
Lebenszyklusanalyse eines Gebäudes

T. Schrag^a, E. Heiduk^b, W. Gollner^c, H. Leindecker^d, C. Wartha^e, S. Schinnerl^d, E. Stocker^a

^aFachhochschule Kufstein, Andreas-Hofer Straße 7, A-6330 Kufstein, AUSTRIA

^bFachhochschule Kärnten, Villacher Straße 1, A-9800 Spittal, AUSTRIA

^cFachhochschule Joanneum, Alte Poststraße 149, A-8020 Graz, AUSTRIA

^dFH OÖ, Fakultät für Technik & Umweltwissenschaften, Stelzhamerstraße 23, A-4600 Wels, AUSTRIA

^eFachhochschulstudiengänge Burgenland, Studienzentrum Pinkafeld, Steinamangerstrasse 21, A-7423 Pinkafeld, AUSTRIA

KURZFASSUNG/ABSTRACT:

Das aktuelle Forschungsprojekt „Lebenszyklusorientierte Qualitätsoptimierung von Gebäuden (kurz: LQG)“, welches überwiegend von der FFG gefördert wird und an dem fünf Fachhochschulen beteiligt sind, beschäftigt sich mit der ökologischen, ökonomischen und qualitativen Optimierung von Gebäuden über deren gesamten Lebenszyklus hinweg. In einem Workshop, der im Rahmen des Passivhausforums Tirol durchgeführt wurde, wurden erste Ergebnisse des Forschungsprojektes anhand eines speziell vorbereiteten Excel-Tools exemplarisch vorgestellt. Dafür wurde ein Energieausweis für ein kleines Bürogebäude erstellt und mit den erzielten Daten eine Analyse hinsichtlich LCC und LCA durchgeführt. Die Ergebnisse daraus werden in diesem Beitrag ausschnittsweise dokumentiert und diskutiert.

1 EINLEITUNG

Bei Bauherrenentscheidungen und Beurteilungen von Planungsalternativen dienen bisher primär Investitionskosten und Ausstattungsmerkmale als Entscheidungsgrundlage. Bei einer lebenszyklusorientierten Gebäudeplanung ist, trotz einer Vielzahl bereits abgedeckter Einzelbereiche, das Zusammenführen der sehr komplexen Informationen nach wie vor sehr schwierig. Diese „Überforderung“ der einzelnen Planer verhindert bislang eine breite Anwendung.

In einem Workshop auf dem 4. Tiroler Passivhausforum wurde ein Excel-Tool vorgestellt, welches sich Grundsätzlich aus Add-On Modulen für LCC und LCA zusammen setzt und auf dem OIB-Excel Dokument zur Energieausweisberechnung für Nicht-Wohngebäude basiert [1].

2 AUSGANGSLAGE

Für die Berechnungen wurde ein beispielhaftes kleines Bürogebäude mit Standort Innsbruck und folgenden Randbedingungen gewählt:

Die Außenabmessungen betragen 12 x 8 x 7 m und in der Südfassade sind 8 Fenster mit jeweils 1,2 x 1,4 m integriert. Die Gebäudehülle, herkömmliche mittelschwere Bauweise, besteht in der Außenwand aus Hochlochziegeln mit einem Wärmedämmverbundsystem aus EPS, sowie einfachem Flachdach mit Stahlbetondecke und einfacher Stahlbetonbodenplatte, jeweils ebenfalls mit EPS bzw. XPS gedämmt. Zwischendecke und Innenwände wurden zur Vereinfachung vernachlässigt, da der Focus der Analyse bei der Gebäudehülle bzw. der vorgesehenen Wärmeerzeugung und Raumlüftung lag.

3 ZIEL DER ANALYSE

Ziel war der Vergleich hinsichtlich Energieeffizienz, LCC und LCA von 2 Varianten mit verschiedenen thermischen Qualitäten, wobei lediglich die Dämmstärke der Gebäudehülle, sowie einzelne angeführte Parameter (zB. n50-Wert), zu ändern waren. Die drei Stufen zur Herangehensweise sind in der nachstehenden Abbildung nochmals dargestellt.

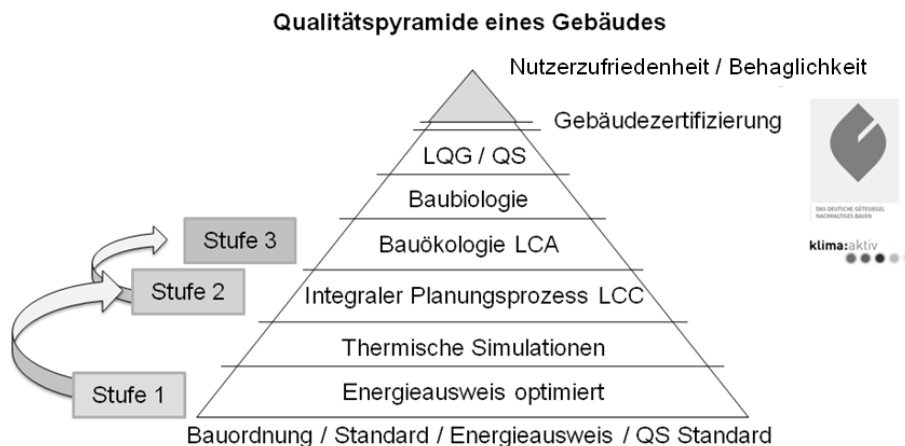


Abbildung 1. Qualitätspyramide einer Gebäudes

4 ERGEBNISSE AUS DER BERECHNUNG

Nachfolgend wird aufgrund des Umfangs nur auf eine Variantenanalyse eingegangen. Diese Variantenanalyse behandelt ein Ausgangsbeispiel „Standard“, welches auf Passivhausstandard optimiert und analysiert werden soll.

4.1 Stufe 1: Energieausweis

Das Ausgangsbeispiel mit annähernd den Mindest-U-Werten laut OIB-RL6 bzw. ÖNORM B 8110-1 erreicht nicht die Mindestanforderungen für den HWB und wird daher nicht als Standard definiert. Aus diesem Grunde ist Variante A mit üblichen Dämmstärken und zusätzlich mit einer Lüftungsanlage versehen. Dieser Gebäudetyp dient als Ausgangsstandard.

Bei der Berechnung der Variante B wurde eine deutliche Verbesserung der thermischen Qualität angestrebt. Dabei wurden gegenüber dem Beispiel A zudem Fenster mit besseren Werten eingesetzt und die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle verbessert. Die Variante B entspricht dem Passivhausstandard. Die Ergebnisse der einzelnen Energieausweisberechnungen können der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 1. Ergebnisse aus Energieausweis

Gebäude:	Passivhaus		
Varianten:	Ausgang	A	B
Bauteile:			
Dämmstärke Boden [cm]	6	8	30
UW Boden [W/m2K]	0,38	0,32	0,12
Dämmstärke Wand [cm]	7	16	35
UW Wand [W/m2K]	0,34	0,19	0,1
Dämmstärke Dach [cm]	20	26	45
UW Dach [W/m2K]	0,19	0,15	0,09
Fenster:			
UW Fenster [W/m2K]	1,7	1,1	0,8
G-Wert Fenster	0,6	0,55	0,5
BPH:			
n50-Wert	3	1,5	0,6
LVn:			
mech.Lüftung/WRG	nein	0,7	0,7
Heizung:			
Wärmeabgabe	Radiatoren	Radiatoren	Flächenheizg
Regelung	Handregel.	Handregel.	optimiert
Systemtemperaturen	70/55	70/55	35/28
Wärmeverteilung WD	1/3	1/3	3/3
Armaturen	ungedämmt	ungedämmt	gedämmt
Kessel	Pelletsk.1994	Pelletsk.1994	Pelletsk.1994
Kesselleistung	>20 kW	>20 kW	<20 kW
TW (Warmwasser):			
Armaturen	1/3	1/3	3/3
	ungedämmt	ungedämmt	gedämmt
	direktelekt.	direktelekt.	direktelekt.
Energieausweis:			
Referenzklima:			
HWB [kWh/m3a]	22,2	11,2	4,2
Anforderung HWB erfüllt?	nein	ja	ja
HWB spez. Büronutzung [kWh/m2a]	67,4	30,4	8
HWB spez. Wohnnutzung [kWh/m2a]	77,6	39,3	14,6
Standortklima, Büronutzung:			
HWB spez.[kWh/m2a]	83,2	38,4	10
HWB ges.[kWh/a]	15973	7379	1928

WWWB ges. [kWh/a]	904	904	904
HTEB ges. [kWh/a]	10292	8571	2409
HEB ges. [kWh/a]	27589	17249	5571
HEB spez. [kWh/m2a]	143,7	89,8	29
RLTEB ges. [kWh/a]	0	2126,9	2183
RLTEB spez. [kWh/m2a]	0	11,1	11,4

4.2 Lebenszyklusanalysen

Die erforderlichen Kennwerte für die weitergehenden Lebenszyklusanalysen hinsichtlich Kosten und Ökologie wurden mit den jeweiligen Bauteilen und der zur Auswahl stehenden technischen Ausrüstung verknüpft, sodass die Endwerte direkt auslesbar waren. Als Betrachtungszeitraum wurde in beiden Beispielen 50 Jahre angesetzt.

4.2.1 Stufe 2: Ergebnisse aus Lebenszykluskostenanalyse

Der Ansatz zur Lebenszykluskostenanalyse setzt sich zusammen aus einem Bottom-Up und einem Top-Down Approach. Ein Bottom-Up Approach eignet sich zur Bewertung einzelner Bauteile, die jeweils mit Kostenwerten [2] aus Herstellung, Betrieb und Rückbau, sowie Lebensdauerdaten [3] hinterlegt sind. Der Top-Down Approach ist für gering bis mittel detaillierte Objektprognosen geeignet und orientiert sich an vorhandenen Benchmarks [4]. Für die Lebenszykluskostenanalyse in diesem Beispiel wurden beide Ansätze miteinander verbunden, um so auf der einen Seite detailliertere Prognosewerte und auf der anderen Seite Werte über das Gesamtgebäude zu erhalten. Die einzelnen Ergebnisse werden in den nachstehenden Übersichten dargestellt und folgend diskutiert.

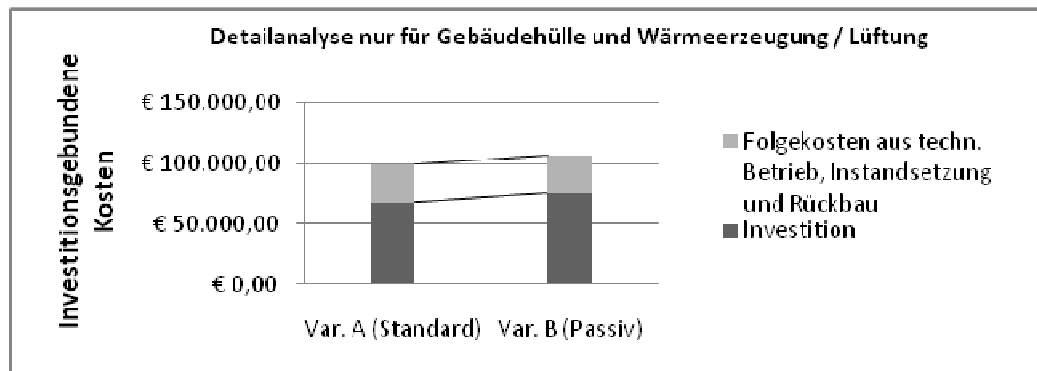


Abbildung 2. Detailanalyse

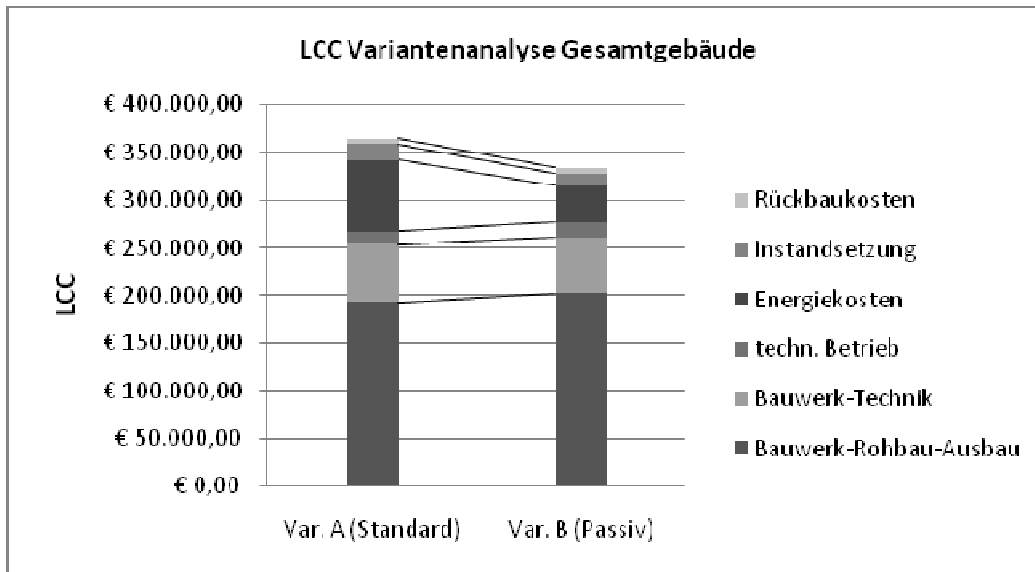


Abbildung 3. LCC Gesamtanalyse

4.2.2 Diskussion der Ergebnisse aus der Lebenszykluskostenanalyse

Aus der Lebenszykluskostenanalyse der Variante Passivgebäude hat sich herausgestellt, dass die Passivhauskonstruktion im Bereich der Gebäudehülle naturgemäß zu Mehrkosten führt (siehe Abbildung 2), demgegenüber die Gesamtkosten des Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus (siehe Abbildung 3) aufgrund erheblicher Energieeinsparungen beim Passivhaus ersichtlich geringer ausfallen. Obgleich etwaige kostenmäßige Vorteile aus Förderungen nicht berücksichtigt sind. Außerdem wurde im Passivhaus ein herkömmliches Wärmeverteilungssystem angesetzt. Dem gegenüber könnte ein vereinfachtes Wärmeverteilungssystems (z.B.: Nachheizung im Lüftungssystem durch Kompaktgerät) eingesetzt werden, wodurch die Investitionskosten deutlich gesenkt werden können.

Am Ende ist noch anzumerken, dass in diesem Beispiel Kosten für Reinigung und sonstige facility Services nicht berücksichtigt wurden, zumal diese in diesem Beispiel keine Auswirkungen aufgrund der bautechnischen Variantenänderung haben.

4.2.3 Stufe 3: Ergebnisse aus der Ökologischen Analyse (Life Cycle Assessment)

Die ökologische Bewertung der unterschiedlichen Varianten wurde mit den Ergebnissen verschiedener Ökobilanzen errechnet. Die Daten für Materialien und Recycling wurden der Datenbank Ecoinvent 2.0 entnommen [5]. Die Daten für die Energieversorgung entstammen eigenen Arbeiten. Es wurden vier verschiedene Kategorien errechnet.

Kategorie 1 – Herstellung: Hier wurden die gesamten Aufwendungen für die Herstellung der Baumaterialien berücksichtigt. Die einzige Aufwendung, welche in diesem einfachen Beispiel nicht berücksichtigt wurde, war der letzte Transport der Materialien zur Baustelle. Für Baumaterialien, deren Lebensdauer kleiner als der Betrachtungszeitraum ist, werden hier die gesamten Auswirkungen der Herstellung einmal verrechnet. Baumaterialien, deren Lebensdauer größer als der

Betrachtungszeitraum ist, werden nur anteilig verrechnet (z.B.: Betrachtungszeitraum 50 Jahre, Lebensdauer 80 Jahre => 5/8 der Aufwendungen der Herstellung werden verrechnet).

Kategorie 2 - Rückbau: Auch hier wurden die gesamten Aufwendungen für den Abbau der Materialien, Zerlegung, Zerkleinerung, Aufarbeitung bis einschließlich Deponierung berücksichtigt. Die Verrechnung erfolgt analog der Verrechnung der Kategorie 1.

Kategorie 3 – Instandhaltung: Hier wurden nur die Aufwendungen für den Austausch der Materialien aufgrund der gegenüber dem Betrachtungszeitraum kürzeren Lebensdauer betrachtet. Instandhaltungsarbeiten wurden in diesem einfachen Modell nicht berücksichtigt. Die Aufwendungen für den Austausch ergeben sich einerseits aus den Aufwendungen für den Abbau der Materialien, der Zerlegung, Zerkleinerung, Aufarbeitung bis einschließlich Deponierung und andererseits aus den Aufwendungen der Herstellung der neuen Materialien.

Kategorie 4 – Energieversorgung: Die gesamte Bereitstellungskette inklusive notwendige Infrastruktur wurden hier in die Bewertung miteinbezogen.

Die ökologische Analyse erfolgte anhand von sechs Kriterien:

- Treibhauseffekt (Global Warming Potential – GWP) [kg CO₂- Äquivalent]
- Photooxidantien (Photochemical Ozone Creation Potential – POCP) [kg Ethylen- Äquivalent]
- Versäuerung (Acidification Potential – AP) [kg SO₂- Äquivalent]
- Eutrophierung (Nutrifcation Potential – NP) [kg PO₄(Phospat)- Äquivalent oder kg NO_x(Stickoxid)- Äquivalent]
- Stratosphärischer Ozonabbau (Ozone Depletion Potential - ODP) [kg CFC (Chlorfluorcarbon) 11- Äquivalent]
- Kumulierter Energieverbrauch fossil (KEA) [MJ]

Beispielhaft zeigt die folgende Abbildung die Auswirkungen hinsichtlich Treibhauseffekt (Global Warming Potential - GWP).

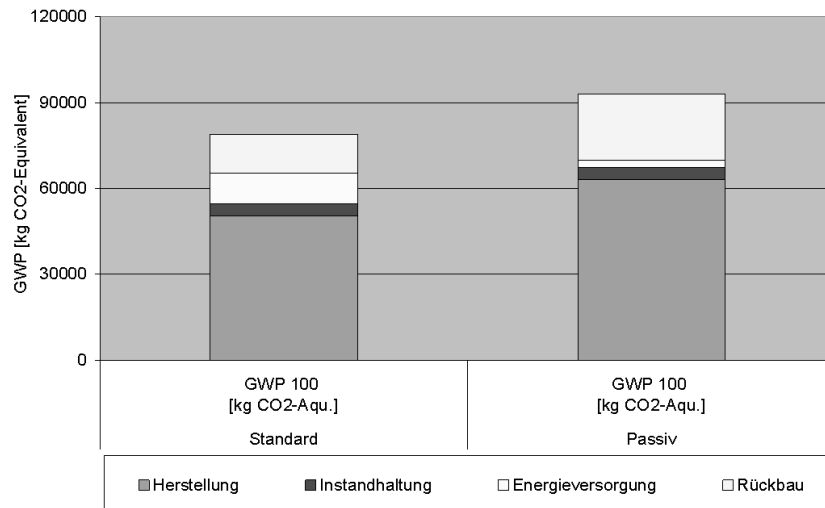


Abbildung 4. LCA Analyse - Kriterium GWP. Energieversorgung mit Holzpellets.

4.2.4 Diskussion der Ergebnisse aus der Ökologischen Analyse

Wie in Abbildung 4 dargestellt, schneidet die Passivhausvariante beim Treibhauspotential (GWP 100) ersichtlich schlechter ab. Der Grund liegt darin, dass für die Erzeugung der Dämmmaterialien hauptsächlich fossile Energie verwendet wird und während der Nutzungsphase die notwendige Heizenergie durch Pellets aufgebracht wird. Da Pellets aus CO₂-neutraler Rohstoffen hergestellt werden, ist der erhöhte CO₂-Ausstoß bei der Herstellung des erhöhten Dämmmaterialverbrauchs während der Nutzungsphase nicht wieder egalierbar. Werden jedoch bei dieser Variante Erdgas als Energieversorgung eingesetzt, so schneidet die Variante mit dem geringeren Energieverbrauch in der Kategorie Treibhauspotential (vgl. Abbildung 5) und fossiler Energieverbrauch, aufgrund der ansteigenden absoluten Werte, in Relation deutlich besser ab.

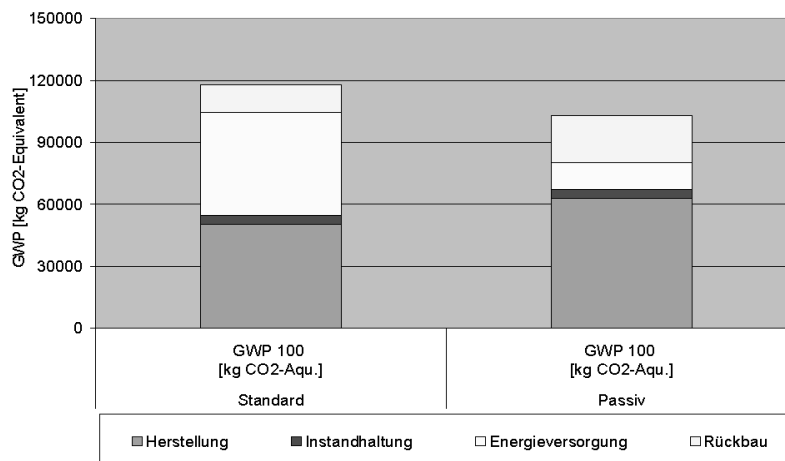


Abbildung 5. Vergleich Treibhauspotential der Gebäudevariante Passivhaus bei einer Energieversorgung mittels Erdgas.

Das bedeutet, es ist aus ökologischer Sicht nicht sinnvoll nur die Materialien für die Gebäude, den Aufbau des Gebäudes und den Rückbau des Gebäudes zu betrachten. Auch die Nutzung des Gebäudes, der daraus resultierende Energieverbrauch und die Art der Energieabdeckung ist ebenfalls ein wesentliches Kriterium für eine ökologische Bewertung.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mittels Energieausweis wurden Ausgangsdaten für ein kleines Bürogebäude erstellt. Als Vergleichsobjekte dienten ein Standardgebäude (A) und ein Gebäude mit Passivhausstandard (B). Die Lebenszykluskosten sind beim Passivhausstandard mit höheren Investitionskosten im Gegensatz zum Standard niedriger. In dieser Berechnung ist noch keine Berücksichtigung der Qualitätsverbesserung, wie Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit, enthalten.

Aus ökologischer Hinsicht zeigt sich, dass das Passivhaus in einigen Punkten eine Verbesserung (AP, Eutrophierung), aber auch Verschlechterungen (POCP, KEA) sowie in etwa gleich bleibende Werte (GWP, Ozonabbau) aufweisen kann. Dieses Ergebnis resultiert u.a. aus der Tatsache, dass als Energieträger für die Wärmeversorgung ein „CO₂-neutraler Brennstoff“, Pellets, eingesetzt wurden. Wird bei diesen Varianten Erdgas als Energieträger für die Energieversorgung eingesetzt, zeigt die Variante Passivhaus deutliche bessere Ergebnisse in den Kategorien (GWP, Ozonabbau und KEA) im Vergleich zum Standard. Ob die Beschränkung der Bilanzgrenzen auf das Gebäude zielführend ist, bleibt der Interpretation des Ergebnisses überlassen. Wie weit sich der Ersatz des Ziegels durch Massivholz oder die Verwendung von anderen Dämmstoffen auswirkt, wurde noch nicht untersucht, es ist aber anzunehmen, dass hier deutliche Veränderungen eintreten. Weiters soll noch der Einfluss von Fassadenelementen in der Südfassade geprüft werden (beispielsweise durch eine Alufassade).

Alle in diesem Artikel ausgewiesenen Kennwerte gelten nur für die hier definierten Varianten des Ausgangsbeispiels und sollten nicht für abweichende Ausführungen herangezogen werden.

6 LITERATURVERWEISE

- [1] OIB EXCEL-Schulungs-Tool für Nicht-Wohngebäude. URL: <http://www.oib.or.at/> [Abfragedatum: 03.02.2010]
- [2] BKI (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern), VDI 2067 und eigene Erfahrungswerte
- [3] Leitfaden Nachhaltiges Bauen. URL: http://www.bmvbs.de/Bauwesen/Arbeitshilfen_-Leitfaeden_-Ric/Leitfaeden-,3016.4165/Leitfaden-Nachhaltiges-Bauen/ [Abfragedatum: 03.02.2010], VDI 2067 und eigene Erfahrungswerte
- [4] Jones Lang Lasalle. OSKAR 2008. Büronebenkostenanalyse, CREIS. ÖBIX 2004. Österreichische Bürokostenindex 2004 und eigene Erfahrungswerte
- [5] URL: <http://www.ecoinvent.org/database/> [Abfragedatum: 03.02.2010]