteils abzulesen.

Kehren Sie über den Link zurück ins Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“, wenn Sie Ihre Anpassungen vorgenommen haben.

### **Instandsetzung**

Im Bereich Instandsetzung finden Sie Parameter zur Berechnung der Folgekosten für große Instandsetzungen und Umbauten. Prüfen und korrigieren Sie die Voreinstellungswerte bei Bedarf. Folgen Sie anschließend dem Link zurück ins Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“.

### **Nutzungsdauern**

Ein wesentlicher Faktor für die Entstehung von Kosten und Umweltwirkungen im Gebäudelebenszyklus ist die Häufigkeit des Austauschs von Bauteilen und Bauteilschichten. Um dies zu berücksichtigen, werden den einzelnen Elementen im LEKOECON-Modell Nutzungsdauern zugeordnet. Nach Ende jeder Nutzungsperiode werden sowohl Kosten als auch Umweltwirkungen für die Erneuerung des Bauteils oder der Bauteilschicht berücksichtigt. Kosten und Umweltwirkungen aus der Entsorgung der Altmaterialien beim Austausch werden nicht unter F7 „Instandsetzung, Umbau“, sondern unter F9 „Objektbeseitigung, Abbruch“ berücksichtigt: Hier werden die Materialien der Errichtung und Materialien aller Erneuerungen (inklusive einer eventuellen Erneuerung zu Ende des Lebenszyklus) aufsummiert.

Konstruktionen aus dem Grundelemente-Katalog sind bereits mit entsprechenden Nutzungsdauern hinterlegt. Abhängig von Ihrer Auswahl im Blatt „Errichtung“ werden daher im Bereich „Nutzungsdauern“ zum Teil unterschiedliche Voreinstellungswerte angezeigt. Die Voreinstellungswerte für Nutzungsdauern basieren auf einem einfachen Nutzungsdauermodell (siehe Ergebnisbericht „LEKOECON - Kombiniertes ökonomisch-ökologisches Gebäudelebenszyklusmodell“, Kap. 3.3.3 Ökobilanzmodell). Prüfen und korrigieren Sie die Werte bei Bedarf (für Nutzungsdauern siehe z.B. Entwurf ÖNORM B1801 Teil 4 vom

01.04.2014) und kehren Sie über den Navigationsknopf zurück ins Tabellenblatt „Nutzung & Betrieb“.

### **Abbruch & Entsorgung**

Im Bereich „Abbruch & Entsorgung“ befinden sich verschiedene Parameter zur Berechnung der Kosten und Umweltwirkungen, die sowohl durch den Abbruch des Gebäudes und die Entsorgung der Abbruchmaterialien, als auch durch die Entsorgung der Altmaterialien beim Austausch einzelner Bauteile und Bauteilschichten entstehen.

Defaultwerte für die Entsorgungsmengen der einzelnen Materialien stammen aus der Massenbilanz, die basierend auf den Mengenangaben und ausgewählten Bauteilschichten im Blatt „Errichtung“ erstellt wird. Voreinstellungswerte für Abbruchkosten, Mengenanteile und Entsorgungskosten wurden mit Hilfe des Excel-Tools Kostenermittlung für Rückbau- und Abbrucharbeiten des LUBW<sup>50</sup> zusammengestellt.

Folgen Sie wieder dem Link „Nutzung & Betrieb“ ins Eingabeblatt, nachdem Sie die Voreinstellungswerte im Bereich „Abbruch & Entsorgung“ geprüft und bei Bedarf korrigiert bzw. ergänzt haben.

### **Folgekosten**

Der letzte Link im Eingabeblatt „Nutzung & Betrieb“ führt ins Datenblatt zur Berechnung der Folgekosten. Nachdem nun alle für die Berechnung erforderlichen Daten und Parameter erfasst und geprüft wurden, können Sie im letzten Datenblatt die Berechnung der Folgekosten prüfen und bei Bedarf ergänzen bzw. korrigieren. Die Struktur in diesem Datenblatt entspricht der Folgekostenstruktur nach ÖNORM B 1801 Teil 2. Detaillierte Informationen zur Berechnung von Folgekosten finden Sie in Kapitel 2.2.4 LEKOS - Methodik und Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten von Gebäuden.

In Spalte G sehen Sie die berechneten jährlichen (€/Jahr) und mehrjährigen (€/Instandsetzung) Folgekosten. In Spalte I können Sie diese ergänzen oder überschreiben, wenn Sie z.B. bei Bestandsgebäuden oder von vergleichbaren Gebäuden bereits über geeignete Kostendaten aus dem Gebäudebetrieb verfügen.

Die „Frequenz“ in Spalte K zeigt an, nach wie vielen Jahren die Kosten jeweils anfallen. Jährliche Folgekosten haben eine Frequenz von 1. Bei mehrjährigen Folgekosten entspricht die Frequenz der im Bereich „Nutzungsdauern“ angegebenen Nutzungsdauer. Ist für ein Element keine Nutzungsdauer angegeben (k.A. im Bereich Nutzungsdauer), so wird hier ein Rechenwert von 1000 Jahren eingesetzt (somit wird innerhalb des Betrachtungszeitraums von maximal 100 Jahren kein Austausch des Bauteils oder der Bauteilschicht berücksichtigt). Folgen Sie dem Link auf den grauen Navigationsknöpfen „zu den „Nutzungsdauern““ und wieder zurück „zu den „Folgekosten““, wenn Sie hier noch Korrekturen anbringen möchten.

---

<sup>50</sup> Seemann Axel: Kostenermittlung für Rückbau- und Abbrucharbeiten. Computerprogramm zur einfachen Abschätzung der Kosten für Rückbau- und Abbruchmaßnahmen bei Wohn- und Verwaltungsgebäuden. Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe, im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Wuerttemberg, (heute: Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz - LUBW). Karlsruhe, 2007.

In Spalte L sehen Sie, welcher Preissteigerungsfaktor für die Valorisierung der jeweiligen Kostenposition herangezogen wird. Daneben in Spalte M wird der Wert des ausgewählten Preissteigerungsfaktors angezeigt. In Spalte L können Sie über eine Drop-Down-Liste aus den unterschiedlichen Preissteigerungsfaktoren auswählen, die unter „Finanzielle Parameter“ festgelegt wurden. Prüfen Sie vor allem die Preissteigerungsfaktoren für Heizung (F3.1.d) Kühlung (F3.1.e) und Warmwasser (F3.1.e). Beachten Sie jedoch, dass die Voreinstellungen der Preissteigerungsfaktoren nicht durch Löschen des Wertes im blauen Eingabefeld wieder hergestellt werden können!

Über den Link „zu „Finanzielle Parameter““ können Sie rasch zu den verfügbaren Preissteigerungsfaktoren navigieren, um hier bei Bedarf noch Korrekturen anzubringen. Kehren Sie anschließend mit dem Link „zu den „Folgekosten““ in das Datenblatt „Folgekosten“ zurück.

In Spalte N sehen Sie den Vervielfältiger, der sich aus der Anzahl der Jahre, dem jeweiligen Preissteigerungsfaktor für die Valorisierung und dem Zinssatz für die Abzinsung (bei Barwertberechnung) ergibt. Mit diesem Vervielfältiger werden die einzelnen Jahreswerte der Lebenszykluskosten berechnet und ab Spalte Q nach rechts hin kumuliert dargestellt. In Spalte O sehen Sie die Lebenszykluskosten für jede Kostengruppe über den gesamten Betrachtungszeitraum aufsummiert. Ganz unten in der Tabelle finden Sie verschiedene Folgekostenkennwerte.

Folgen Sie dem Link „zurück zu „Nutzung & Betrieb““, wenn Sie alle Werte zur Folgekostenberechnung geprüft und korrigiert bzw. ergänzt haben.

#### **3.4.4.8 Ergebnisse Errichtung**

Im Ergebnisblatt „Ergebnisse Errichtung“ sehen Sie nun die Berechnungsergebnisse für die Gebäudeerrichtung, gegliedert nach der Kostenstruktur der ÖNORM B 1801 Teil 1 Baugliederung. In den grünen Ergebnisblättern ist keine Eingabe erforderlich oder möglich, Sie können die Zellen jedoch markieren und die Ergebnisse kopieren, um sie weiter zu bearbeiten (z.B. zur Erstellung von Grafiken).

In Spalte G werden die Errichtungskosten des Gebäudes angezeigt. In der Spalte I sehen Sie die Berechnungsergebnisse der Wirkungskategorie Treibhausgaspotential (Global Warming Potential – GWP 100) in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (kg CO<sub>2</sub> eq.). In den Spalten K und M wird das berechnete Treibhausgaspotential aufgeteilt in den in Holz gespeicherten Kohlenstoff („Speicher“) und die in Prozessen freigesetzten Treibhausgase („Prozess“) dargestellt. Spalte O zeigt den Bedarf an nichterneuerbaren energetischen Ressourcen (PEI n.e.) zur jeweiligen Kostenposition in der Einheit Megajoule (MJ).

Die Umweltwirkungen des Transports der im Blatt „Errichtung“ ausgewählten Konstruktionen zur Baustelle werden aus hinterlegten Daten im Grundelementekatalog berechnet und an der letzten Position der Kostengruppen E 2 Bauwerk – Rohbau bzw. E4 Bauwerk – Ausbau als Summe angezeigt.

Ganz unten in der Tabelle finden Sie verschiedene Errichtungskostenkennwerte und die jeweils entsprechenden Umweltwirkungen.

Für die Anforderungen an die Dokumentation einer Ökobilanzierung siehe Kapitel 3.3.3 (Dokumentation).

#### **3.4.4.9 Ergebnisse Nutzung & Betrieb**

Im Ergebnisblatt „Ergebnisse Nutzung & Betrieb“ sind die Berechnungsergebnisse für die Betriebsphase des Gebäudes inklusive Objektbeseitigung und Abbruch dargestellt. Die Gliederung richtet sich nach der Kostenstruktur der ÖNORM B 1801 Teil 2. Auch hier ist keine Eingabe erforderlich oder möglich, Sie können die Zellen jedoch markieren und die Ergebnisse kopieren, um sie weiter zu bearbeiten oder beispielsweise Grafiken zu erstellen.

In Spalte G finden Sie die berechneten jährlichen (€/Jahr) und mehrjährigen (€/Instandsetzung) Folgekosten. Spalte M zeigt die valorisierten Barwerte der Folgekosten für den gesamten Betrachtungszeitraum (also die Lebenszykluskosten) für die einzelnen Kostenpositionen.

In den Spalten weiter rechts finden Sie analog zur Errichtung die Ergebnisse der Wirkungskategorien Treibhausgaspotential (GWP) und Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Ressourcen (PEI n.e.) für jede Kostenposition über den gesamten Betrachtungszeitraum aufsummiert.

Ganz unten in der Tabelle finden Sie verschiedene Folgekostenkennwerte und die jeweils entsprechenden Umweltwirkungen.

#### **3.4.4.10 Hauptgruppen**

Im Ergebnisblatt „Hauptgruppen“ sehen Sie sämtliche Berechnungsergebnisse (Kosten, GWP und PEI n.e.) noch einmal zusammengefasst für die einzelnen Hauptgruppen der Errichtungs- und Folgekosten nach ÖNORM B 1801 Teil 1 und 2. Sie können die Zellen hier wieder markieren und die Ergebnisse kopieren, um sie weiter zu bearbeiten.

#### **3.4.4.11 Kennwerte**

Im letzten Ergebnisblatt finden Sie verschiedene Kennwerte, das sind spezifische Werte, die den Vergleich von Objekten unterschiedlicher Größe und Ausprägung ermöglichen.

#### **3.4.4.12 Ökodatens Energie**

Ins Datenblatt „Ökodatens Energie“ gelangen Sie über den Link im Eingabeblatt „Energie“. Es enthält die im Blatt „Energie“ auswählbaren Energieträger sowie deren Umweltkennzahlen Global Warming Potential [kg CO<sub>2</sub> eq.] und Primärenergieinhalt nicht erneuerbar [MJ]. Als funktionale Einheit ist entweder MJ oder kWh angegeben. Sollen eigene Daten des/der NutzerIn verwendet werden, so müssen die gekennzeichneten Eingabefelder in den Spalten F, H, K, L, M und N ausgefüllt werden. Für mehr Informationen siehe Kapitel 3.4.4 Eingabeblatt "Energie".

### **3.4.4.13 Ökodaten Transport**

Ins Datenblatt „Ökodaten Transport“ gelangen Sie über einen Link im Datenblatt „Dienstleistungen“. Hier finden Sie hinterlegte Kennzahlen und Annahmen zur Berechnung der Umweltwirkungen aus dem Personentransport bzw. für den Betrieb von Verbrennungsmotoren im Rahmen gebäudebezogener Dienstleistungen (siehe dazu auch Kapitel 3.3.2 Modellteil Dienstleistungen und Kapitel 3.4.4 Datenblatt "Dienstleistungen"). Als funktionale Einheit sind Personenkilometer (pkm) bzw. Liter (l) Dieserverbrauch (bei Verbrennungsmotoren von Rasenmähern, Schneefräsen usw.) angegeben.

### **3.4.4.14 Ökodaten Konstruktionen**

Ins Datenblatt „Ökodaten Konstruktionen“ gelangen Sie über den Link im Datenblatt „Errichtung“. Hier ist der Grundelementekatalog der Bauteilschichten hinterlegt, die im Blatt „Errichtung“ ausgewählt werden können. Zu jedem Bauelement finden sich folgende mit ECOSOFT berechnete Daten:

- die funktionale Einheit (m<sup>2</sup> bzw. m<sup>3</sup>)
- das GWP Speicher: das im Material gespeicherte CO<sub>2</sub>
- das GWP Prozess: das Treibhauspotential aus dem Herstellungsprozess
- deren Summe, GWP in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten
- der Primärenergieinhalt (nicht erneuerbare Energieträger) in MJ
- eine vorgeschlagene Nutzungsdauer (Jahre)
- die Mengen in den Entsorgungsfractionen Holz, Kunststoff, Metall, Beton und Baurestmassen (kg)
- der Aufwand für den Transport zur Baustelle in Tonnenkilometern (tkm)

Bei der Eingabe eigener Bauteile in die vorgesehenen Eingabefelder sollten die genannten Daten berücksichtigt werden.

Für mehr Informationen siehe Kapitel 3.4.4 Eingabeblatt "Errichtung".

## **3.5 LEKOEKOS Modellvalidierung (AP5)**

### **3.5.1 Vorgehensweise**

Die Validierung des Gesamtmodells erfolgte in Form von Testanwendungen anhand ausgewählter Gebäude (unterschiedliche Gebäudetypen) mit dem Ziel der Überprüfung der Funktionalität, Anwendbarkeit sowie Plausibilität einzelner Modellteile (ökonomische und ökologische Bewertung). Für alle ausgewählten Gebäude war es möglich, sowohl die ökonomische als auch die ökologische Bewertung durchzuführen.

Tabelle 18 zeigt die Gebäude, die als repräsentative Beispiele für die Testanwendung ausgewählt wurden. Zur Vervollständigung der Daten und zur Prüfung der Funktionalität des Tools wurden Workshops im Team und mit den AnsprechpartnerInnen für die Gebäude abgehalten.

### 3.5.2 Ausgewählte Gebäude für die Validierung

Nachstehende Gebäude wurden für die Testanwendung des LEKOECS-Tools herangezogen:

|                                 | <b>Oberrohrbach</b>   | <b>ARWAG Gebäude</b>   | <b>Aspern IQ</b>   |
|---------------------------------|---|--|--|
| <b>Typ</b>                      | <b>Kindergarten</b>   | <b>Wohngebäude</b>   | <b>Bürogebäude</b>   |
| <b>Projektbezeichnung</b>       | Passivhaus-Kindergarten Oberrohrbach  | Wohnpark Lissagasse / Anna-Hand-Weg 1-3                                    | AspernIQ   |
| <b>Adresse</b>                  | <b>Hofstrasse 24a, 2105 Oberrohrbach</b>  | <b>Wohnpark Lissagasse / Anna-Hand-Weg 1-3</b>                             | <b>Seestadtstraße 27/13 A-1220 Wien</b>  |
| <b>Beschreibung</b>             | Kindergarten mit zwei Gruppenräumen und Bewegungsraum in Passivhausqualität, vorgefertigte Holzriegelelemente mit Massivholzdecke | Mehrgeschoßiger Wohnbau  | Bürogebäude  |
| <b>Architekt</b>                | <b>ah3 Architekten ZT-GmbH</b>  | <b>Albert Wimmer</b>   | <b>Gesamtplaner ATP (Architektur, Tragwerksplanung, HKLS, Elektro, Ausschreibung, ÖBA, Bauphysik, Klima:aktiv-Bewertung, Landschaftsplanung)</b>                     |
| <b>Generalplaner/ Bauträger</b> | Marktgemeinde Leobendorf  | ARWAG Bauträger  | WA Business & Service Center GmbH  |
| <b>Bauunternehmen</b>           |   |  |  |
| <b>Haustechnik Planung</b>      | New Energy Consult (Planung Haustechnik)  |  |  |
| <b>Projektsteuerung</b>         |   |  |  |
| <b>Bauherr</b>                  | Marktgemeinde Leobendorf  | ARWAG Eurogate VermietungsgesellschaftmBH                                  | WA Business & Service Center GmbH, 1010 Wien   Ebendorferstraße 2, <a href="http://www.wirtschaftsagentur.at">www.wirtschaftsagentur.at</a>                          |
| <b>Bauphysik/Fachplanu</b>      | <b>IBO - Österr. Institut für Bauen und Ökologie GmbH</b>   | <b>Bauphysik, Heizanlage, PHPP-Berechnung: team gmi Ingenieurbüro GmbH</b> | <b>IBO: Gebäudesimulation und ÖGNB-Zertifizierung, Hailight: Tageslichtsimulation</b>  |
| <b>Facility Management</b>      |   |  | Siemens  |
| <b>Ansprechpartner</b>          | <b>IBO, Arch Kislinger</b>  | <b>Ronald Ploder</b>   | <b>Mag. Werner Weiss <a href="http://www.wirtschaftsagentur.at">www.wirtschaftsagentur.at</a></b>  |
| <b>Kostendaten</b>              | ja  | ja   | ja   |
| <b>Ökobilanz</b>                | ja  | ja   | <b>TQB Primärenergiebilanz <a href="http://www.asperniq.at/fakten/klimaaktiv-gebaeudebewertung/">http://www.asperniq.at/fakten/klimaaktiv-gebaeudebewertung/</a></b> |
| <b>Objektkenndaten</b>          | ja  | ja   | ja   |

Tabelle 18: Gebäude für die Testanwendung, Quelle: Österreichische Energieagentur

Tabelle 18 zeigt im Überblick die drei ausgewählten Gebäude mit Beteiligten sowie vorhandene bzw. erforderliche Daten zur Durchführung der Testanwendung. In den folgenden Abbildungen und Absätzen werde die Testobjekte genauer beschrieben.

### 3.5.2.1 Kindergarten Oberrohrbach



Abbildung 10: Passivhaus-Kindergarten Oberrohrbach, Quelle: ah3

Der eingeschossig konzipierte Passivhaus-Kindergarten aus vorgefertigten Holzriegelelementen mit Massivholzdecke wurde im Jahr 2011 in der Katastralgemeinde Oberrohrbach errichtet. Bei der Planung des Gebäudes wurde ein besonderes Augenmerk auf die Auswahl ökologisch zertifizierter Produkte gelegt. Die hochwärmegedämmte und wärmebrückenfreie Hülle sorgt zusammen mit den hoch qualitativen Fensterrahmen und -gläsern für behagliche Oberflächentemperaturen. Eine Komfortlüftungsanlage sichert die optimale Frischluftversorgung und ist mit einer Wärmerückgewinnungseinheit ausgestattet. Der Restenergiebedarf des Gebäudes wird über eine Erdwärmeanlage am Grundstück mit zwei Tiefenbohrungen gedeckt. Die Wärmeabgabe erfolgt über die Fußbodenheizung.<sup>51</sup>

Im Jahr 2011 wurde für den Kindergarten Oberrohrbach eine Ökobilanzierung nach OI3 für 2 Bilanzgrenzen durch das IBO<sup>52</sup> erstellt.

- Bilanzgrenze Null = BG0: es wird die thermische Gebäudehülle betrachtet, wobei Aufwände aus der Ersterrichtung berücksichtigt werden
- Bilanzgrenze 3 = BG3: es wird der Gesamtbaukörper (inkl. Innenbauteile) betrachtet, wobei Instandhaltungszyklen über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren zugrunde gelegt werden.

Die vorliegende Ökobilanzierung aus dem Jahr 2011 wurde mit den aktuell gültigen Umweltkennzahlen (Stand Juni 2012) neu hochgerechnet. Damit liegt für den Kindergarten Oberrohrbach eine aktuelle ökologische Bewertung vor, die mit den Ergebnissen des LEKOECOS-Modells vergleichbar ist. Die ökonomische Bewertung im LEKOECOS-Modell erfolgte im Rahmen eines Workshops, an dem das IBO und Architekt DI Kislinger teilnahmen.

---

<sup>51</sup> Vgl. Passivhaus-Kindergarten in Oberrohrbach: <http://www.umweltgemeinde.at/neuer-passivhaus-kindergarten-in-oberrohrbach> (abgerufen: 08.04.2014)

<sup>52</sup> IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH



### 3.5.2.2 Passivhaus Wohnpark Lissagasse (Anna-Hand-Weg 3)<sup>53</sup>



Abbildung 11: Passivhaus Wohnpark Lissagasse, Quelle: ARWAG Wohnungen, Foto: Irene Schanda, <http://www.arwag.at/Wohnungen/print/?pr=3229&printSite=true>

Die Wohnhausanlage am Areal des ehemaligen Aspangbahnhofes („Eurogate“) besteht aus einem 6- und einem 7-stöckigen Gebäude mit längsseitiger Ausrichtung nach Süden. Die beiden Bauteile sind in Stahlbetonbauweise mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade ausgeführt und beinhalten insgesamt 150 Wohneinheiten.

Aus energetischer Sicht zeichnet sich dieses Passivhausprojekt mit 3 kWh/m<sup>2</sup>a durch einen besonders geringen Heizwärmebedarf aus. Durch ein Raumbediengerät zur Volumenstromverstellung, das sich beim Eingang zum Wohnraum befindet, kann die Menge der eingeblasenen Luft eingestellt werden (Urlaub, Normal, Party)<sup>54</sup>.

Mit dem Bauträger des Wohngebäudes wurde vereinbart, das Gebäude als Testgebäude für die Validierung des LEKOECOS-Modells zu verwenden. Mit einem Vertreter des Bauträgers wurde ein Workshop<sup>55</sup> abgehalten, bei dem Bestandspläne, Aufbauten, Ansichten und Baukosten zur Verwendung für das Projekt zur Verfügung gestellt wurden.

---

<sup>53</sup> Vgl. auch <http://www.arwag.at/Media/BAB-110418.pdf>, [http://www.langconsulting.at/files/Networking/Leuchtt%C3%BCrme/Eurogate\\_1710.pdf](http://www.langconsulting.at/files/Networking/Leuchtt%C3%BCrme/Eurogate_1710.pdf), [http://www.awimmer.at/jart/prj3/wimmer/main.jart?rel=de&j-dummy=active&content-id=1164397024789&projekte\\_id=1233153269041#](http://www.awimmer.at/jart/prj3/wimmer/main.jart?rel=de&j-dummy=active&content-id=1164397024789&projekte_id=1233153269041#), [http://www.wienerbezirksblatt.at/media/file/123\\_Eurogate\\_NEU\\_pt.pdf](http://www.wienerbezirksblatt.at/media/file/123_Eurogate_NEU_pt.pdf) (abgerufen am 08. April 2014)

<sup>54</sup> Vgl. „Wohnpark Lissagasse“ 1030 Wien, Anna Hand Weg 1 und 3, Bau- und Ausstattungsbeschreibung, Stand 18.04.2011: <http://www.arwag.at/Media/BAB-110418.pdf> (abgerufen am 08. April 2014)

<sup>55</sup> Workshop am 4. Dezember 2013, Teilnehmer: ARWAG, Donau-Universität Krems, Öst. Energieagentur

### 3.5.2.3 Technologiezentrum Aspern IQ



Abbildung 12: Bürogebäude AspernIQ, Quelle: Kurt Kuball

Das im Rahmen des BMVIT-Forschungsprogramms "Haus der Zukunft" geförderte Bürogebäude Aspern IQ steht für die Umsetzung neuester bautechnischer Möglichkeiten. Als Plusenergie-Immobilie erzeugt das Gebäude mit seiner 1.300 m<sup>2</sup> großen Photovoltaikanlage (140 kWp) mehr Energie als es verbraucht. Zugleich bietet das Gebäude einen hohen Nutzerkomfort und erfüllt höchste Anforderungen an Nachhaltigkeit. Es wurde in Stahlbetonbauweise mit „Ökobeton“ errichtet, der 80 Prozent weniger Kohlendioxid-Emissionen verursacht und ist völlig PVC frei. Das Gebäude ist nach dem klimaaktiv Gebäudestandard in Gold (mit der Höchstpunktzahl von 1000 Punkten) zertifiziert und erhielt von der Österreichischen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (ÖGNB) 974 von 1.000 möglichen TQB-Punkten<sup>56</sup>.

### 3.5.3 Datenerhebung und -eingabe ins LEKOECOS-Modell

Gemeinsam mit den jeweiligen AnsprechpartnerInnen der Validierungsgebäude wurden Workshops veranstaltet, in denen das LEKOECOS Projekt präsentiert und die Daten zu den Validierungsgebäuden gemeinsam zusammengestellt wurden.

Die Datenerhebung zur Validierung des Gebäudes Passivhaus-Kindergarten Oberrohrbach fand zwischen IBO, dem Architektenbüro ah3 und der Marktgemeinde Leobendorf in Form von bilateralen Treffen und Kommunikation per E-mail und Telefon statt.

Objektkennndaten und Errichtungskosten wurden von ah3-Architekten zur Verfügung gestellt und bereits in der frühen Programmierungsphase für einen ersten Testlauf der Excel-Version des LEKOECOS-Modells herangezogen. Zur Bestimmung der energiebezogenen Folgekosten wurden die Energiekennzahlen aus der Energiebedarfsberechnung PHPP (Energieträger ist für alle Bedarfswerte Strom, da die Versorgung durch Wärmepumpen erfolgt) in das LEKOECOS -Modell eingetragen.

Für das Bürogebäude AspernIQ fand ein Arbeitstreffen zur Datenerhebung zwischen der Donau-Universität Krems und dem Projektleiter Hannes Achammer von ATP statt.

---

<sup>56</sup> <http://www.asperniq.at/fakten/aspern-iq-zahlen-daten-fakten/> (abgerufen am 08. April 2014)

Es wurde dem jeweiligen Ansprechpartner vorab die Vorlage für die Dateneingabe übermittelt. Die Ansprechpartner stellten dem Projektteam daraufhin Baupläne, Ansichten, Bestandspläne und Kostenaufstellungen zur Verfügung. Von den ProjektpartnerInnen lagen zum Teil Energieausweise und TQB-Bewertungen vor. Die erforderlichen Eingabedaten konnten nicht immer zur Gänze den vorliegenden Unterlagen entnommen werden. Das Projektteam erstellte auf Basis der zur Verfügung gestellten Unterlagen die Eingabedateien für die drei Validierungsgebäude. Wo genaue Angaben für die geforderten Eingabedaten fehlten, wurden Näherungen aufgrund der vorhandenen Informationen verwendet oder Annahmen getroffen.

Folgende Workshops zur Datenerhebung fanden statt:

### **3.5.3.1 Kindergarten Oberrohrbach**

22.11.2013 WS in der AEA: Kosten- und Objektkenndaten zum Kindergarten Oberrohrbach, Teilnehmerinnen: Huemer-Kals, Ipser, Radosch

18.12.2013 WS in der AEA: Konstruktionen und Ökokennzahlen für den Kindergarten Oberrohrbach, Teilnehmerinnen: Radosch, Mötzl, Ipser

### **3.5.3.2 ARWAG Gebäude, Wohnpark Lissagasse/Anna-Hand-Weg 1-3**

04.12.2013: Ein Workshop zur Datenerhebung fand gemeinsam mit der Energieagentur, der Donau-Universität Krems und dem Projektleiter Ronald Ploder von der ARWAG im Bürogebäude der ARWAG statt.

15.01.2014 WS in der AEA: Objektkenndaten und Konstruktionen zum Objekt Wohnpark Lissagasse und AspernIQ, Teilnehmerinnen: Radosch, Ipser

05.02.2014 WS in der AEA: Kostendaten Wohnpark Lissagasse, Neueingabe Kindergarten Oberrohrbach in das aktuelle Modell, Teilnehmerinnen: Ipser, Radosch

### **3.5.3.3 Bürogebäude AspernIQ**

22.11.2013: Arbeitstreffen zur Datenerhebung zwischen der Donau-Universität Krems und dem Projektleiter Hannes Achammer von ATP

23.01.2014 Disseminationsworkshop in der AEA: Beispielgebäude AspernIQ, TeilnehmerInnen: J. Breitling, A. Nirnberger, R. Altmann, N. Altmann, H. Floegl, C. Ipser, H. Mötzl, V. Huemer-Kals, S. Geissler, U. Radosch

Speziell für das Bürogebäude AspernIQ wurde ein Disseminations-Workshop abgehalten, bei dem das LEKOCOS-Tool vorgestellt und die Dateneingabe getestet wurde. Den TeilnehmerInnen wurde dazu eine Arbeitsversion des Tools zusammen mit dem Dateneingabeblatt übergeben. Im Rahmen des Workshops wurde die Dateneingabe gemeinsam durchgeführt.

### **3.5.4 Ergebnisse der Testanwendungen**

Im Zuge der Testanwendungen wurden kleinere Fehler im Modellaufbau und in der Programmierung aufgedeckt und klare Empfehlungen zur Verbesserung der

Nutzerfreundlichkeit formuliert. Außerdem wurden die dem Modell hinterlegten Voreinstellungswerte (Defaultwerte) überprüft und bei Bedarf angepasst bzw. neu recherchiert.

Die Ergebnisse der Anwendungen des LEKOECS-Tools sind entsprechend der ÖNORM B 1801 Teil 1 (Errichtungskosten - Baugliederung) und ÖNORM B 1801 Teil 2 (Folgekosten) in Kostenpositionen gegliedert. Neben den Errichtungs- und Folgekosten werden zu den einzelnen Kostenpositionen Umweltwirkungen (GWP und PEI n.e.) aus der Gebäudeerrichtung, sowie der Nutzung und dem Betrieb zugeordnet (vgl. Kapitel 3.1.7).

#### **3.5.4.1 Modellannahmen für die Testanwendung**

Für die Berechnung der lebenszyklischen Kosten und Umweltwirkungen der Gebäude wurde jeweils ein Betrachtungszeitraum von 36 Jahren angenommen.

Beim Beispielgebäude Kindergarten wurde für die ökologische Berechnung das vollständige Gebäude mit sämtlichen (vereinfachten) Aufbauten und Konstruktionen eingegeben.

Für die beiden anderen Beispielgebäude (Bürogebäude und mehrgeschossiges Wohngebäude) wurde für die ökologische Berechnung nur die thermische Gebäudehülle eingegeben. Grund dafür war einerseits die Datenverfügbarkeit, zugleich wurde dadurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den vorhandenen OI3-Berechnungen gewährleistet.

Ein Ausdruck der Eingabedaten und hinterlegten Annahmen zur Validierung der Gebäude ist im Anhang eingefügt (siehe Anhang 7.2).

#### **3.5.4.2 Bürogebäude AspernIQ**

Der Vergleich der Kosten und Umweltwirkungen aus der Errichtung mit den Kosten und Umweltwirkungen aus Nutzung und Betrieb ergibt, dass die Errichtungskosten des Bürogebäudes [E0-E9], gemessen in EUR, kg CO<sub>2</sub> eq. (GWP 100) oder MJ (PEI n.e.), immer unter 50 % der Gesamtkosten bzw. der gesamten Umweltwirkungen über den betrachteten Gebäudelebenszyklus von 36 Jahren liegen (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 14 zeigt die Errichtungskosten, gegliedert nach Hauptkostengruppen, des Bürogebäudes (die Errichtungskosten der nicht angeführten Hauptkostengruppen sind gleich 0). Grundkosten wurden bei der Berechnung des Bürogebäudes nicht berücksichtigt.

**Gemessen in EUR, verursachen Reinigung und Pflege [F4] sowie Gebäudedienste [F6] und Instandsetzung, Umbau [F7] bei der Berechnung des Bürogebäudes die höchsten Folgekosten. Verwaltung [F1], Sicherheit [F5] und Objektbeseitigung, Abbruch [F9] bewirken demgegenüber relativ**

niedrige Folgekosten (vgl. Abbildung 15)

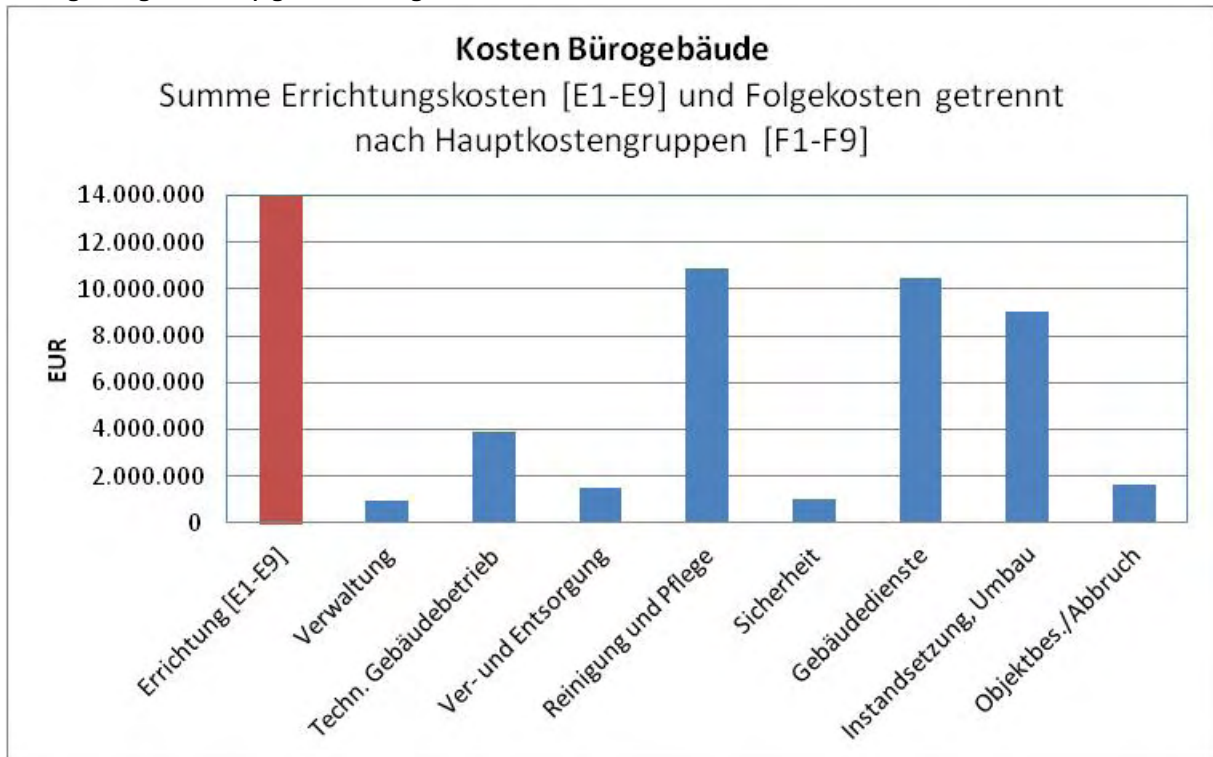


Abbildung 15).

Während der Nutzung und des Betriebs ist die Ver- und Entsorgung des Bürogebäudes mit Abstand sowohl für die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch für den höchsten Primärenergieinput verantwortlich (vgl. Abbildung 16 und Abbildung 17). Die Umweltwirkungen aus der Hauptgruppe Ver- und Entsorgung reichen beinahe an die Umweltwirkungen aus der Errichtung des Gebäudes heran.

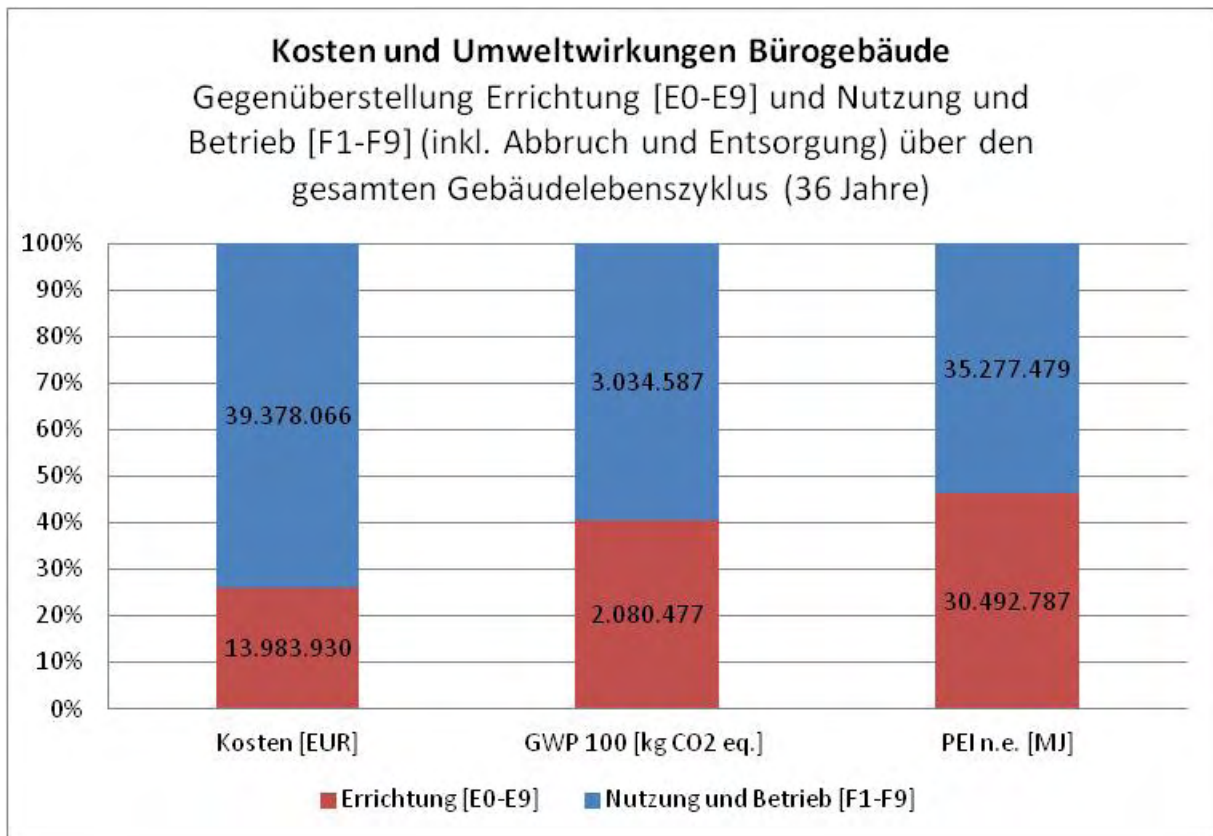


Abbildung 13: Validierung Bürogebäude, Gegenüberstellung der Kosten und Umweltwirkungen aus Errichtung [E1-E9] und Nutzung und Betrieb [F1-F9] (inkl. Abbruch und Entsorgung) über den Gebäudelebenszyklus von 36 Jahren, Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes.

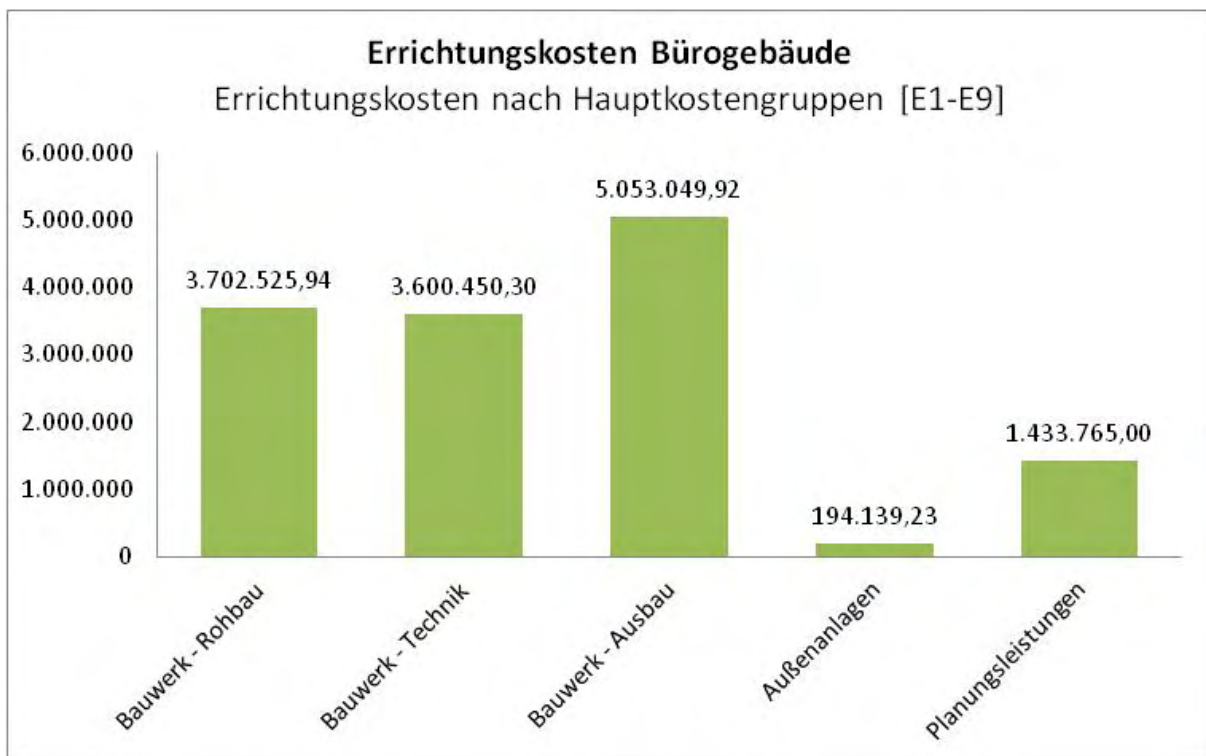


Abbildung 14: Validierung Bürogebäude, Errichtungskosten nach Hauptkostengruppen [E0-E9], Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes

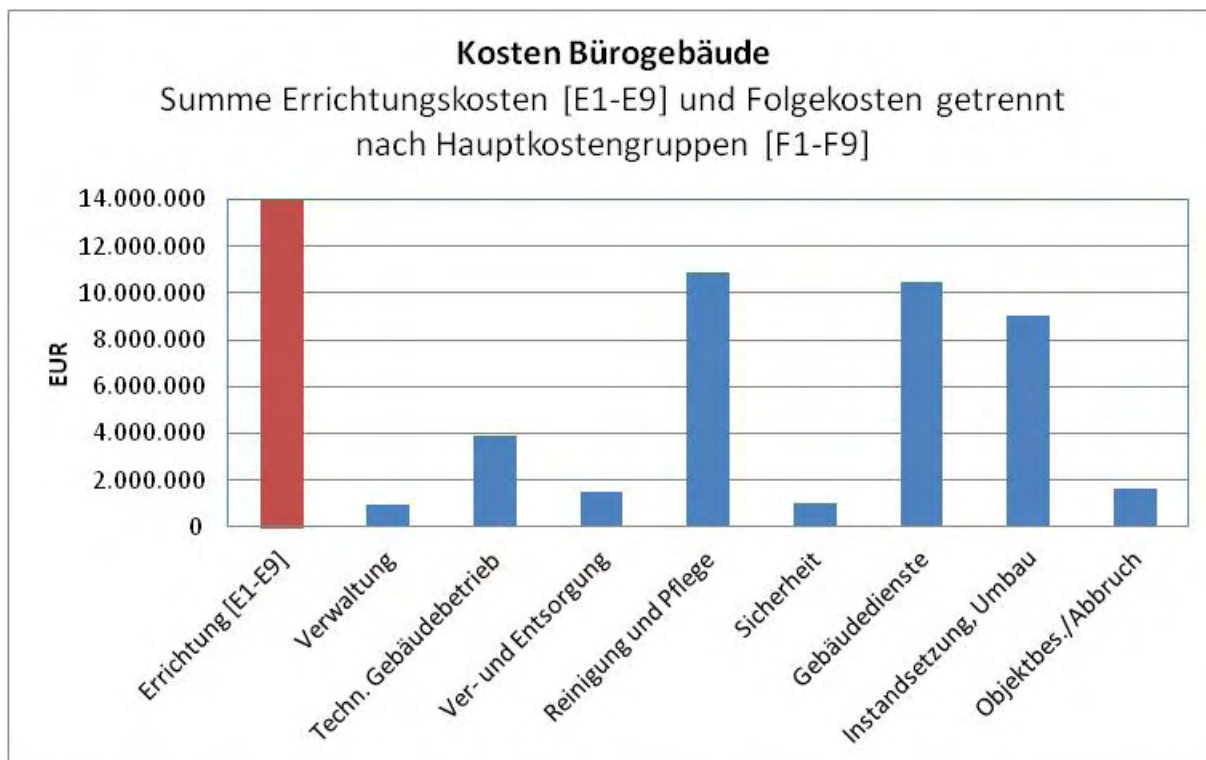


Abbildung 15: Validierung Bürogebäude – Summe Errichtungskosten [E1-E9] und Folgekosten getrennt nach Hauptkostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes.

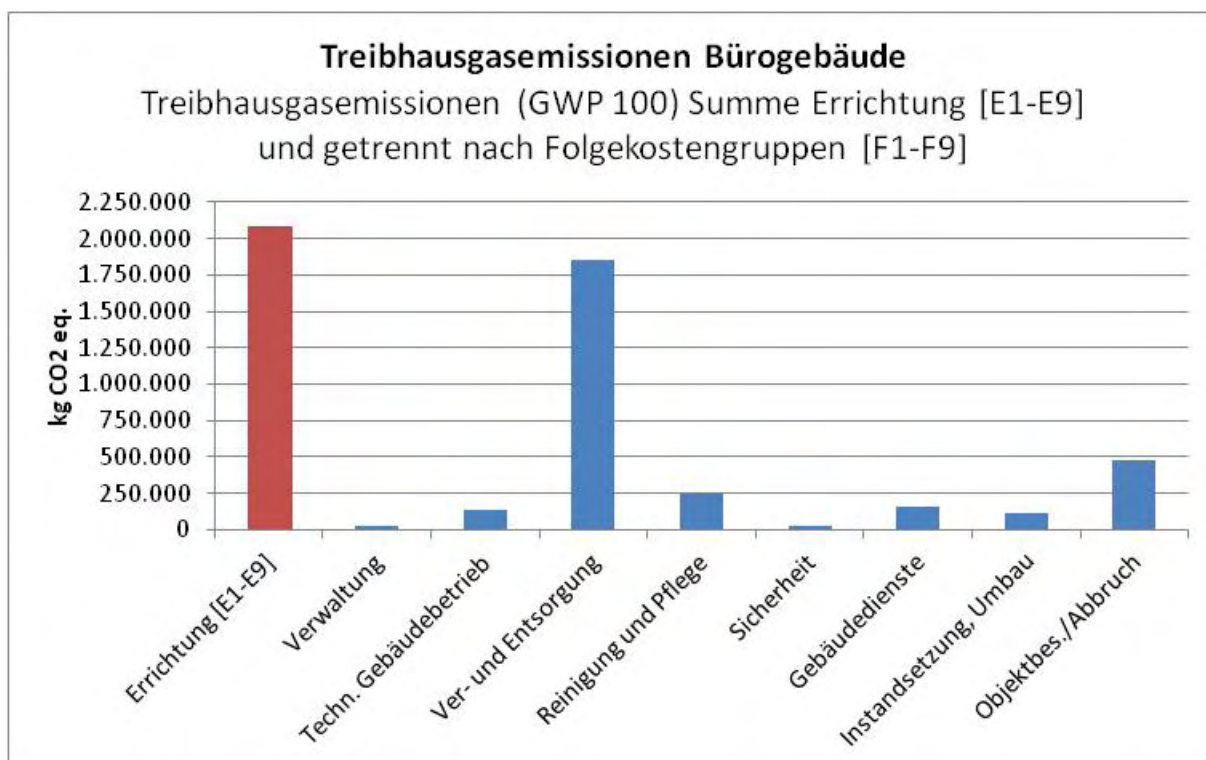
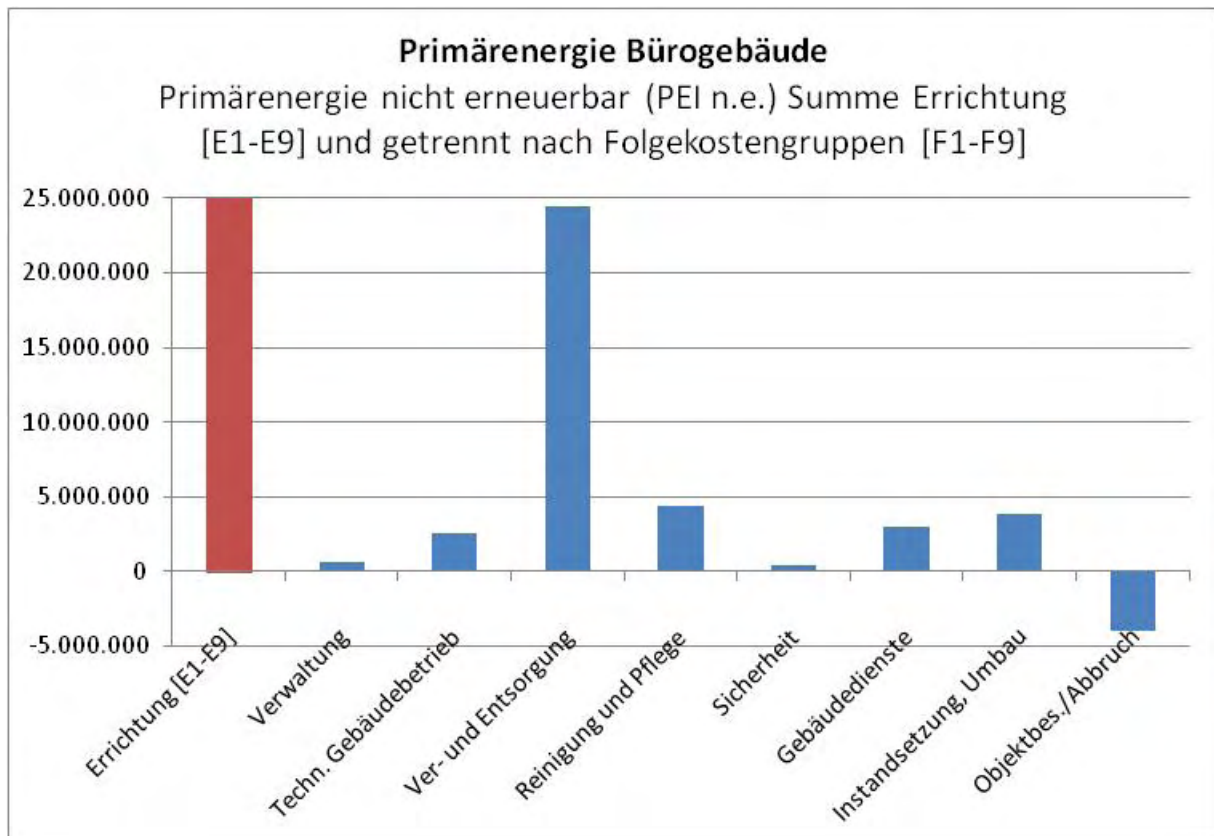


Abbildung 16: Validierung Bürogebäude – Treibhausgasemissionen (GWP 100) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes.



**Abbildung 17: Validierung Bürogebäude – Primärenergie nicht erneuerbar (PEI n.e.) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes.**

### **3.5.4.3 Passivhaus Wohnpark Lissagasse (Anna-Hand-Weg 3)**

Die Errichtungskosten des Wohngebäudes sind bei einem Betrachtungszeitraum von 36 Jahren für ca. 35 % der Lebenszykluskosten des Testgebäudes verantwortlich.

Treibhausgasemissionen und Primärenergie der Errichtung machen in der Berechnung weniger als 25 % der Lebenszykluskosten aus. Anders ausgedrückt, ca. 75 % der Treibhausgasemissionen bzw. Primärenergie des mehrgeschossigen Wohngebäudes werden durch Nutzung und Betrieb des Gebäudes verursacht. Gerade im Wohnbau werden die Kosten für die Errichtung bzw. die Nutzung und den Betrieb von Gebäuden häufig von unterschiedlichen Personen bzw. Organisationen getragen.

Die Hauptkostengruppe Bauwerk – Rohbau [E2] verursacht die höchsten Kosten der Errichtung unter den Hauptkostengruppen des Test-Wohngebäudes (vgl. Abbildung 19). Grundkosten wurden bei der Berechnung des Wohngebäudes nicht berücksichtigt.

Ver- und Entsorgung [F3], Gebäudedienste [F6] und Instandsetzung, Umbau [F7] des mehrgeschossigen Test-Wohngebäudes zeigen die höchsten Folgekosten der Hauptkostengruppen [F1-F9] (vgl. Abbildung 20).

Treibhausgasemissionen und Primärenergieinput des mehrgeschossigen Wohngebäudes werden zum größten Teil durch die Ver- und Entsorgung [F3] während der Nutzung und des Betriebs verursacht (vgl. Abbildung 21 und Abbildung 22), was durch den hohen berücksichtigten Haushaltsstrombedarf bedingt ist.



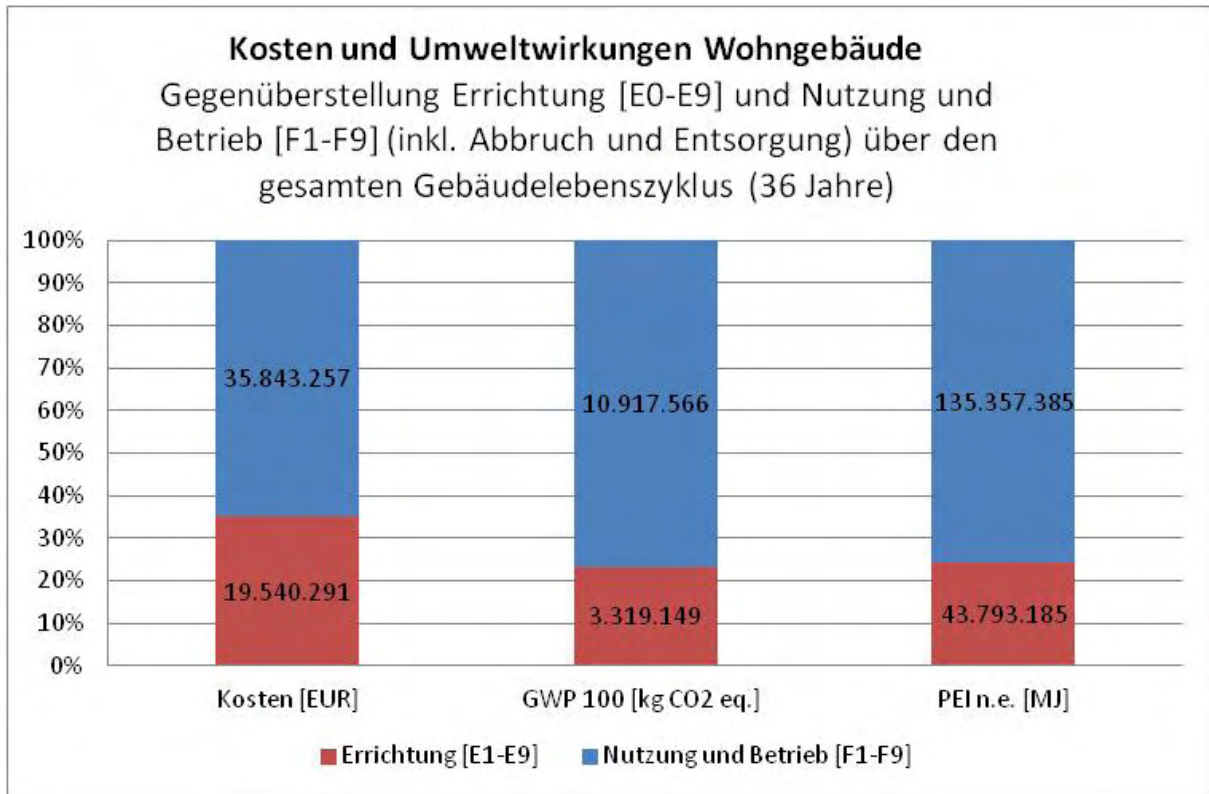


Abbildung 18: Validierung Wohngebäude, Gegenüberstellung der Kosten und Umweltwirkungen aus Errichtung [E1-E9] und Nutzung und Betrieb [F1-F9] (inkl. Abbruch und Entsorgung) über den Gebäudelebenszyklus von 36 Jahren, Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.

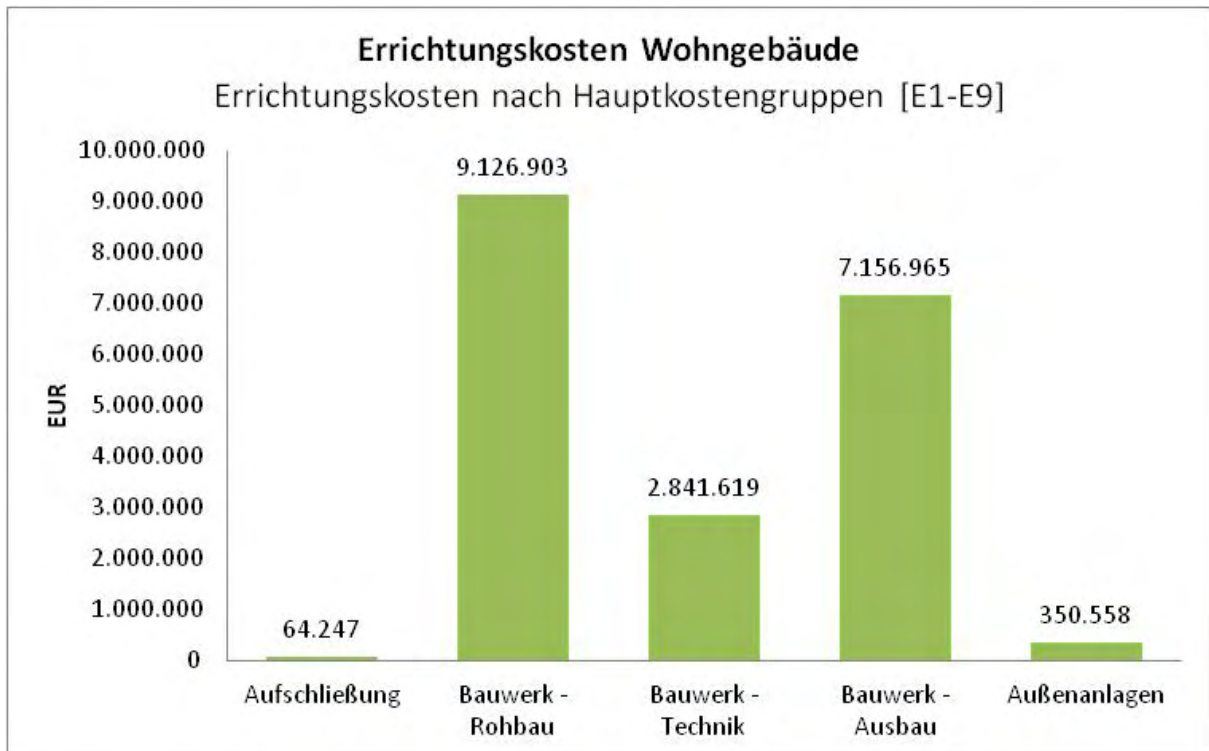


Abbildung 19: Validierung Wohngebäude, Errichtungskosten nach Hauptkostengruppen [E0-E9], Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.

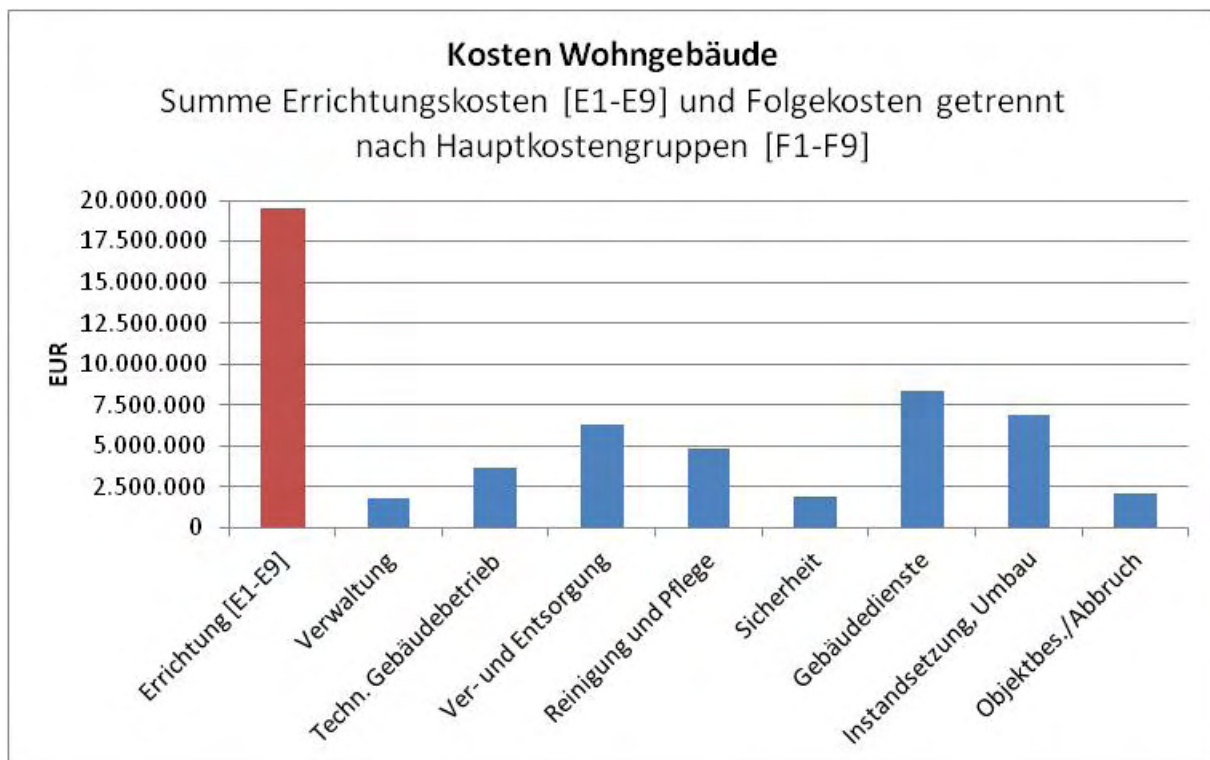


Abbildung 20: Validierung Wohngebäude – Summe Errichtungskosten [E1-E9] und Folgekosten getrennt nach Hauptkostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.

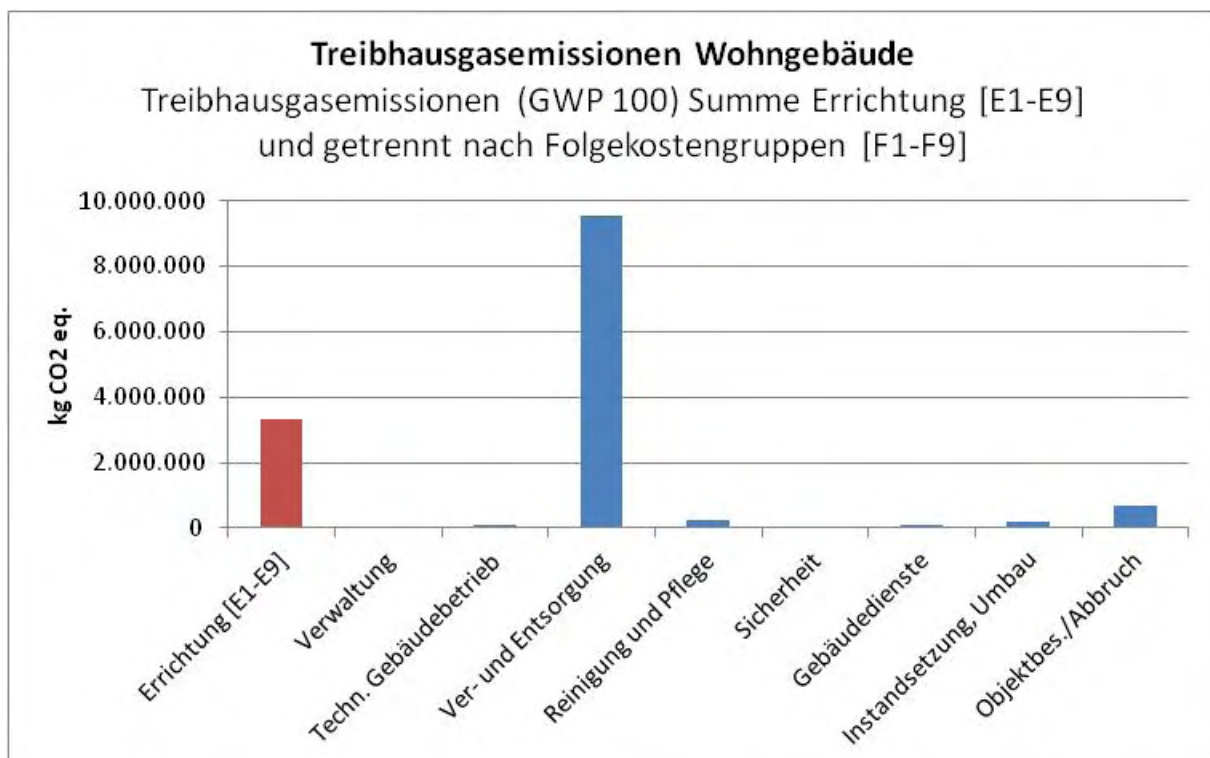
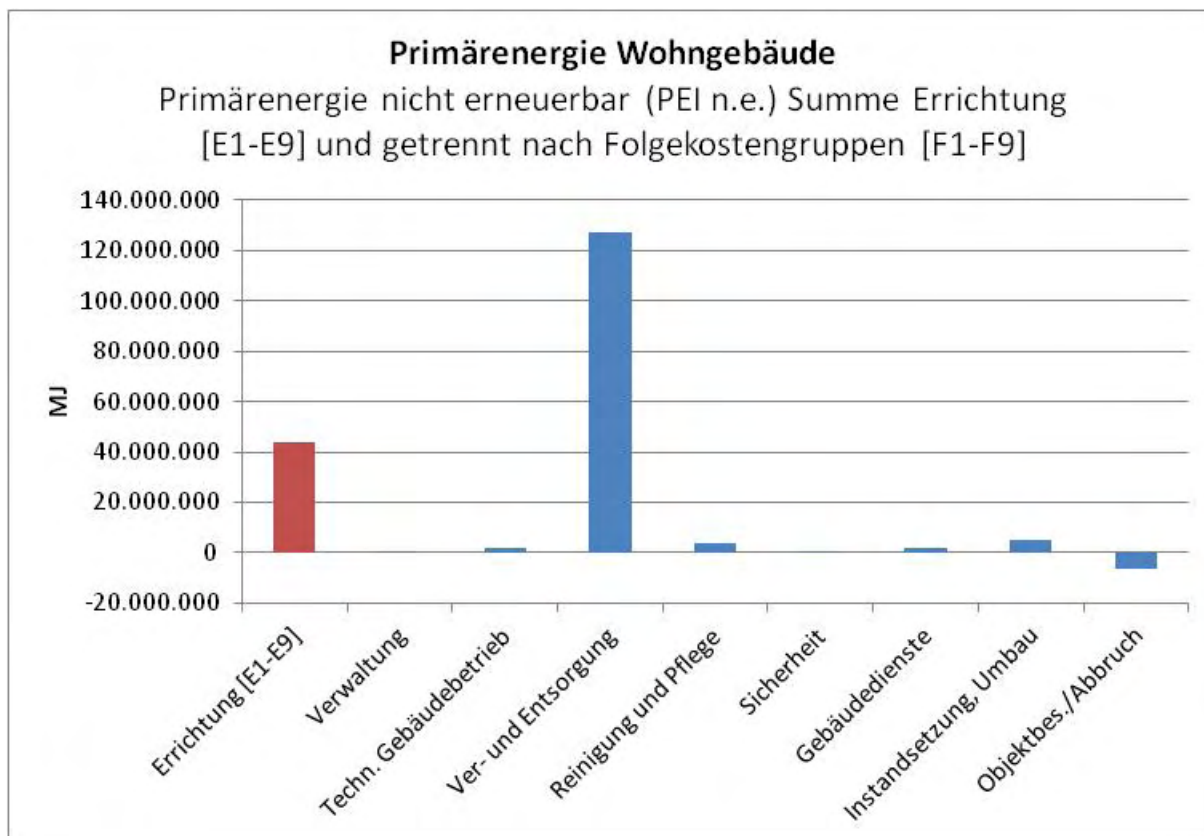


Abbildung 21: Validierung Wohngebäude - Treibhausgasemissionen (GWP 100) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.



**Abbildung 22: Validierung Wohngebäude – Primärenergie nicht erneuerbar (PEI n.e.) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.**

#### **3.5.4.4 Kindergarten Oberrohrbach**

Beim Testgebäude Kindergarten machen die Errichtungskosten bzw. Treibhausgasemissionen aus der Errichtung bei einem Betrachtungszeitraum von 36 Jahren 33 % bzw. 35 % der lebenszyklischen Kosten und Treibhausgasemissionen des Gebäudes aus. Nur beim Primärenergieinput des Kindergartens kehrt sich das Verhältnis um, hier verursacht die Errichtung 72 % des Primärenergieinhalts aus nicht erneuerbaren Energieträgern (vgl. Abbildung 23). Der niedrige Primärenergiebedarf im Betrieb ist auf das Energiekonzept zurückzuführen (Passivhaus, Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Deckung des Restwärmebedarfs über Tiefenbohrungen). Beim Treibhauspotenzial (GWP) profitiert das Gebäude von der Holzbauweise, die Errichtungsphase verursacht deshalb im Vergleich zur Betriebsphase geringere Belastungen als beim Primärenergieinhalt. Die in der Holzkonstruktion gespeicherte Energie wird in der Folgekostengruppe F9 Objektbeseitigung, Abbruch mit einem negativen Wert berücksichtigt (vgl. Abbildung 27), wodurch die Summe des Primärenergieinhalts der Gruppen F1 bis F9 stark reduziert wird.

Abbildung 24 zeigt die Höhe der Grund- und Errichtungskosten nach Hauptkostengruppen für das Validierungsgebäude Kindergarten. Die höchsten Kosten dabei sind Grund [E0], Bauwerk – Rohbau [E2] und danach Bauwerk – Ausbau [E4].

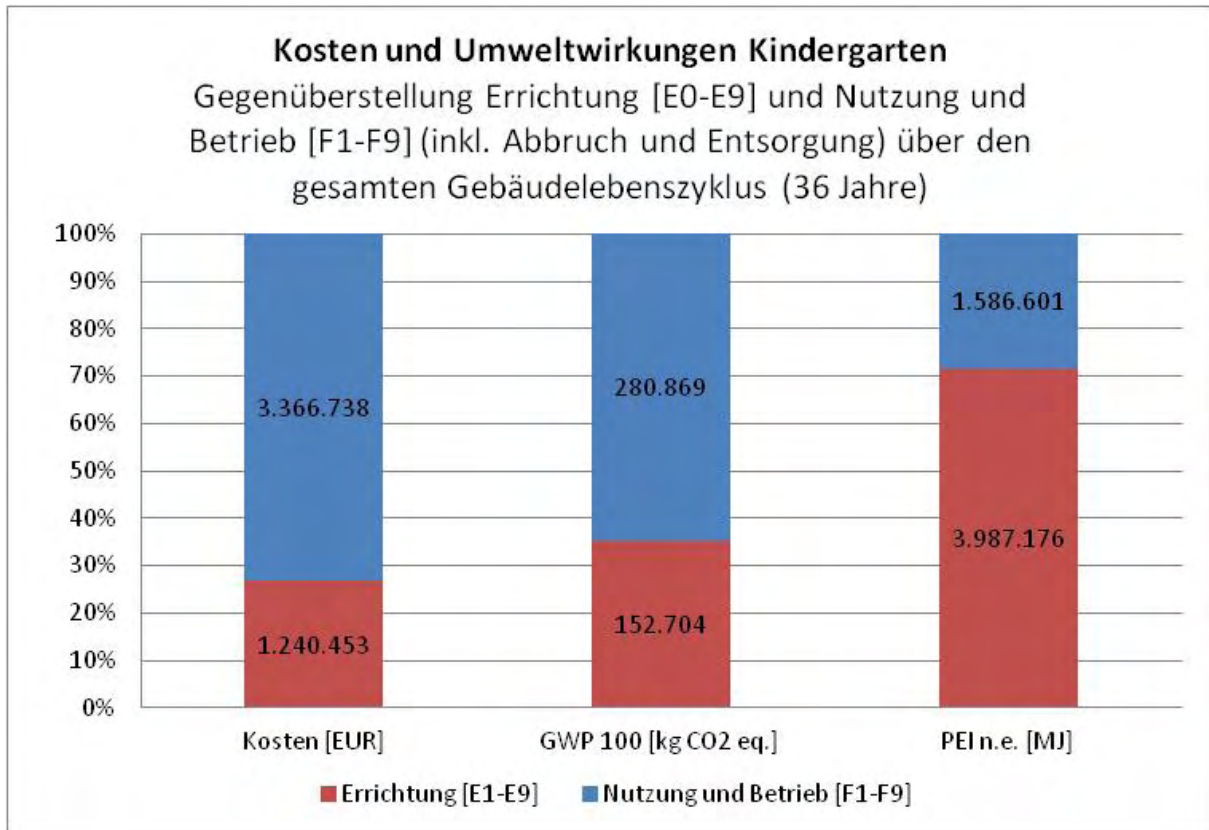


Abbildung 23: Validierung Kindergarten, Gegenüberstellung der Kosten und Umweltwirkungen aus Errichtung [E1-E9] und Nutzung und Betrieb [F1-F9] (inkl. Abbruch und Entsorgung) über den Gebäudelebenszyklus von 36 Jahren, Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens

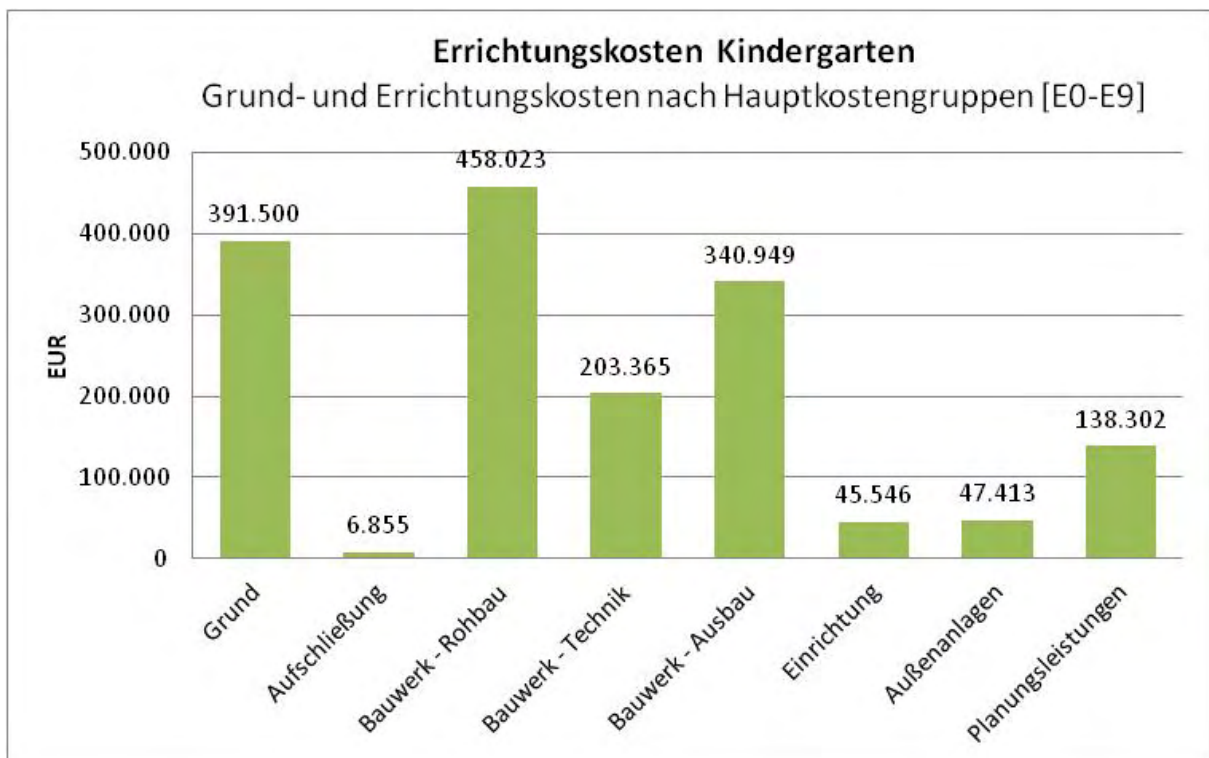


Abbildung 24: Validierung Kindergarten, Grund- und Errichtungskosten nach Hauptkostengruppen [E1-D9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens

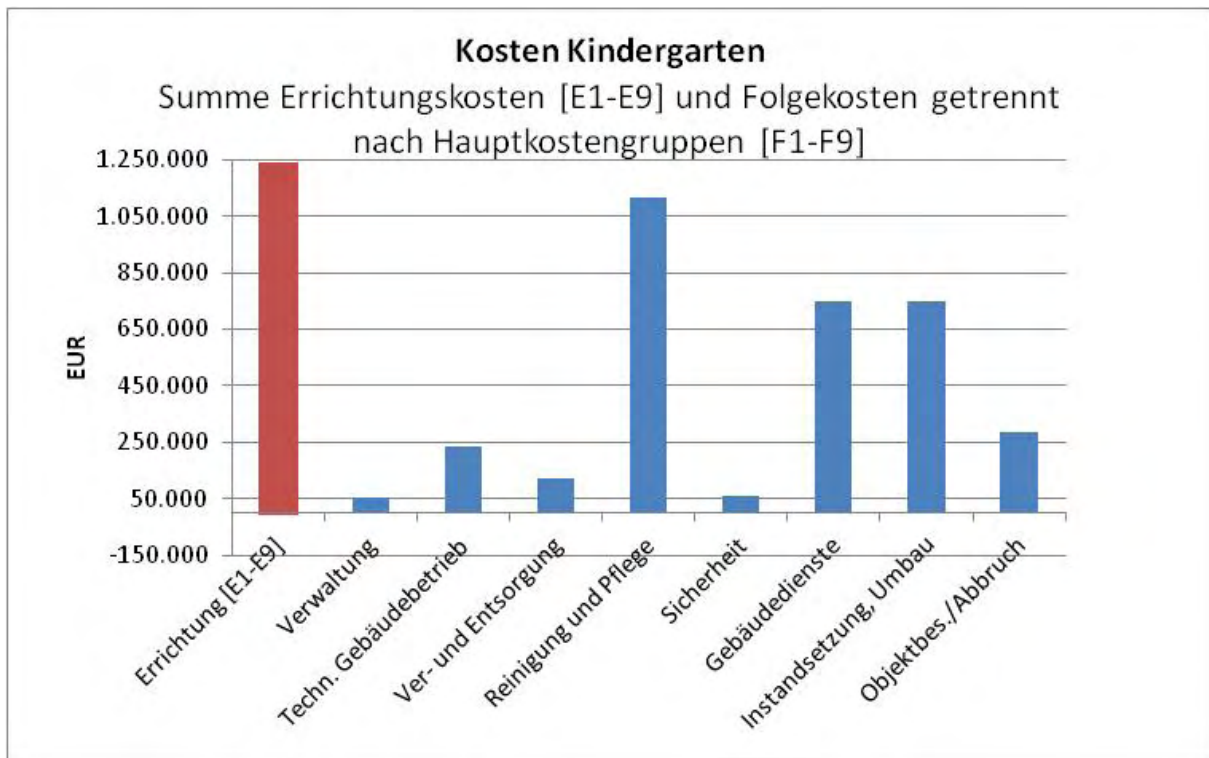


Abbildung 25: Validierung Kindergarten – Summe Errichtungskosten [E1-E9] und Folgekosten getrennt nach Hauptkostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens

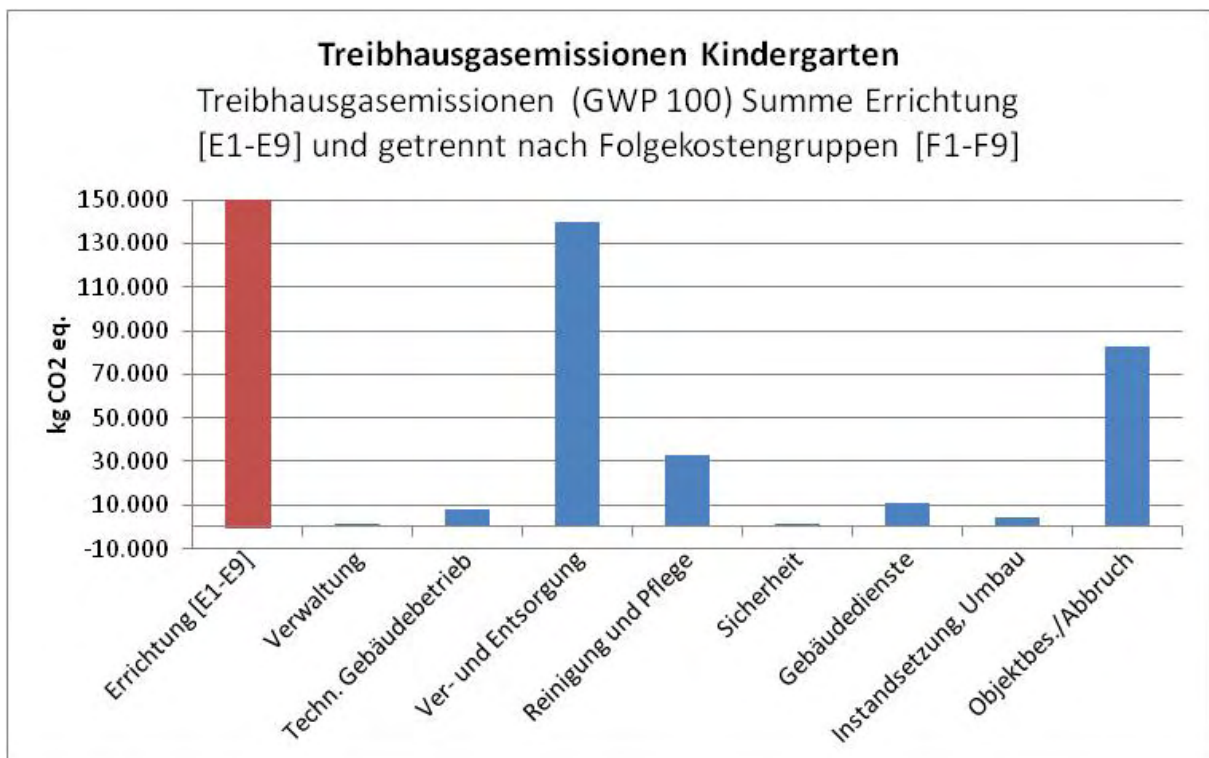
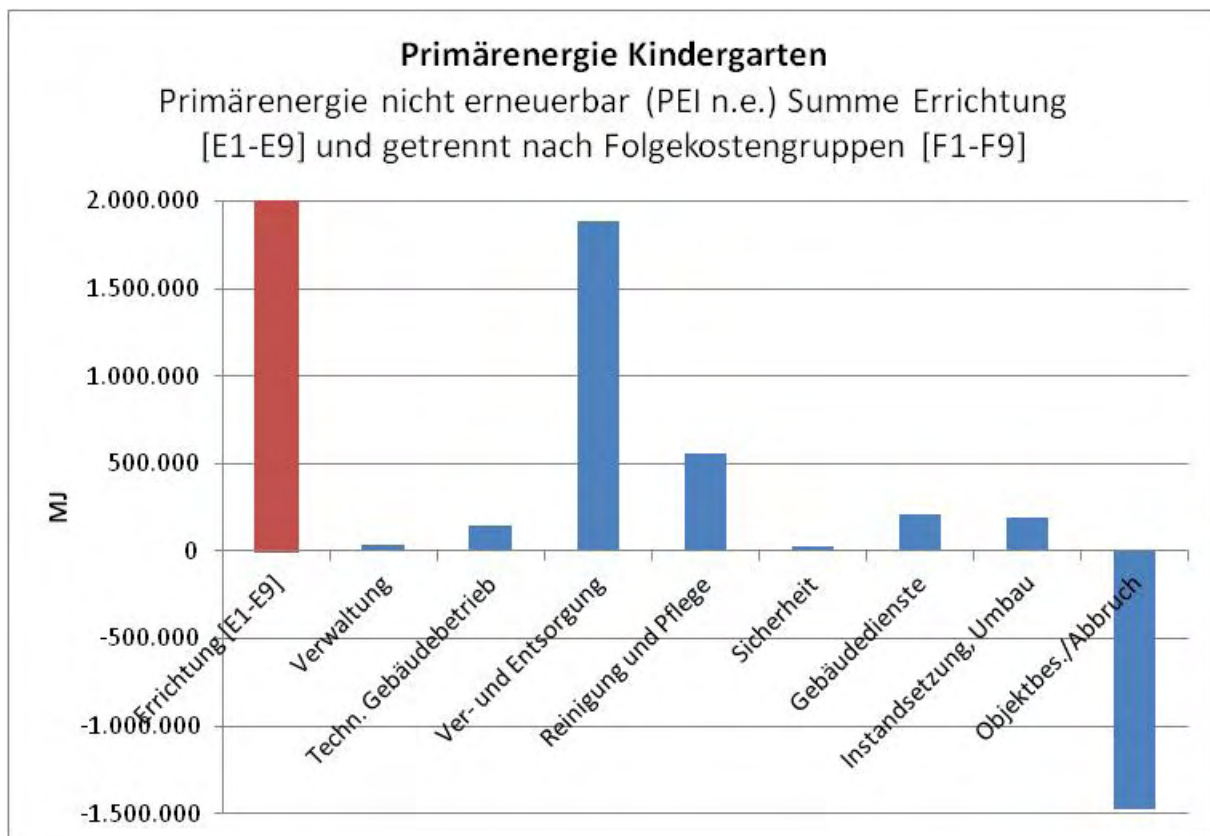


Abbildung 26: Validierung Kindergarten - Treibhausgasemissionen (GWP 100) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens



**Abbildung 27: Validierung Kindergarten – Primärenergie nicht erneuerbar (PEI n.e.) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens**

Während des Betriebs und der Nutzung des Kindergartens verursachen Reinigung und Pflege die höchsten Kosten (vgl. Abbildung 25). Die höchsten Treibhausgasemissionen (vgl. Abbildung 26) und der höchste Primärenergieinput werden durch Ver- und Entsorgung begründet (vgl. Abbildung 27).

Der Primärenergieinput für Objektbeseitigung, Abbruch ist wegen der Berücksichtigung der energetischen Verwertung der verbauten brennbaren Materialien (siehe Kap. 3.3.3 Ökobilanzmodell) für alle getesteten Gebäude negativ und weist für den Kindergarten in Holzbauweise den höchsten absoluten Wert auf.

## 3.6 Einpassung in das Programm

### 3.6.1.1 **Projektziel: Ein standardisiertes ökonomisch-ökologisches Planungswerkzeug**

Ziel im abgeschlossenen Forschungsprojekt LEKOEKOS war es, ein Werkzeug zur Ermittlung standardisierter ökonomischer und ökologischer lebenszyklischer Kennzahlen für Gebäude in der Planungsphase zu schaffen.

### 3.6.1.2 **Ausschreibungsziel Haus der Zukunft plus**

Das übergeordnete Ziel des Forschungs- und Technologieprogramms Haus der Zukunft plus ist das Erforschen der Frage, wie Planung, Errichtung, Nutzung und Betrieb von Gebäuden in Zukunft zum Erreichen der CO<sub>2</sub>-Einsparungsziele beitragen können. Damit ist das Projektziel klar unter dem Schirm dieses übergeordneten Ziels einzuordnen.

### 3.6.1.3 **Ausschreibungsschwerpunkt „Strategien, Ausbildung und Vernetzung“**

Mit den Ergebnissen des Forschungsprojektes LECOEKOS kann

- **Die Ressourcenbasis der Bauwirtschaft**  
in konkreten Planungsprojekten evaluiert werden, und
- **Betriebswirtschaftliche Aspekte von energieeffizienten Gebäuden können im Lebenszyklus (Stichwort Trade-Off zwischen Energie- und Betriebskosten)**  
evaluiert und den zugehörigen Verbräuchen von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten gegenübergestellt werden.

Die folgenden Schwerpunkte der Ausschreibung stellen zentrale Themenstellungen des Forschungsprojektes LEKOEKOS dar:

- **Entwicklung von Instrumenten und Tools zur Planung und Bewertung von Gebäuden**  
Im Rahmen des Projektes wurde ein ökonomisch-ökologisches Gebäudelebenszykluskostenmodell als zentrales Tool zur Planung und Bewertung von Gebäuden entwickelt. Die besondere Stärke des Modells ist eine einfache Struktur mit durchgängiger Einhaltung und Anwendung österreichischer Normen, Richtlinien und Standards.
- **Entwicklung eines „Österreichischen Standards“ für Nachhaltiges Bauen basierend auf TQB- und klima:aktiv-Kriterien und Verbreitung im Internationalen Umfeld**  
Die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Vorprojekt „Nachhaltigkeit massiv, AP11 Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien“, das im Programm „ENERGIE DER ZUKUNFT“ aus dem Klima- und Energiefonds und vom Fachverband der Stein- und keramischen Industrie der Wirtschaftskammer Österreich geförderten wurde, haben

als entscheidenden Spin-Off die ÖNORM B1801-2:2011<sup>57</sup> mit einer grundsätzlich neuen Struktur der Kostengruppen von Lebenszykluskosten gebracht. Da die KonsortialpartnerInnen des LEKOEKOS-Projektes im Bereich der nachhaltigkeitsorientierten Gebäudebewertung und in unterschiedlichen Normungsausschüssen aktiv tätig sind, werden Erkenntnisse und Ergebnisse des LEKOEKOS-Projektes in ähnlicher Weise in die Weiterentwicklung österreichischer Standards einfließen.

- **Analyse der Auswirkung des NutzerInnenverhaltens ... insbesondere bei Dienstleistungsgebäuden .. sowie im Zusammenhang mit Gender- und Diversity-Aspekten**

Ein Schwerpunkt des entwickelten LEKOEKOS-Modells ist die Abbildung Nutzungsabhängiger Energie- und Ressourcenverbräuche während der Lebenszyklusphase „Nutzung und Betrieb“.

### 3.7 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Ausschreibungsziele der 3. Ausschreibung Haus der Zukunft plus:

#### **Wie sollen die Gebäude der Zukunft geplant, genutzt und betrieben werden um die CO<sub>2</sub>-Ziele erreichen zu können?**

Die Frage nach dem Wie ist die Erfassung der Komplexität von Gebäuden in ihrem gesamten Lebenszyklus mit der Erreichung der Ziele ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit und dem Umgang mit gesellschaftlichen infrastrukturellen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Ziel des Forschungsprojektes LEKOEKOS war die Schaffung eines einfachen Werkzeugs zur Errechnung von standardisierten Kennzahlen für ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit, um Gebäudekonzepte schon in der Planung zu untersuchen, und unter Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit eine optimierte Planungsvariante evaluieren zu können.

#### **Die Gebäudefolgekosten betragen ein Vielfaches der Errichtungskosten**

In zahlreichen Forschungsprojekten, die sich mit einer lebenszyklischen Betrachtung von Gebäuden beschäftigt haben, stellte sich heraus, dass für einen Betrachtungszeitraum von ca. 40 Jahren der Barwert der Folgekosten für den Wohnbau das Zwei- bis Vierfache<sup>58</sup>, für

---

<sup>57</sup> ÖNORM B 1801-2:2011-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 2: Objekt-Folgekosten. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2011.

<sup>58</sup> Garzon Siegfried : Lebenszykluskosten: Prognosen und Kostentreiber für Mehrfamilien-Wohnhausanlagen, Master-Thesis, Department für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems, Krems 2010.



Bürogebäude das Drei- bis Sechsfache<sup>59</sup> der Errichtungskosten beträgt. Dieses Verhältnis wurde im Rahmen der Testanwendung des LEKOECON-Tools bestätigt. Beim Testgebäude Büro zeigte sich bei einem Betrachtungszeitraum von 36 Jahren ein Verhältnis Errichtungskosten zu Folgekosten von ca. 1:3, beim betrachteten Wohngebäude liegt das Verhältnis etwa bei 1:2.

### **Die Errichtung verursacht nur einen Teil der lebenszyklischen Umweltwirkungen von Gebäuden**

Die Gegenüberstellung der Umweltwirkungen aus der Errichtung mit jenen aus Nutzung und Betrieb aus der Betrachtung der Testgebäude zeigt, dass die Umweltwirkungen aus der Errichtung hier ebenfalls deutlich weniger als 50 % der der gesamten lebenszyklischen Umweltwirkungen (Betrachtungszeitraum von 36 Jahren) ausmachen.

### **Erste „Nachhaltigkeits-Validierung“ neuer Gebäudekonzepte bereits bei der Planung**

Mit den Ergebnissen des LEKOECON-Projektes können entscheidende Impulse für die Ausbildung und Vernetzung der Planenden gesetzt werden. Darüber hinaus bietet das einfach zu handhabende ökonomisch-ökologische Gebäudelebenszykluskostentool die Möglichkeit einer ersten Validierung über die Erreichung ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeitsziele für neue Fassaden und Haustechnikkonzepte bereits zum frühestmöglichen Zeitpunkt ihres Einsatzes in konkreten Projekten.

Die Nutzungs- und Betriebsphasen von Gebäuden werden für moderne nachhaltige Gebäude häufig mit 40 Jahren oder mit 80 Jahren (inkl. Generalsanierung nach 40 Jahren) angenommen. Basierend auf einem gut überlegten Nutzungskonzept im Sinne einer sozio-kulturellen Nachhaltigkeit, bestimmt das grundlegende Layout des Gebäudekonzepts entscheidend die verschiedenen Lebenszykluskosten und verursachten Umweltwirkungen der Bauelemente. Es kann eine erste Abschätzung erfolgen, welche Konzepte und Elemente Treiber hinsichtlich Kosten und Umweltwirkungen sind. Diese Information bereits in der Planungsphase eines konkreten Gebäudes ermitteln zu können und nicht erst in der Betriebsphase mit überhöhten Ist-Werten konfrontiert zu werden, war ein entscheidendes Ziel des Projektes.

## **3.8 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt**

Bei den Projektverantwortlichen des Konsortiums war die Ausgewogenheit in der Wahrnehmung genderspezifischer Aspekte gegeben.

### **Keine geschlechts-, alters- und gesellschafts- und fachspezifischen Barrieren im Tool**

---

<sup>59</sup> Floegl Helmut: Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien, Forschungsprojekt „Nachhaltig massiv“ des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der Wirtschaftskammer Österreich“, 2008-2009.

Bei der Programmerstellung wurde auf eine möglichst intuitive Bedienbarkeit (Usability) des Programms ohne geschlechtsspezifische, altersspezifische, gesellschaftsspezifische und fachspezifische Barrieren geachtet sowie auf die wissenschaftlich korrekte, klare und einsichtige Darstellung der Ergebnisse für die unterschiedlichen AnwenderInnen (z.B.: Schriftgröße, Anordnung der Eingabefelder, Übersichtlichkeit, erklärender Text, Hilfe-Funktion, Plausibilitätskontrolle bei der Dateneingabe).

Besonders wichtig war die bestmögliche Nutzbarkeit des Tools für Personen mit naturwissenschaftlich/technischem Hintergrund und solche mit wirtschaftlichem Hintergrund. Das stellte eine besondere Herausforderung dar, die entsprechend bearbeitet wurde.

Speziell im Bereich Dissemination wurde auf eine gleichmäßige Verteilung von Männern und Frauen, verschiedenen Altersgruppen und Berufsgruppen geachtet, um die Botschaften entsprechend zu kommunizieren.

### **3.9 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse**

Die Projektergebnisse inklusive dem entwickelten Programm LEKOECS werden Interessierten ohne Kosten auf der Haus der Zukunft-Projektseite zur Verfügung gestellt.

Basierend auf der bereits etablierten Zusammenarbeit zwischen der Donau-Universität Krems und Softwareherstellern der Baubranche (Beispiel ibdata mit der Bausoftware ABK) wird eine Implementierung der frei verfügbaren Berechnungs-Werkzeuge in etablierte bestehende Branchen-Software-Pakete angestrebt. Dadurch kann eine breite praxisingerechte Anwendung effektiv erreicht und die zukünftige Wartung und Weiterentwicklung des Tools gesichert werden.

Für den Fall, dass die Entscheidung für eine gesetzliche Sanierungsverpflichtung auf der Basis von CO<sub>2</sub>-Kennwerten fällt<sup>60</sup>, besteht eine weitere Motivation, das neue Tool als Modul an bestehende Software-Pakete anzudocken, wodurch eine weitere Marktdiffusion erreicht werden kann.

Im Zuge des LEKOECS Projektes wurden verschiedene Verbreitungskanäle genutzt, um möglichst viele Stakeholder und Interessierte zu erreichen. Die unterschiedlichen gesetzten Maßnahmen reichen von Publikationen und Konferenzbeiträgen über die Vorstellung des Tools in Workshops und Seminaren bis hin zu Projektbeiträgen auf den Websites der ProjektpartnerInnen und einer Auszeichnung des LEKOECS-Projektes mit dem 3. Platz der „FM Energy Environment Challenge“ bei den Austrian FM Awards.

---

<sup>60</sup> Vgl. dazu Maßnahmenvorschläge der Energiestrategie Österreich: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Energiestrategie Österreich, Wien 2010.

[http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie\\_oesterreich.pdf](http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf) (abgerufen am 31. März 2014)

Das LEKOECOS-Tool wird von den ProjektpartnerInnen derzeit bereits im Rahmen ihrer unterschiedlichen Lehrtätigkeiten eingesetzt und auch zukünftig in der Lehre an der Donau-Universität Krems zum Einsatz kommen.

## 4 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

### **Frei zugängliches Excel-Tool zur gemeinsamen Berechnung von Lebenszykluskosten und lebenszyklischen Umweltwirkungen**

Zentrales Ergebnis des LEKOECOS-Projekts ist ein öffentlich zugängliches und einfach anzuwendendes Excel-basiertes Werkzeug zur kombinierten ökonomisch-ökologischen Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden.

Dieses wurde BauträgerInnen, PlanerInnen und Facility ManagerInnen gezielt vorgestellt und nach Projektabschluss gemeinsam mit einem Handbuch (welches einen Teil dieses Ergebnisberichts bildet) auf der Haus der Zukunft Projektseite zum Herunterladen zur Verfügung gestellt.

Das LEKOECOS-Projekt wurde bei verschiedenen Veranstaltungen präsentiert und mit dem 3. Platz der „FM Energy Environment Challenge“ bei den Austrian FM Awards prämiert. Neben dem Forschungsbericht sind daher auch diverse Vortragsunterlagen und Publikationen zur Modellentwicklung und -anwendung verfügbar.

### **Gebäudefolgekosten sind ein Vielfaches der Errichtungskosten**

Die Validierung des Gesamtmodells erfolgte in Form von Testanwendungen anhand von ausgewählten Gebäuden mit dem Ziel der Überprüfung der Funktionalität und Anwendbarkeit sowie der Plausibilität einzelner Modellteile. Die Ergebnisse der Testanwendungen untermauern jedoch auch die Resultate früherer Forschungsprojekte zur lebenszyklischen Kostenbetrachtung von Gebäuden, wonach bei einem Betrachtungszeitraum von ca. 40 Jahren der Barwert der Folgekosten für den Wohnbau das Zwei- bis Vierfache<sup>61</sup>, für Bürogebäude das Drei- bis Sechsfache<sup>62</sup> der Errichtungskosten beträgt. So zeigt sich beim Testgebäude Büro bei einem Betrachtungszeitraum von 36 Jahren ein Verhältnis Errichtungskosten zu Folgekosten von ca. 1:3, beim betrachteten Wohngebäude liegt das Verhältnis etwa bei 1:2.

---

<sup>61</sup> Garzon Siegfried : Lebenszykluskosten: Prognosen und Kostentreiber für Mehrfamilien-Wohnhausanlagen, Master-Thesis, Department für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems, Krems 2010.

<sup>62</sup> Floegl Helmut: Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien, Forschungsprojekt „Nachhaltig massiv“ des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der Wirtschaftskammer Österreich“, 2008-2009.

## **Errichtung verursacht nur einen Teil der lebenszyklischen Umweltwirkungen von Gebäuden**

Bei der Testanwendung des LEKOECOS-Modells an drei Testobjekten zeigt sich außerdem bei einer Gegenüberstellung der Umweltwirkungen aus der Gebäudeerrichtung mit jenen aus Nutzung und Betrieb inklusive Objektbeseitigung und Abbruch, dass die Umweltwirkungen aus der Errichtung bei einem Betrachtungszeitraum von 36 Jahren ebenfalls deutlich weniger als 50 % der gesamten lebenszyklischen Umweltwirkungen ausmachen.

Diese Ergebnisse zeigen deutlich die Wichtigkeit der ökonomischen und ökologischen Optimierung von Gebäuden für die Nutzung und den Gebäudebetrieb, die bereits ab der frühesten Planungsphase erfolgen sollte.

## **Synergien der kombinierten ökonomisch-ökologischen Lebenszyklusberechnung**

Es war eine der großen Herausforderungen des LEKOECOS-Projektes, die unterschiedlichen Methoden, Terminologien und Sichtweisen (z.B. in Bezug auf die Definition des Gebäudelebenszyklus) der Kostenrechnung und der Ökologie auf einen Nenner zu bringen. In der Bearbeitung zeigte es sich jedoch, dass sich die Ziele und Anforderungen von Ökologie und Wirtschaftlichkeit bei Betrachtung des gesamten Gebäudelebenszyklus nicht so sehr wie erwartet voneinander unterscheiden. In beiden Fällen steht die Optimierung von lebenszyklischen Ressourcenverbräuchen im Vordergrund. Die betrachteten Ressourcen können dabei ebenso finanzielle Mittel sein wie auch Rohstoffe oder Energie.

Durch die Kombination der ökologischen und ökonomischen Lebenszyklusbetrachtung können zugleich alle Ressourcen über den Gebäudelebenszyklus abgestimmt optimiert werden. Neben der leichteren Vergleichbarkeit ökologischer und ökonomischer Kennwerte stellt auch der reduzierte Aufwand bei der Dateneingabe einen Vorteil dar. Neben der gemeinsamen Verwendung der für beide Berechnungen erforderlichen Basisdaten ergeben sich zusätzliche Synergie-Effekte. So werden im LEKOECOS-Modell etwa Eingabedaten für die Kostenermittlung teilweise aus Zwischenergebnissen der Ökobilanzierung entnommen, umgekehrt werden auch z.B. einige Umweltkennzahlen auf Basis von Kostendaten ermittelt.

Im Zuge der Modellentwicklung zeigte 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 Lebenszykluskostentool LEKOS entsprechend adaptiert und für die Ermittlung von Ökokennzahlen verwendet, und auch ein umgekehrtes Vorgehen ist vorstellbar.

## 5 Ausblick und Empfehlungen

Mit dem LEKOECOS-Modell können neue Erkenntnisse hinsichtlich der ökologisch-ökonomischen Optimierung von Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus gewonnen werden. Schon in der Planungsphase von Gebäuden können auf diese Weise in Zukunft mögliche ökologische-ökonomische Zielkonflikte erkannt und durch die Optimierung der Planung bestmöglich gelöst werden. Mit den Ergebnissen des LEKOECOS-Projektes können entscheidende Impulse für die Ausbildung und Vernetzung der Planenden gesetzt werden.

Im Zuge der LEKOECOS-Modellentwicklung wurde jedoch auch der weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich der kombinierten ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden deutlich. Ein großes Potential sehen die ForschungspartnerInnen sowohl in der konsequenten Weiterentwicklung, als auch in der Anwendung des LEKOECOS-Modells zu Forschungszwecken. Einige Ansätze werden im Folgenden aufgezählt.

### **5.1.1.1 Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung des LEKOECOS-Modells**

#### **Erweiterte Umweltindikatoren**

In der verfügbaren ersten Modellversion wurden das Treibhauspotential (GWP - Global Warming Potential) und der Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Energieträgern (PEI n.e.) als geeignete Umweltindikatoren ausgewählt. Diese Indikatoren werden hier stellvertretend für die Beschreibung der ökologischen Nachhaltigkeit verwendet, in dem Wissen, dass die „Treibhausgaswirksamkeit“ und der energetische Ressourcenverbrauch nur einen Ausschnitt der ökologischen Nachhaltigkeit beschreiben. Nach Praxiserprobung des LEKOECOS-Modells sollten gegebenenfalls weitere Ökobilanzindikatoren (Versauerungspotenzial, Photooxidanzienbildungspotenzial etc.) ergänzt werden. Weitere ökologische Effekte wie z.B. der irreversible Flächenverbrauch werden hier im Sinne der Reduktion von Komplexität auch weiterhin nicht betrachtet werden, dafür stehen Gebäudebewertungssysteme wie z.B. Total Quality Building zur Verfügung.

#### **Externe Kosten**

Eine Weiterentwicklung des LEKOECOS-Modells wäre auch mit dem Ziel der Implementierung einer Modellerweiterung zur Berücksichtigung externer Kosten - z.B. für Treibhausgasemissionen - unter Berücksichtigung der Preissteigerung je nach Zeitpunkt ihres Auftretens vorstellbar.

#### **Haustechniksysteme**

Die ursprünglich geplante detaillierte Modellierung der Haustechnik-Komponenten in Form von eigenen Grundelementen in LEKOECOS wurde wegen der hohen Eingabeerfordernisse für die NutzerInnen nicht weiterverfolgt. Nur mit Umgebungswärme oder Solarenergie betriebene Systeme (Photovoltaikanlage, Solarthermieanlage, Erdwärmetauscher) wurden in eigenen Grundelementen abgebildet. In zukünftigen Forschungsprojekten könnten vorgefertigte Module für Haustechniksysteme für unterschiedliche Gebäudetypen (z.B.

Pelletsesselheizung für Einfamilienhaus-Wohngebäude, Aufstellung im konditionierten Keller, inkl. Verteilleitungen und Wärmebereitstellung mit Fußbodenheizung) erarbeitet werden.

Sofern die Energieumwandlung in Heizwärme innerhalb des Gebäudes stattfindet, werden im LEKOEKOS-Modell die vorgelagerten Umweltwirkungen inklusive des Primärenergieaufwands für die Infrastruktur zur Energieumwandlung aufgrund der Datenverfügbarkeit in der Betriebsphase berücksichtigt. Um diese Umweltwirkungen der Errichtungsphase zuzuordnen und damit die Konsistenz des LEKOEKOS-Modells zu erhöhen, bedarf es weiterer Forschungstätigkeit.

### **Soziokulturelle Nachhaltigkeit**

Im Sinne einer auf der „Triple Bottom Line“ basierenden Nachhaltigkeitsdefinition müsste das kombinierte ökonomisch-ökologische Lebenszyklusmodell LEKOEKOS um die Betrachtung der soziokulturellen Dimension erweitert werden. Derzeit scheitert eine solche Erweiterung an der fehlenden Verfügbarkeit vergleichbarer quantitativer Methoden zur Bestimmung der soziokulturellen Nachhaltigkeit. Die systematische Untersuchung der sozialen Auswirkungen unterschiedlicher ökologisch und ökonomisch bewerteter Varianten könnte jedoch Gegenstand eines weiteren Projektes sein.

#### **5.1.1.2 Modellanwendung**

### **Systematische Analyse der lebenszyklischen Kosten und Umweltwirkungen von Gebäuden**

Mit Hilfe des LEKOEKOS-Modells ist es nun möglich, Umweltwirkungen und Kosten in unterschiedlichen Detailgraden konsistent über den gesamten Gebäudelebenszyklus zu ermitteln und abzubilden. Dies ermöglicht unter anderem eine systematische Analyse der Berechnungsergebnisse für unterschiedliche Gebäude und Gebäudetypen in Bezug auf den Zusammenhang zwischen Umweltwirkungen und Lebenszykluskosten: Gibt es einen erkennbaren Zusammenhang zwischen Lebenszykluskosten und Umweltwirkungen im Gebäudelebenszyklus, oder verhalten sich diese zwei Parameter völlig unabhängig voneinander? Wenn ja, wo genau gibt es Zusammenhänge, worauf sind diese zurückzuführen und wie kann eine Optimierung von Lebenszykluskosten und Umweltwirkungen gleichzeitig erreicht werden?

### **Parameterstudien zur Entwicklung von Planungsempfehlungen für ökonomisch und ökologisch optimierte Gebäude**

Das LEKOEKOS-Modell ermöglicht die Durchführung gezielter Parameterstudien zur Untersuchung der Auswirkungen einzelner Planungsparameter auf Lebenszykluskosten und Umweltwirkungen unterschiedlicher Gebäudetypen zur Formulierung von Planungsempfehlungen.



## 6 Verzeichnisse

### Literaturverzeichnis

Bjørberg, Svejn et al: Nordic Project for LCC, 2004,  
[http://coreweb.nhosp.no/bnl.no/html/files/Lcc\\_brosjyre.pdf](http://coreweb.nhosp.no/bnl.no/html/files/Lcc_brosjyre.pdf) (abgerufen am 20. Februar 2010)

BMVBS (Hrsg.): Externe Kosten im Hochbau. BMVBS-Online-Publikation 17/2010. ISSN 1869-9324.

Boogman Philipp, Mötzl Hildegund: IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen. IBO (Hrsg.). Version 2.2, Stand Juli 2007, mit redaktionellen Überarbeitungen am 9.10.2009 und 24.02.2010.

[http://www.ibo.at/documents/LCA\\_Methode\\_Referenzdaten\\_kurz.pdf](http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz.pdf) (abgerufen am 24.05.2012).

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011, BAND 1.

[http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/dms/bawp/BAWP\\_2011\\_Teil\\_1\\_13.pdf](http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/dms/bawp/BAWP_2011_Teil_1_13.pdf) (abgerufen am 24. März 2014)

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Energiestrategie Österreich, Wien 2010.

[http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie\\_oesterreich.pdf](http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf) (abgerufen am 31. März 2014)

CML Centre of Environmental Science, Leiden University (Guinée, M.; Heijungs, Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Wegener Seeswijk, S.; de Haes, U.): School of Systems Engineering, Policy Analysis and Management, Delft University of Technology (Bruijn, H.); Fuels and Materials Bureau (von Duin, R.); Interfaculty Department of Environmental Science, University of Amsterdam (Huijbregts, M.): Life Cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Final Report, May 2001.

CRB und IFMA Schweiz: Lebenszykluskosten-Ermittlung von Immobilien. Teil 1: Modell, Teil 2: Tool. Herausgeber: IFMA Schweiz, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich 2011.

Downing T.; Anthoff D.; Butterfield R.; Ceronsky M.; Grubb M.; Guo J.; Hepburn C.; Hope C.; Hunt A.; Li A.; Markandya A.; Moss S.; Nyong A.; Tol R.; Watkiss P. (2005): Social Cost of Carbon: A Closer Look at Uncertainty. Final project report. Stockholm Environment Institute, Oxford, November 2005.

Ecoinvent: ecoinvent Data v2.2, Swiss Centre for Life Cycle Inventories (Hrsg.), St.Gallen, 2010.

Floegl Helmut: Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien. Bericht zum Forschungsprojekt „Nachhaltig massiv“ des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der österreichischen Wirtschaftskammer, Krems 2009.

Floegl Helmut: Kennzahlen für ökonomische Nachhaltigkeit von Gebäuden“; Netzwerk bau, Fachzeitschrift für Baumanagement und Bauwirtschaft, 2011/14, S. 38 - 47.

Floegl Helmut: Normative Grundlagen für Lebenszykluskostenberechnungen, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 158. Jg., Heft 1–12/2013.



Garzon Siegfried : Lebenszykluskosten: Prognosen und Kostentreiber für Mehrfamilien-Wohnhausanlagen, Master-Thesis, Department für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems, Krems 2010.

Geissler Susanne et al.: Lebenszykluskosten Prognosemodell. Immobilien-Datenbank-Analysen zur Ableitung lebenszyklusorientierter Investitionsentscheidungen. Österreichische Energieagentur, Wien 2010.

Geissler Susanne: Immobilienbewertung als Instrument zur Forcierung der nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Ressourcen (Schwerpunkt Energie) im Hochbau. Wien: Schriftenreihe des Departments Nr. 13 – August 2007. Department für Bautechnik + Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien 2007.

IBO (Hrsg.): IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen. Boogman Philipp, Mötzl Hildegund. Version 2.2, Stand Juli 2007, mit redaktionellen Überarbeitungen am 9.10.2009 und 24.02.2010, URL:  
[http://www.ibo.at/documents/LCA\\_Methode\\_Referenzdaten\\_kurz.pdf](http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz.pdf)

IBO (Hrsg.): OI3-INDIKATOR Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2011.  
[http://www.ibo.at/de/documents/20111104\\_OI3\\_BerechnungsleitfadenV22.pdf](http://www.ibo.at/de/documents/20111104_OI3_BerechnungsleitfadenV22.pdf) (abgerufen am 24.05.2012).

IBO (Hrsg.): Passivhaus-Bauteilkatalog - Ökologisch bewertete Konstruktionen / Details for Passive-Houses. IBO (Hrsg.). Gefördert durch „Haus der Zukunft“. Springer, Wien 2008.

klima:aktiv: Lebenszykluskostenrechner Heizsystem und Gebäudehülle (Erste Ausgabe auf [www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at) am 1. Februar 2010, Bezeichnung: Lebenszykluskostenrechner\_V.01\_2010.02.01. aktualisierte Version: Lebenszykluskostenrechner\_V.02\_2010.05.08).

Krewitt, W.; Schlomann, B.: Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. Gutachten im Rahmen von Beratungsleistungen für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, Stuttgart und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Abteilung Energiepolitik und Energiesysteme, Karlsruhe. 6. April 2006 (im Mai 2007 ergänzt um Zahlenangaben für das Jahr 2006).

Langdon Davis.: Lebenszykluskalkulation (LCC) als Beitrag zu nachhaltiger Bebauung: Eine allgemeine Methodik. Zusammenfassender Abschlußbericht, im Auftrag der Europäischen Kommission, 2007.

Maibach, M.; Sieber, N.; Bertenrath, R.; Ewringmann, D.; Koch, L.; Thöne, M.; Bickel, P.: Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen von öffentlichen Investitionen. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 203 14 127. Publikation des Umweltbundesamtes, 2007.

Mötzl Hildegund, Lipp Bernhard: Baubook plus, Erweiterung einer umfassenden Wissensbasis für nachhaltiges Bauen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 17/2012. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2011.

Mötzl Hildegund, Pladerer Christian et al.: Assessment of Buildings and Constructions (ABC) – Disposal, Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 28/2010. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2009.

Mutschmann Johann, Stimmelmayer Fritz und Knaus Werner: Taschenbuch der Wasserversorgung. Wiesbaden: Vieweg, 2007.

Neunteufel Roman, Richard Laurent und Reinhard Perfler: Wasserverbrauch und Wasserbedarf - Auswertung empirischer Daten zum Wasserverbrauch. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012.  
[http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/publikationen/wasser/wasserwirtschaft\\_wasserpolitik/wasserverbrauch\\_stud/Wasserverbrauch-und-Wasserbedarf/Wasserverbrauch%20und%20Wasserbedarf.pdf?1=1](http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/publikationen/wasser/wasserwirtschaft_wasserpolitik/wasserverbrauch_stud/Wasserverbrauch-und-Wasserbedarf/Wasserverbrauch%20und%20Wasserbedarf.pdf?1=1) (abgerufen am 24. März 2014)

Pelzeter, Andrea: Lebenszykluskosten von Immobilien, Hrsg: Schulte Karl-Werner, Bone-Winkel Stephan, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 2006. ISBN 3-89984-156-5.

Riegel, Gert Wolfgang: Ein softwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden, Dissertation, Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt, Eigenverlag, Darmstadt 2004. ISBN 3-9808875-4-5.

Seemann Axel: Kostenermittlung für Rückbau- und Abbrucharbeiten. Computerprogramm zur einfachen Abschätzung der Kosten für Rückbau- und Abbruchmaßnahmen bei Wohn- und Verwaltungsgebäuden. Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe, im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Wuerttemberg, (heute: Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz - LUBW). Karlsruhe, 2007.

STATISTIK AUSTRIA: Baupreisindex für den Hochbau, Wohnhaus- und Siedlungsbau.  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/baupreisindex/022822.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/baupreisindex/022822.html) (abgerufen am 31. März 2014)

STATISTIK AUSTRIA: Erzeugerpreisindex für unternehmensnahe Dienstleistungen, Reinigung von Gebäuden, Straßen und Verkehrsmitteln.  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/erzeugerpreisindex\\_dienstleistungen/zeitreihen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/erzeugerpreisindex_dienstleistungen/zeitreihen/index.html) (abgerufen am 31. März 2014)

STATISTIK AUSTRIA: Erzeugerpreisindex Investitionsgüter (EU-harmonisierte Verwendungskategorien).  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/erzeugerpreisindex\\_sachgueter/zeitreihen\\_und\\_verkettungen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/erzeugerpreisindex_sachgueter/zeitreihen_und_verkettungen/index.html) (abgerufen am 31. März 2014)

STATISTIK AUSTRIA: Harmonisierter Verbraucherpreisindex.  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex\\_vpi\\_hvpi/022835.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/022835.html) (abgerufen am 31. März 2014)

Stern, N.: The Economics of Climate Change. The Stern Review. Cabinet Office - HM Treasury, UK 2006. abrufbar unter [www.hm-treasury.gov.uk](http://www.hm-treasury.gov.uk), Rubrik "Independent Reviews".

Trebut Franziska, Geissler Susanne: Sanierungsoffensive zur CO<sub>2</sub>- und Energieeinsparung – Österreich umbauen. Publizierbarer Endbericht – A760440 im Programm NEUE ENERGIEN 2020. Klima- und Energiefonds Wien 2010.

UK Department of Energy and Climate Change: Carbon Valuation in UK Policy Appraisal: A Revised Approach Climate Change Economics, July 2009.

Watkiss P., Anthoff D., Downing T., Hepburn C., Hope C., Hunt A., Tol R.: The Social Cost of Carbon (SCC) Review – Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment. Final Report. AEA Technology Environment, Harwell 2005.

## Normen und Richtlinien

DIN 18960:2008-02 Nutzungskosten im Hochbau, Beuth Verlag, Berlin 2008.

DIN 276-1:2008-12 Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin 2008.

ISO 14040 ÖNORM EN ISO 14040:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen.

ISO 14044 ÖNORM EN ISO 14044:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.

ISO 15686-5:2008-6 Buildings and constructed assets – Service life planning, Part 5: Life-Cycle Costing.

Ökostrom- Einspeisetarifverordnung 2012 – ÖSET-VO 2012: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich Jahrgang 2012, Ausgegeben am 18. September 2012, Teil II 307

Ökostrom- Einspeisetarifverordnung 2012 – ÖSET-VO 2012: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich Jahrgang 2012, Ausgegeben am 18. September 2012, Teil II 503

ÖNORM B 1801-1:2009-06 Bauprojekt und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2009.

ÖNORM B 1801-2:2011-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 2: Objekt-Folgekosten. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2011.

ÖNORM B 1801-4:2014-04 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2014.

ÖNORM B 8110-4:2011-07 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2011.

ÖNORM EN 15804:2012-04 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, Wien 2012.

ÖNORM EN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Ausgabe: 2012-10-01

ÖNORM M 7140:2013-07 Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode - Begriffsbestimmungen, Rechenverfahren. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2013.

Richtlinie 2010/31/EU: Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union, L 153 Volume 53, 18 June 2010.

VDI 3807 - Blatt 2 Energieverbrauchskenwerte für Gebäude. - Juni 1998.

VDI 3807 - Blatt 4 Teilkennwerte elektrische Energie. - August 2008.

VDI 3807 - Blatt 5 Teilkennwerte thermische Energie. - Juni 2012.

## Internetquellen

Baukosteninformationszentrum Deutscher Ingenieurkammern <http://bki.de/> (abgerufen am 25. Mai 2014)

GEFMA: German Facility Management Association <http://www.gefma.de/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014)

<http://alwitra.de/produkte/flachdach-photovoltaiksysteme/> (abgerufen am 20. November 2013)

<http://alwitra.de/produkte/flachdach-photovoltaiksysteme/> , <http://www.photovoltaik-web.de/module/sondermodule/transparente-module-semi-transparente-module.html> (abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien899.pdf> (abgerufen am 20. November 2013; 15:56)

<http://www.arwag.at/Media/BAB-110418.pdf> (abgerufen am 08. April 2014)

<http://www.asperniq.at/fakten/asperniq-zahlen-daten-fakten/> (abgerufen am 08. April 2014)

[http://www.awimmer.at/jart/prj3/wimmer/main.jart?rel=de&j-dummy=active&content-id=1164397024789&projekte\\_id=1233153269041#](http://www.awimmer.at/jart/prj3/wimmer/main.jart?rel=de&j-dummy=active&content-id=1164397024789&projekte_id=1233153269041#) (abgerufen am 08. April 2014)

<http://www.bine.info/publikationen/publikation/fassadenkollektoren-mit-durchblick/> (abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.bine.info/publikationen/publikation/fassadenkollektoren-mit-durchblick/> (abgerufen am 20. November 2013; 16:02)

[http://www.co2-handel.de/article58\\_16667.html](http://www.co2-handel.de/article58_16667.html) (abgerufen am 23. August 2013)

[http://www.co2-handel.de/article58\\_20777.html](http://www.co2-handel.de/article58_20777.html) (abgerufen am 23. August 2013)

[http://www.co2-handel.de/article58\\_21849.html](http://www.co2-handel.de/article58_21849.html) (abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.ecoinvent.org/> (abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/oeko-energie/oekostrom-foerdersystem> (abgerufen am 30. August; 16:22)

<http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/oeko-energie/oekostrom-foerdersystem> (abgerufen am 30.04.2014)

<http://www.ertex-solar.at/> (abgerufen am 20. November 2013; 14:28)

<http://www.ertex-solar.at/> (abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.intep.com/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014)

<http://www.intep.com/14,83,32-Lebenszykluskosten.html> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014)

[http://www.langconsulting.at/files/Networking/Leuchtt%C3%BCrme/Eurogate\\_1710.pdf](http://www.langconsulting.at/files/Networking/Leuchtt%C3%BCrme/Eurogate_1710.pdf) (abgerufen am 08. April 2014)

<http://www.pelzeter.de/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014)

<http://www.photovoltaik-web.de/module/sondermodule/transparente-module-semi-transparente-module.html> (abgerufen am 20. November 2013)

<http://www.pvaustria.at/> (zuletzt abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/strom-verkaufen/> (abgerufen am 30. August 2013)

<http://www.solaranlagen-portal.com/> (zuletzt abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.solarserver.de/themenkanale/photovoltaik.html> (abgerufen am 20. November 2013)

[http://www.sto-industrie.de/114306\\_DE-Uebersicht-Photovoltaik.htm](http://www.sto-industrie.de/114306_DE-Uebersicht-Photovoltaik.htm) (zuletzt abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.solarserver.de/themenkanaele/solarthermie.html> (zuletzt abgerufen am 31. März 2014)

<http://www.solarserver.de/themenkanaele/solarthermie.html> (abgerufen am 20. November 2013)

<http://www.solarwaerme.at/> (abgerufen am 20. November 2013)

<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien899.pdf> (zuletzt abgerufen am 31. März 2014)

[http://www.sto-industrie.de/114306\\_DE-Uebersicht-Photovoltaik.htm](http://www.sto-industrie.de/114306_DE-Uebersicht-Photovoltaik.htm) (abgerufen am 20. November 2013)

[http://www.wienerbezirksblatt.at/media/file/123\\_Eurogate\\_NEU\\_pt.pdf](http://www.wienerbezirksblatt.at/media/file/123_Eurogate_NEU_pt.pdf) (abgerufen am 08. April 2014)

IFMA: International Facility Management Association <http://www.ifma.org/> (zuletzt abgerufen am 30. Jänner 2014)

LEGEP (2013): Demoversion der Software, <http://www.legep.de> (abgerufen am 17. Jänner 2014)

Sekundärmarktrendite Bund Österreich.

[http://kurse.banking.co.at/023/Default.aspx?action=securityDetails&id=tts-2237706&menuId=7\\_2&pathName=Sekund%C3%A4rmarktrendite%20Bund&lang=de](http://kurse.banking.co.at/023/Default.aspx?action=securityDetails&id=tts-2237706&menuId=7_2&pathName=Sekund%C3%A4rmarktrendite%20Bund&lang=de) (abgerufen am 31. März 2014)

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Kosten im Gebäudelebenszyklus nach ÖNORM B 1801 Teil 2 .....  | 21 |
| Abbildung 2: Brennstoffkosten und Gesamtheizkosten pro Jahr .....  | 27 |
| Abbildung 3: Eingabe- und Ergebnismaske von ECOSOFT .....  | 28 |
| Abbildung 4: Schematische Darstellung der Eingaben und Ergebniswerte (Teil 1) .....  | 29 |
| Abbildung 5 Schematische Darstellung der Eingaben und Ergebniswerte (Teil 2) .....   | 30 |
| Abbildung 6: Ökologische und ökonomische Gebäudelebenszyklusbetrachtung .....  | 36 |
| Abbildung 7: Kosten und Umweltwirkungen im Gebäudelebenszyklus .....   | 37 |
| Abbildung 8: Umweltwirkungen der Produkte, Prozesse und Dienstleistungen des Gebäudelebenszyklus .....   | 38 |
| Abbildung 9: Beispielhafte Darstellung der ökologischen und ökonomischen Modellergebnisse .....  | 41 |
| Abbildung 10: Passivhaus-Kindergarten Oberrohrbach, Quelle: ah3 .....  | 79 |
| Abbildung 11: Passivhaus Wohnpark Lissagasse, Quelle: ARWAG Wohnungen, Foto: Irene Schanda, <a href="http://www.arwag.at/Wohnungen/print/?pr=3229&amp;printSite=true">http://www.arwag.at/Wohnungen/print/?pr=3229&amp;printSite=true</a> .....  | 80 |
| Abbildung 12: Bürogebäude AspernIQ, Quelle: Kurt Kuball .....  | 81 |
| Abbildung 13: Validierung Bürogebäude, Gegenüberstellung der Kosten und Umweltwirkungen aus Errichtung [E1-E9] und Nutzung und Betrieb [F1-F9] (inkl. Abbruch und Entsorgung) über den Gebäudelebenszyklus von 36 Jahren, Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes ..... | 85 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 14: Validierung Bürogebäude, Errichtungskosten nach Hauptkostengruppen [E0-E9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes .....   | 85 |
| Abbildung 15: Validierung Bürogebäude – Summe Errichtungskosten [E1-E9] und Folgekosten getrennt nach Hauptkostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes .....   | 86 |
| Abbildung 16: Validierung Bürogebäude –Treibhausgasemissionen (GWP 100) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes.....   | 86 |
| Abbildung 17: Validierung Bürogebäude – Primärenergie nicht erneuerbar (PEI n.e.) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Bürogebäudes.....   | 87 |
| Abbildung 18: Validierung Wohngebäude, Gegenüberstellung der Kosten und Umweltwirkungen aus Errichtung [E1-E9] und Nutzung und Betrieb [F1-F9] (inkl. Abbruch und Entsorgung) über den Gebäudelebenszyklus von 36 Jahren, Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes..... | 88 |
| Abbildung 19: Validierung Wohngebäude, Errichtungskosten nach Hauptkostengruppen [E0-E9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.....   | 88 |
| Abbildung 20: Validierung Wohngebäude – Summe Errichtungskosten [E1-E9] und Folgekosten getrennt nach Hauptkostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.....   | 89 |
| Abbildung 21: Validierung Wohngebäude - Treibhausgasemissionen (GWP 100) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes.....   | 89 |
| Abbildung 22: Validierung Wohngebäude – Primärenergie nicht erneuerbar (PEI n.e.) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines mehrgeschossigen Wohngebäudes. ....   | 90 |
| Abbildung 23: Validierung Kindergarten, Gegenüberstellung der Kosten und Umweltwirkungen aus Errichtung [E1-E9] und Nutzung und Betrieb [F1-F9] (inkl. Abbruch und Entsorgung) über den Gebäudelebenszyklus von 36 Jahren, Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens.....                | 91 |
| Abbildung 24: Validierung Kindergarten, Grund- und Errichtungskosten nach Hauptkostengruppen [E1-D9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens .....  | 91 |
| Abbildung 25: Validierung Kindergarten – Summe Errichtungskosten [E1-E9] und Folgekosten getrennt nach Hauptkostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für  |    |

|  |    |
|--|----|
| Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens.....  | 92 |
| Abbildung 26: Validierung Kindergarten - Treibhausgasemissionen (GWP 100) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens.....          | 92 |
| Abbildung 27: Validierung Kindergarten – Primärenergie nicht erneuerbar (PEI n.e.) Summe Errichtung [E1-E9] und getrennt nach Folgekostengruppen [F1-F9], Quelle: LEKOECOS für Berechnung und Erstellung auf Basis von zur Verfügung gestellten Daten eines Kindergartens..... | 93 |

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Umweltindikatoren nach ÖNORM EN 15978.....  | 19 |
| Tabelle 2: Lebenszyklusphasen nach EN 15978 .....  | 19 |
| Tabelle 3: Zusammenstellung und systematischer Vergleich der wesentlichen Modellcharakteristika der Basismodelle.....  | 33 |
| Tabelle 4: Zusammenstellung und systematischer Vergleich der wesentlichen Modellcharakteristika bestehender Programme zur ökologischen und wirtschaftlichen Betrachtung von Energieeffizienzmaßnahmen .....  | 35 |
| Tabelle 5: Externe Kosten der Emission von CO <sub>2</sub> bzw. CO <sub>2</sub> -Äquivalenten in EUR/t nach verschiedenen Quellen.....   | 39 |
| Tabelle 6: Beispielhafte Darstellung der Ökokennzahlen für die Wärmebereitstellung. Der Datensatz „Gas konventionell“ in LEKOECOS enthält die Umweltwirkungen aus der Herstellung des Kessels und der Wärmeverteilung ebenso wie aus dem Betrieb des Kessels ..... | 44 |
| Tabelle 7: Energiebedarfsprofil zur Kühlung der Nutzungseinheiten in kWh/m <sup>2</sup> a (Bezugsfläche: BGFgekühlt).....  | 46 |
| Tabelle 8: Energiebereitstellungsprofile für Stromertrag pro m <sup>2</sup> Modulfläche und Jahr (Nutzenergie) im LEKOECOS-Modell.....   | 48 |
| Tabelle 9: Ökologische Aufwendungen für die Herstellung eines Wechselrichters, der Elektroinstallationen für eine PV-Anlage und einer Schrägdachkonstruktion im Vergleich zur Herstellung von 1 m <sup>2</sup> Photovoltaikpaneel, mono-Si.....                    | 49 |
| Tabelle 10: Energiebereitstellungsprofile für den Wärmeertrag pro m <sup>2</sup> Kollektorfläche und Jahr (Nutzenergie) im LEKOECOS-Modell.....  | 50 |
| Tabelle 11: Zuordnung der Elemente in den Kostenbereichen Bauwerk-Technik (E3) und Bauwerk-Ausbau (E4) .....   | 52 |
| Tabelle 12: Annahmen zum Energiebedarf eines durchschnittlichen Bürogebäudes zur Ermittlung der Umweltwirkungen aus der Bürotätigkeit eines Dienstleistungsunternehmens  | 56 |
| Tabelle 13: Angenommene Transportweiten für verschiedene Kategorien von Baumaterialien .....   | 58 |
| Tabelle 14: Farbmarkierung der Eingabemaske im LEKOECOS-Tool.....  | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 15: Farbmarkierung der unterschiedlichen Tabellenblätter im LEKOECOS-Tool.....        | 64 |
| Tabelle 16: Voreinstellungswerte der finanzmathematischen Parameter in LEKOECOS.....          | 70 |
| Tabelle 17: Voreinstellungswerte in LEKOECOS für Wasserverbrauch und Abfallaufkommen<br>..... | 71 |
| Tabelle 18: Gebäude für die Testanwendung, Quelle: Österreichische Energieagentur .....       | 78 |

## **7 Anhang**

### **7.1 Anhang 1 Dokumentation Grundelemente-Katalog**

### **7.2 Anhang 2 Dokumentation Modellvalidierung - Eingabedaten und Detailergebnisse der Testgebäude**