
Externe Kosten und Gesamt- Umweltbelastung von Gebäuden

Autoren

Franziska Wyss, Rolf Frischknecht

Kunde

Amt für Hochbauten Zürich

Uster, 24. Mai 2013

Impressum

Titel	Externe Kosten und Gesamt-Umweltbelastung von Gebäuden
Autoren	Franziska Wyss, Rolf Frischknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster www.treeze.ch Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Amt für Hochbauten Zürich
Copyright	All content provided in this report is copyrighted, except when noted otherwise. Such information must not be copied or distributed, in whole or in part, without prior written consent of Treeze Ltd. or the customer. Any other means of distribution, even in altered forms, require the written consent. Any citation naming Treeze Ltd. or the authors of this report shall be provided to the authors before publication for verification.
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	480_Externe Kosten und Gesamtumweltbelastung von Gebäuden_v3.0.docx, 5/24/2013 8:31:00 AM This report contains new findings and conclusions and replaces all previous versions of this report.

Abkürzungen und Glossar

a	annum (Jahr)
BIP	Bruttoinlandprodukt
CH	Schweiz
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
NEP	Szenario 'Neue Energiepolitik'
NH ₃	Ammoniak
NO _x	Stickoxide
PM10	Feinstaub (Particulate Matter with diameter 10 µm)
POM	Szenario 'Politische Massnahmen'
PPS	Kaufkraftparität
RER	Europa
SO ₂	Schwefeldioxid
UBP	Umweltbelastungspunkt

Zusammenfassung

Produkte, die wir konsumieren, haben nicht nur den beschilderten Preis, sondern verursachen auch externe Kosten. Unter externen Kosten versteht man Kosten, welche nicht direkt durch den Verursacher, sondern durch Dritte oder die Allgemeinheit getragen werden (bspw. Müllbeseitigungskosten von Einwegverpackungen).

Dieser Bericht beschäftigt sich einerseits mit externen Kosten andererseits mit den Gesamtumweltbelastungen von Gebäuden. Es wird untersucht, wie hoch die externen Kosten und die Umweltbelastung der Herstellung von Baustoffen und Bauprodukten, im Verhältnis zu den externen Kosten und der Umweltbelastung des Betriebs des Gebäudes sind. Es werden zwei Wohnhäuser, basierend auf der Gebäudecharakterisierung gemäss einer Promotionsarbeit an der ETH Zürich analysiert und zwar ein Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und gemäss dem Energiestandard SIA 380/1 (MFH 04) und ein Mehrfamilienhaus in Leichtbauweise und gemäss dem Energiestandard Minergie P Eco (MFH 06). Es werden die externen Kostensätze gemäss der Energiestrategie 2050 des Bundes und des EU Projektes NEEDS angewendet. Die Umweltbelastungen werden mittels der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (MoeK) ermittelt (Frischknecht et al. 2008).

Externe Kosten

Gemäss der Methode NEEDS belaufen sich die externen Kosten für das untersuchte Gebäude MFH 04 auf CHF 35/m², resp. CHF 106/m² (tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten, bezogen auf die Geschossfläche) für die Konstruktion, die Instandhaltung und den Rückbau. Das Gebäude MFH 06 verursacht externe Kosten in Höhe von CHF 38/m², resp. CHF 106/m² (tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten, bezogen auf die Geschossfläche, siehe Fig. Z. 1 und Fig. Z. 2). Die Gesundheitskosten und die Kosten für Klimaschäden leisten den grössten Beitrag zu den externen Kosten. Die Baustoffe des Neubaus der untersuchten Gebäude verursachen ca. 3/5 der externen Kosten. Instandhaltung und Rückbau verursachen je ca. 1/5 der externen Kosten.

Werden die externen Kostensätze der Energiestrategie 2050 verwendet, so betragen die externen Kosten pro Geschossfläche für das Gebäude MFH 04 CHF 140/m², resp. CHF 421/m² (tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten) und CHF 152/m², resp. CHF 423/m² (tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten) für das Gebäude MFH 06 für die Konstruktion, die Instandhaltung und den Rückbau.

Es hat sich gezeigt, dass die externen Kosten der Baustoffe, verglichen mit den Erstellungskosten (nur BKP 2) ca. 1-7 % (gemäss NEEDS), resp. 5-22 % (gemäss Ecoplan) ausmachen. Verglichen mit den Erstellungskosten liegen die externen Kosten der Baustoffe und des Betriebs etwa in derselben Grössenordnung. Das Gebäude MFH 06 weist dagegen im Betrieb deutlich geringere externe Kosten aus, verglichen mit den externen Kosten von Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau. In Tab. Z. 1 sind die Resultate pro Fläche (bezogen auf die Geschossfläche) zusammengefasst.

Bezüglich der Erstellungskosten (Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau) bewegen sich die Gebäude MFH 04 und MFH 06 in derselben Grössenordnung, trotz ihrer unterschiedlichen Grösse und Bauart. Unter Berücksichtigung der externen Kosten durch den Betrieb des Gebäudes, sind die Gesamtkosten des Gebäude MFH 06 tiefer als diejenigen des Gebäudes MFH 04, was Fig. Z. 1 und Fig. Z. 2. deutlich zeigen.

Die Wahl der Gebäudetechnik hat einen grundsätzlichen Einfluss auf die externen Kosten des Betriebs. So verursacht eine Heizung mit Erdgas oder Holzschnitzeln die geringsten externen Kosten. Die Beheizung mit Heizöl hingegen, führt zu hohen externen Kosten.

Tab. Z. 1 Externe Kosten pro Fläche (Geschossfläche) für die Gebäudeerstellung, den Gebäudebetrieb sowie die Erstellungskosten (private Kosten) der Gebäude über die gesamte Lebensdauer (60 a)

		Variante tiefe Klima- schadenskosten	Anteil	Variante hohe Klima- schadenskosten	Anteil
MFH 04					
	Masseinheit	CHF/m ²		CHF/m ²	
Externe Kosten NEEDS	Gebäude ³	35	1.1%	106	3.2%
	Betrieb ¹	49	1.6%	148	4.5%
Erstellungskosten		3'028	97.3%	3'028	92.3%
Externe Kosten Ecoplan	Gebäude ³	140	4.2%	421	10.5%
	Betrieb ²	164	4.9%	552	13.8%
Erstellungskosten		3'028	90.9%	3'028	75.7%
MFH 06					
Externe Kosten NEEDS	Gebäude ³	38	2.5%	106	6.7%
	Betrieb ¹	5	0.3%	10	0.6%
Erstellungskosten		1'474	97.2%	1'474	92.7%
Externe Kosten Ecoplan	Gebäude ³	152	9.3%	423	22.0%
	Betrieb ²	9	0.6%	22	1.1%
Erstellungskosten		1'474	90.1%	1'474	76.8%

- 1 Wärmepumpe mit Erdsonden, Sonnenkollektoren
- 2 Holzpellet-Heizung, Vakuumröhrenkollektoren
- 3 Konstruktion, Instandhaltung, Rückbau

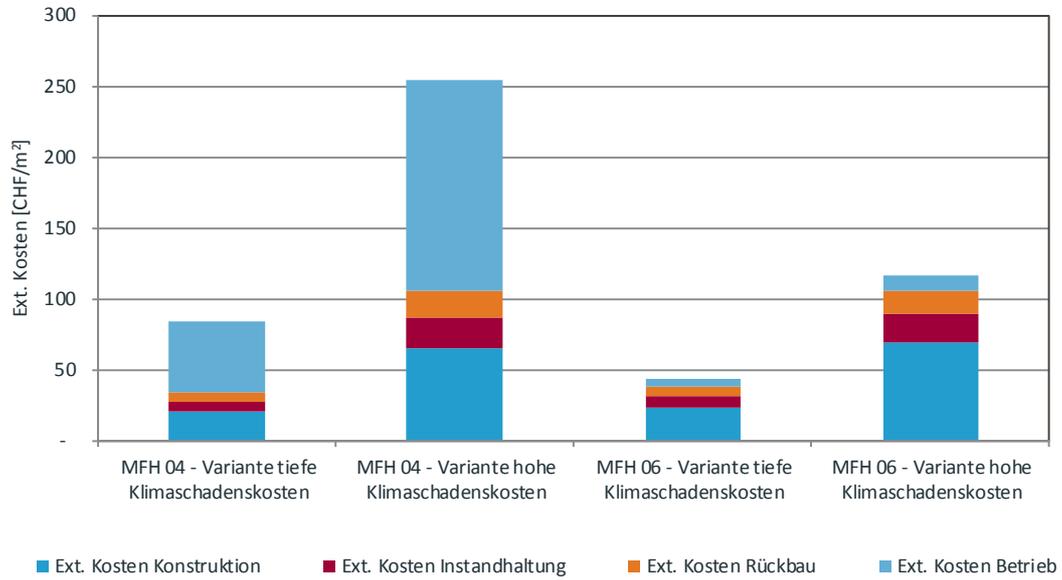


Fig. Z. 1 Externe Kosten (Variante tiefe und hohe Klimaschadenskosten) für die Gebäude MFH 04 und MFH 06 gemäss NEEDS in CHF/m²

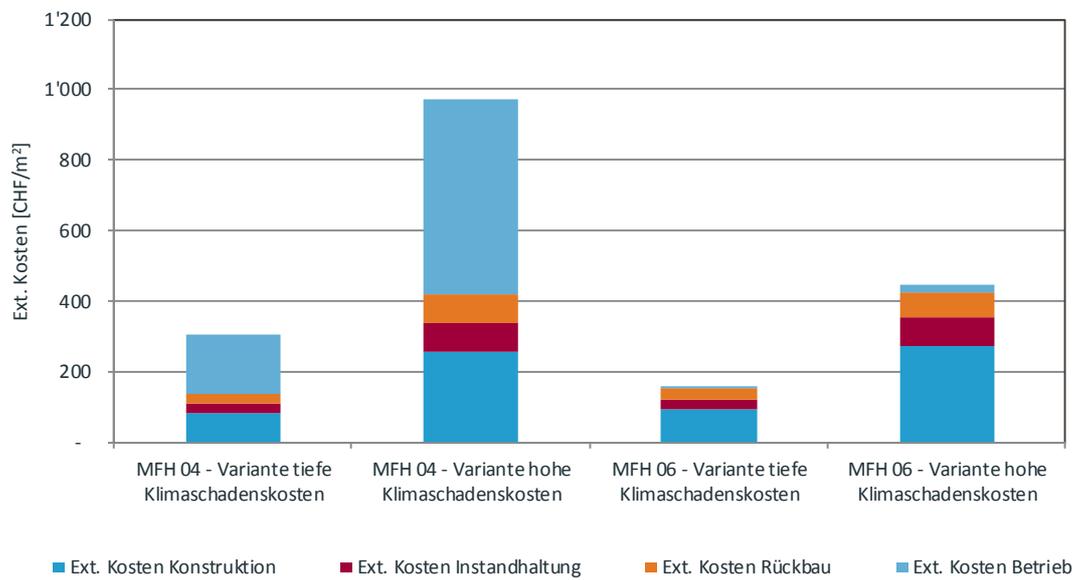


Fig. Z. 2 Externe Kosten (Variante tiefe und hohe Klimaschadenskosten) für die Gebäude MFH 04 und MFH 06 gemäss Ecoplan in CHF/m²

Umweltbelastung

Die Gesamtumweltbelastungen für das Gebäude MFH 04 entsprechen 14'655 UBP/m²/a und für das Gebäude MFH 06 6'623 UBP/m²/a. Die Umweltbelastungen und die externen Kosten pro Gebäudefläche weisen eine ähnliche Charakteristik auf. Vernachlässigt man die Belastungen des Betriebs, so verursacht das Minergie P-Eco Gebäude eine leicht höhere spezifische Gesamtumweltbelastung, verglichen mit dem herkömmlichen Gebäude. Dies rührt vor allem vom grösseren Materialaufwand und der komplexeren Bauweise des Minergie P-Eco Gebäudes her. Die Luftschadstoffemissionen dominieren die Gesamtumweltbelastungen (ca. 75 %), gefolgt von den Emissionen ins Wasser (ca. 17-20%). Die Emissionen in den Boden, der Ressourcenverbrauch und der entstehende Abfall machen weniger als 7 % aus. In den Wasserschadstoffemissionen liegt denn auch der wesentliche Grund für die Abweichung zwischen den externen Kosten und der Umweltbelastung. Beim MFH 04 tragen Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau je ca. ein Drittel zu den Gesamtumweltbelastungen der Erstellung bei. Die Konstruktion von MFH 06 verursacht ca. die Hälfte, während die Instandhaltung ca. ein Drittel und der Rückbau ca. 15 % beiträgt.

Berücksichtigt man jedoch zusätzlich die jährlichen Belastungen durch den Betrieb (Heizung, Klima), so sind die Umweltbelastungen verursacht durch das herkömmliche Gebäude etwa doppelt so gross wie diejenigen des Minergie P-Eco Gebäudes, siehe Fig. Z. 3.

Die Umweltauswirkung der Erstellung (Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau) pro Jahr und Quadratmeter (Geschossfläche) sind beim Gebäude nach SIA 380/1 um ca. 51 % geringer als die jährlichen Umweltbelastungen des Betriebs. Beim Minergie P-Eco Gebäude hingegen verursacht der Betrieb nur einen Bruchteil der gesamten Umweltbelastungen. Verglichen mit dem SIA 380/1-Gebäude werden die etwas höheren Umweltbelastungen des Minergie P-Eco Gebäudes in der Erstellung durch die tiefen Belastungen durch den Betrieb überkompensiert.

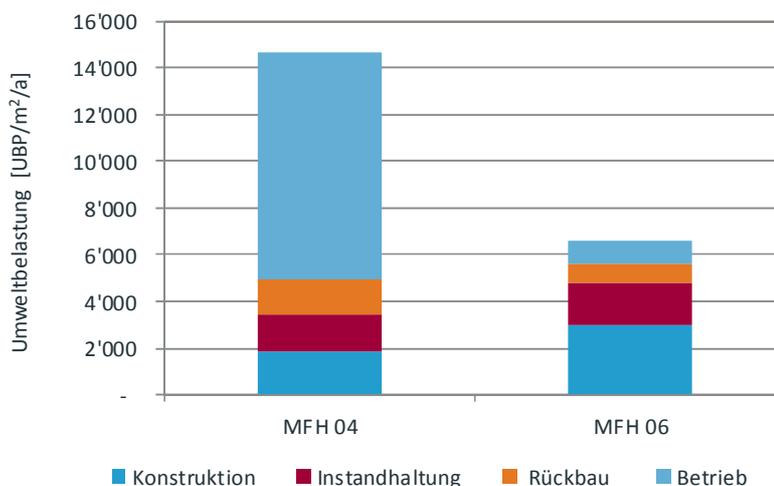


Fig. Z. 3 Gesamtumweltbelastung der Gebäude MFH 04 und MFH 06 pro Jahr und m² Geschossfläche

Inhalt

1	EINFÜHRUNG	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung	1
2	DATENGRUNDLAGE	1
2.1	Gebäudedaten	1
2.2	Externe Kosten der Baustoffe	1
2.3	Externe Kosten der Energieträger	2
2.4	Erstellungskosten	2
2.5	Gesamtumweltbelastung	3
3	ERGEBNISSE UND INTERPRETATIONEN	4
3.1	Externe Kosten der Gebäude	4
3.1.1	Externe Kosten gemäss NEEDS	4
3.1.2	Externe Kosten gemäss Energiestrategie 2050	5
3.1.3	Vergleich Ecoplan und NEEDS	8
3.2	Externe Kosten durch den Gebäudebetrieb und private Erstellungskosten	8
3.3	Gesamtumweltbelastung	13
4	FOLGERUNGEN	15
	ANHANG	17
	Kostensätze gemäss Ecoplan und NEEDS	17
	LITERATURVERZEICHNIS	25

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Zurzeit werden in diversen Untersuchungen die externen Kosten der Energieträgerbereitstellung quantifiziert. Für die externen Kosten von Baustoffen und Gebäudetechniken besteht noch Untersuchungsbedarf. Bei Gebäuden stellt sich die Frage, wie hoch die externen Kosten der Herstellung von Baustoffen und Bauprodukten sind, im Verhältnis zu den Erstellungskosten und zu den externen Kosten des Betriebs.

Unter externen Kosten versteht man Kosten und Einwirkungen, die nicht direkt durch den Verursacher, sondern durch Dritte getragen werden. Beispielsweise verursachen die Produktion von Energie und Wärme Partikelemissionen. Diese können zu Erkrankungen führen und erhöhen somit die allgemeinen Gesundheitskosten (Ecoplan 2012).

Im Rahmen nachhaltiger Gebäudeplanung ist zudem von Interesse, ob neben den externen Kosten, dem Energieverbrauch und bspw. der grauen Energie allenfalls umfassendere Indikatoren für die Beurteilung der Umwelteffizienz herangezogen werden können und inwiefern Indikatoren wie die Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit ähnliche Ergebnisse wie die externen Kosten zeigen.

1.2 Zielsetzung

Dieser Bericht soll die externen Kosten und die Gesamt-Umweltbelastung der Konstruktion, Instandhaltung und des Rückbaus zweier exemplarischer Gebäude aufzeigen und analysieren. Ziel dieser Studie ist es, abzuklären, ob die externen Kosten der Baustoffherstellung relevant sind im Vergleich zu den externen Kosten des Betriebs und ob dies mit der Gesamtumweltbelastung korreliert. Es werden zwei Wohnhäuser basierend auf der Gebäudecharakterisierung gemäss John (2012) analysiert und zwar die Mehrfamilienhäuser MFH 04 und MFH 06.

Neben den externen Kosten gemäss Ecoplan (2012), publiziert im Rahmen der Energiestrategie 2050 des Bundesrates, werden die externen Kostensätze des EU Projektes NEEDS (Frischknecht 2010) angewendet. Zur Quantifizierung der Gesamtumweltbelastung wird die Methode der ökologischen Knappheit 2006 (MoeK) verwendet (Frischknecht et al. 2008).

Die hier verwendete funktionelle Einheit bezieht sich auf die externen Kosten resp. die Gesamtumweltbelastung pro Quadratmeter Geschossfläche und pro Jahr bei einer Gebäudelebensdauer von 60 Jahren (SIA 2010). Es wird nur das Gebäude untersucht (Ausstattungen und Umgebung u. Ä. werden nicht berücksichtigt).

Die Gebäude werden mit der LCA Software Simapro (Simapro 7.3.3) abgebildet. In dieser wird auch die Sachbilanz beschrieben und die Umweltindikatoren analysiert (PRé Consultants 2012). Die Sachbilanzdaten basieren auf der ecoincent Datenbank Version 2.2 (ecoincent Centre 2010).

2 Datengrundlage

2.1 Gebäudedaten

Die Sachbilanzdaten der Gebäude basieren auf den Arbeiten der Professur für Nachhaltiges Bauen ETH Zürich von Holger Wallbaum (John 2012). Die Gebäude unterscheiden sich in der Lage, Gebäudeform, Grösse, Bauart (Leicht-, und Massivbau) und dem Energiestandard (SIA 380/1 bis zu MINERGIE P-ECO). Um ein breites Spektrum der möglichen externen Kosten abzuschätzen, wurden zwei Gebäude gewählt, welche in der Bauart und dem Energiestandard sehr unterschiedlich sind, nämlich MFH 04 (Massivbau, SIA 380/1) und MFH 06 (Leichtbau, Minergie P Eco).

Als Datengrundlage liegen neben der Gebäudecharakterisierung die kumulierten Sachbilanzen der Gebäude vor (Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau). Die Daten sind zudem in Gebäudeteile gegliedert (Dach, Decke, Wände, Boden, etc.). Daraus werden die Beiträge der einzelnen Schadstoffe zu den externen Kosten und zur Gesamtumweltbelastung ermittelt. Die Daten von John (2012) als auch in dieser Studie beziehen sich ausschliesslich auf die Gebäude. Die Gebäudeumgebung und -ausstattung (Umschwung etc.) werden nicht berücksichtigt.

2.2 Externe Kosten der Baustoffe

Zur Ermittlung der externen Kosten werden die Schadstoffe der einzelnen Gebäudeteile mit den externen Kostensätzen pro Schadstoff verknüpft. Die Kosten werden pro Lebenszyklus, unterteilt in die Phasen Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau, quantifiziert.

Neben den externen Kosten gemäss Ecoplan (2012) wurden die externen Kostensätze des EU Projektes NEEDS (Frischknecht 2010) angewendet. Die Methode NEEDS unterscheidet fünf Kostenkategorien: Gesundheit, Biodiversität, Ernteertrag, Landnutzung und Klimakosten (mit den Varianten hohe und tiefe Kosten durch Klimaschäden, 0.02 und 0.23 CHF/kg CO₂). Die Kostensätze für die externen Kosten gemäss Ecoplan berücksichtigen die Gesundheitskosten und darin vier Luftschadstoffe, nämlich Stickoxide, Schwefeldioxid, Ammoniak und Feinstaub (NO_x, SO₂, NH₃ und PM10). Kosten für grosse, resp. geringe Klimaschäden werden entsprechend der CO₂-Abgabekosten in den Szenarien ‚Neue Energiepolitik‘ (NEP) und ‚Politische Massnahmen‘ (POM) angenommen. Sie entsprechen den maximalen CO₂-Abgabesätzen und sind in diesem Sinn keine Schadenskosten. Die externen Kosten für Klimaschäden belaufen sich auf 0.21 CHF/kg CO₂ und die Kosten für grosse Schäden auf 1.14 CHF/kg CO₂ (Ecoplan 2012).

Die Umrechnung der NEEDS-Kosten von Euro zu Schweizer Franken erfolgt mittels dem Wechselkurs der Schweizerischen Nationalbank von 2008 (SNB 2008) und der Eurostat Kaufkraftparität 2008 (Eurostat 2008), nämlich 1.587 Euro/CHF und 1.49 BIP/p in PPS.

Die detaillierten Kostensätze der externen Kosten gemäss EU Projekt NEEDS finden sich im Anhang in Tab. A. 1 und Tab. A. 3.

2.3 Externe Kosten der Energieträger

Die externen Kosten des Betriebs werden auf den Grundlagen des Gebäudebeschreibs ermittelt. Die spezifischen Energieverbräuche für Heizung, Warmwasser und Lüftung sind bekannt (John 2012). Es wird angenommen, dass die Lüftung ausschliesslich durch Strom (Niederspannung, Schweizer Strommix) erfolgt.

Heizwärme und Warmwasser werden mit unterschiedlichen Technologien erzeugt. Einerseits wurden die externen Kosten derjenigen Energieträger verwendet, die gemäss John (2012) in den Gebäuden MFH 04 und 06 eingesetzt werden. Andererseits wurden die externen Kosten ermittelt, falls die Gebäude über dieselben Technologien beziehungsweise über eine Technologie mit hohen externen Kosten, resp. tiefen externen Kosten verfügen würden. Das Gebäude MFH 04 verfügt über eine Wärmepumpenheizung mit Erdsonden sowie einer Warmwasserproduktion mittels Flachdachsonnenkollektoren. Das Haus hat keine mechanische Lüftung eingebaut. Das Gebäude MFH 06 wird durch eine Holzpellettheizung beheizt. Zusätzlich wird das Warmwasser mittels Vakuumröhrensonnenkollektoren produziert. Das Gebäude verfügt über eine mechanische Lüftung.

Die tiefsten externen Kosten weisen die Gasheizung und die Holzpellettheizung auf (bei tiefen resp. hohen Klimaschadenskosten). Tab. A. 2 im Anhang gibt einen Überblick über externe Kosten der Energiebereitstellung mit verschiedenen Energieträgern und Technologien. Die grössten externen Kosten werden, abgesehen von Kohle, generiert durch Heizen mit Öl.

2.4 Erstellungskosten

Die privaten Erstellungskosten wurden von John (2012) entsprechend dem Baukostenplan gegliedert und liegen für den Gliederungspunkt BKP 2 bei 2.63 Mio CHF (CHF 3'028/m²) für MFH 04, resp. 1.83 Mio CHF (CHF 1'474/m²) für MFH 06. Die Kosten beziehen sich nicht auf die gesamten Baukosten, sondern nur auf die Gebäudekosten BKP 2 (Kosten für Grundstücke, Ausstattungen, Betriebs-einrichtungen, Umgebung u. Ä. sind nicht berücksichtigt). Es wird angenommen, dass die analysierten Gebäude eine Lebensdauer von 60 Jahren haben (SIA 2010). Die Gebäudeerstellungskosten wurden in John (2012) auf die Energiebezugsfläche bezogen. Hier wurden sie in Bezug auf die Geschossfläche gesetzt.

Die Geschossfläche für das Gebäude MFH 04 liegt bei 868 m². Die totale Geschossfläche des Gebäudes MFH 06 beträgt 1238 m², wobei nur 611 m² als Wohnnutzfläche dienen. Die restliche Fläche wird als Fahrzeug-Einstellhalle genutzt. Die hier verwendete Fläche ist allerdings die totale Fläche.

2.5 Gesamtumweltbelastung

Die Methode der ökologischen Knappheit wird in der KBOB-Empfehlung 2009/1 „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2012) verwendet. Die Methode der ökologischen Knappheit quantifiziert die Umweltbelastungen durch die Nutzung von Energieressourcen, von Land und Süßwasser, durch Emissionen in Luft, Gewässer und Boden sowie durch die Beseitigung von Abfällen. Die Beurteilung mit der Methode der ökologischen Knappheit zeigt ein vollständiges Bild der Umweltauswirkungen auf und basiert auf der Schweizerischen Umweltpolitik. Hier wurde die Version 1.06 der Methode der ökologischen Knappheit angewendet.

Emissionen von Arsen, Cadmium, Chrom VI, Kupfer, Blei, Quecksilber, Nickel, Nitrate, Phosphat und Zink in Gewässer wurden mit einem Faktor korrigiert, der jeweils die Gewässeremissionen ausser diejenigen ins Grundwasser zu den Emissionen in alle Gewässer in Bezug setzt. Dies relativiert die Langzeitwirkungen der Emissionen.

3 Ergebnisse und Interpretationen

Im Folgenden sind die Ergebnisse beschrieben. Sämtliche Resultate zu den externen Kosten sind in Tab. 3.7 zusammengefasst.

3.1 Externe Kosten der Gebäude

3.1.1 Externe Kosten gemäss NEEDS

Für die untersuchten Gebäude MFH 04 und 06 belaufen sich die externen Kosten auf 30'000 CHF, resp. 91'000 CHF für MFH 04 und auf 47'000 CHF, resp. 131'000 CHF für das Gebäude MFH 06. Die detaillierten Resultate sind in Tab. 3.1 aufgeführt.

Tab. 3.1 Externe Kosten der Baustoffe der Gebäude MFH 04 und MFH 06 pro gesamte Lebensdauer (Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau) gemäss EU Projekt NEEDS

Kategorie	Masseinheit	Externe Kosten MFH 04	Externe Kosten MFH 06
Gesundheitskosten	CHF/Lebensdauer	22'462	36'232
Biodiversität	CHF/Lebensdauer	1'782	2'596
Ernteertrag	CHF/Lebensdauer	580	782
Materialschaden	CHF/Lebensdauer	348	550
Landnutzung	CHF/Lebensdauer	129	314
Klima – tiefe Schadenskosten	CHF/Lebensdauer	4'833	6'615
Klima – hohe Schadenskosten	CHF/Lebensdauer	66'371	90'836
Summe – tiefe Klimaschadenskosten	CHF/Lebensdauer	30'133	47'089
Summe – hohe Klimaschadenskosten	CHF/Lebensdauer	91'671	131'309

Die externen Kosten für Gesundheitsschäden und Klimaschäden sind am grössten. Die Landnutzung hat bei beiden Gebäuden den geringsten Einfluss auf die externen Kosten. Sie ist allerdings beim MFH 06 deutlich höher als beim MFH 04.

Fig. 3.1 und Fig. 3.2 zeigen die gesamten externen Kosten gemäss NEEDS für die tiefen, resp. hohen Klimaschadenskosten pro m² Geschossfläche und pro Lebensdauer.

3. Ergebnisse und Interpretationen

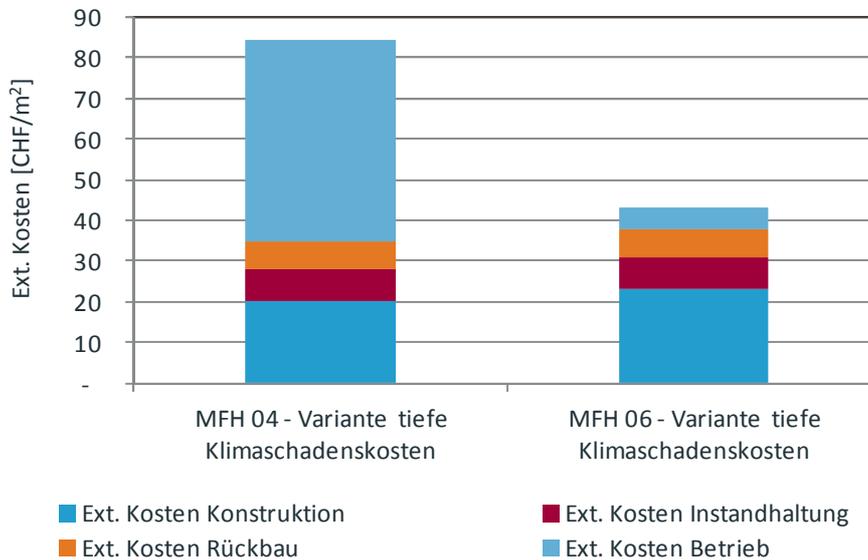


Fig. 3.1 Externe Kosten (Variante tiefe Klimaschadenskosten) gemäss NEEDS für die Gebäude MFH 04 und MFH 06 in CHF/m² bezogen auf die Geschossfläche

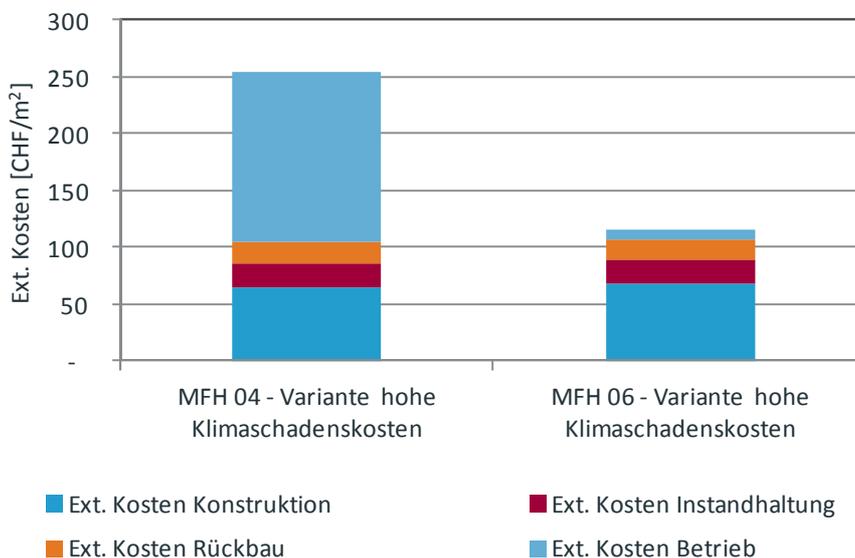


Fig. 3.2 Externe Kosten (Variante hohe Klimaschadenskosten) gemäss NEEDS für die Gebäude MFH 04 und MFH 06 in CHF/m² bezogen auf die Geschossfläche

3.1.2 Externe Kosten gemäss Energiestrategie 2050

Die externen Kosten, berechnet gemäss den Kostensätzen von EcoPlan, sind für die Gesundheitskosten um ca. einen Faktor 3 höher. Die tiefe CO₂-Abgabe ist um einen Faktor 11 und die hohe CO₂-Abgabe um einen Faktor 5 höher als die

3. Ergebnisse und Interpretationen

Klimaschadenskosten des EU Projekts NEEDS. Tab. 3.2 zeigt die externen Kosten gemäss Energiestrategie 2050.

Die Baumaterialien des Gebäudes MFH 06 verursachen grössere externe Kosten als diejenigen des Gebäudes MFH 04. Für das Gebäude MFH 06 werden jedoch auch mehr Materialien benötigt als für Gebäude MFH 04. Zudem ist die Geschossfläche des Gebäudes MFH 06 um 143 % grösser als diejenige des Gebäudes MFH 04.

Tab. 3.2 Externe Kosten der Baustoffe der Gebäude MFH 04 und MFH 06 pro gesamte Lebensdauer (Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau) gemäss Ecoplan

Kategorie	Masseinheit	Externe Kosten MFH 04	Externe Kosten MFH 06
Gesundheitskosten	CHF/Lebensdauer	65'971	112'866
Klima – tiefe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/Lebensdauer	55'199	75'566
Klima – hohe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/Lebensdauer	299'652	410'216
Summe – tiefe CO₂-Abgabekosten	CHF/Lebensdauer	121'170	188'432
Summe – hohe CO₂-Abgabekosten	CHF/Lebensdauer	365'623	523'082

Fig. 3.3 und Fig. 3.4 illustrieren die externen Kosten gemäss Ecoplan (Variante tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten) pro Lebensdauer bezogen auf die Geschossfläche. Es ist ersichtlich, dass die externen Kosten von Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau des SIA 380/1 Gebäudes leicht tiefer sind als diejenigen des Minergiegebäudes. Die externen Kosten des Betriebs des SIA 380/1-Gebäudes sind allerdings deutlich höher als diejenigen des Minergie-Gebäudes.

3. Ergebnisse und Interpretationen

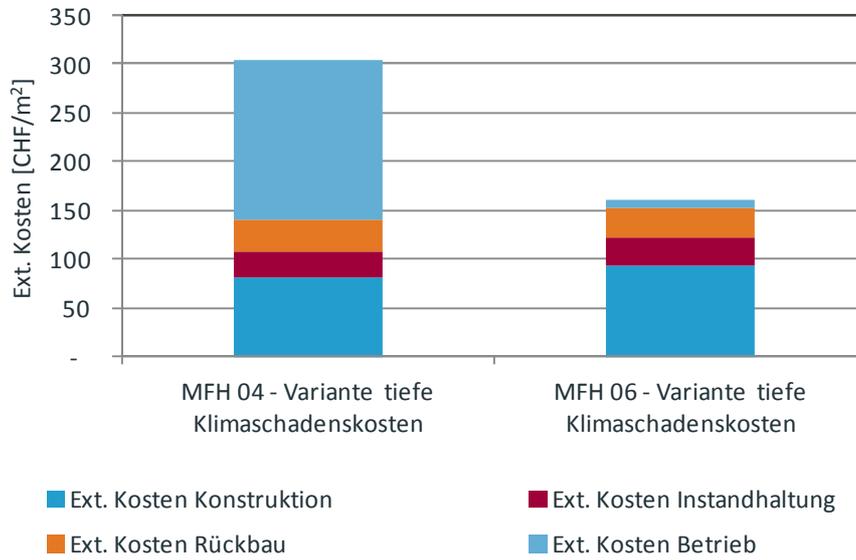


Fig. 3.3 Externe Kosten (Variante tiefe Klimaschadenskosten) gemäss Ecoplan für die Gebäude MFH 04 und MFH 06 in CHF/m² bezogen auf die Geschossfläche

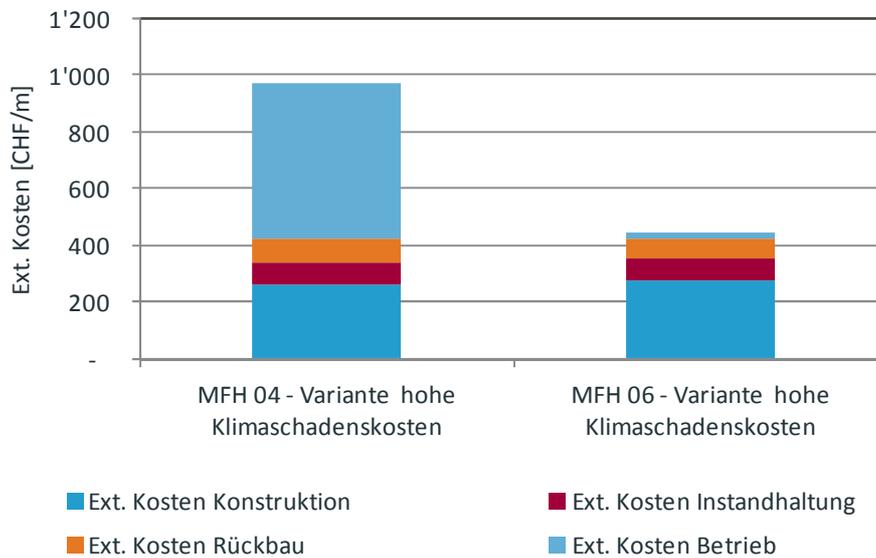


Fig. 3.4 Externe Kosten (Variante hohe Klimaschadenskosten) gemäss Ecoplan für die Gebäude MFH 04 und MFH 06 in CHF/m² bezogen auf die Geschossfläche

3.1.3 Vergleich Ecoplan und NEEDS

Die Konstruktion der Gebäude hat einen wesentlich grösseren Beitrag als der Rückbau, resp. die Instandhaltung. Tab. 3.3 führt die prozentualen Anteile der Lebensphasen (Konstruktion, Instandhaltung, Rückbau) der externen Kosten auf. Es ist ersichtlich, dass die Konstruktion bei beiden Gebäuden ca. 3/5 der externen Kosten ausmacht. Instandhaltung und Rückbau tragen je ca. 1/5 bei.

Tab. 3.3 Anteil pro Lebensphase der Gebäude an den totalen externen Kosten (ohne Betrieb) in %

		MFH 04			MFH 06		
		Konstruktion	Instandhaltung	Rückbau	Konstruktion	Instandhaltung	Rückbau
NEEDS	Variante tiefe Klimaschadenskosten	58%	23%	19%	61%	21%	18%
	Variante hohe Klimaschadenskosten	62%	20%	18%	65%	19%	16%
Ecoplan	Variante tiefe CO ₂ -Abgabekosten	58%	20%	22%	61%	19%	20%
	Variante hohe CO ₂ -Abgabekosten	61%	19%	20%	65%	19%	17%

Die Unterschiede in den externen Kosten zwischen NEEDS und Ecoplan können wir nur teilweise erklären. Bei Ecoplan werden politisch festgelegte CO₂-Abgaben und nicht Klimaschadenskosten verwendet. Die Differenz bei den spezifischen externen Kosten der Luftschadstoffe konnten wir nicht eruieren.

3.2 Externe Kosten durch den Gebäudebetrieb und private Erstellungskosten

Die externen Kosten des Betriebs werden verursacht durch die Energieträgerbereitstellung für Heizen, Lüftung und Warmwasser. Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, verfügt nur MFH 06 über eine Lüftung. Tab. 3.4 fasst die externen Kosten, verursacht durch Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitstellung, zusammen. Zudem sind die tatsächlich anfallenden Erstellungskosten aufgeführt. Die Erstellungskosten entstammen John (2012) und wurden gemäss dem Baukostenplan ermittelt und umfassen nur BKP2.

3. Ergebnisse und Interpretationen

Tab. 3.4 Externe Kosten des Betriebs der Gebäude MFH 04 und MFH 06 über die ganze Lebensdauer (60 Jahre) für Heizung, Lüftung und Warmwasser

Kategorie	Masseinheit	MFH 04	MFH 06
NEEDS Variante tiefe Klimaschadenskosten	CHF/Lebensdauer	30'649	2'064
NEEDS Variante hohe Klimaschadenskosten	CHF/Lebensdauer	92'345	4'200
Ecoplan Variante tiefe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/Lebensdauer	102'137	3'691
Ecoplan Variante hohe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/Lebensdauer	343'158	8'851
Private Erstellungskosten ¹	CHF/Lebensdauer	2'627'955	1'825'188

Unter Anwendung der externen Kostensätze gemäss NEEDS hat eine Gasheizung, resp. Holzschnitzelheizung (Warmwassererzeugung mit Flachdachsonnenkollektoren) die geringsten externen Kosten (für tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten). Eine Umstellung auf diese Heiztechnologien führt beim Gebäude MFH 04 zu einer Reduktion der externen Kosten von 34 %, resp. 38 % (für tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten) und beim Gebäude MFH 06 zu einer Reduktion von 36 %, resp. 9 % (für tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten).

Eine Ölheizung hingegen (Warmwassererzeugung mit Flachdachsonnenkollektoren) erhöht die externen Kosten um 128 %, resp. 188 % (für tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten) beim Gebäude MFH 04 und um 111 %, resp. 234 % (für tiefe, resp. hohe Klimaschadenskosten) beim Gebäude MFH 06.

Werden die externen Kostensätze gemäss Ecoplan angewendet, so führt eine Heizung mit Holzschnitzel, resp. eine Stückholzheizung (für tiefe, resp. hohe CO₂-Abgabekosten) und eine Warmwassererzeugung mittels Flachdachsonnenkollektoren zu den geringsten externen Kosten. Für das Gebäude MFH 04 entspricht es einer Reduktion der externen Kosten von 43 %, resp. 70 % (für tiefe, resp. hohe CO₂-Abgabekosten) und für das Gebäude MFH 06 einer Reduktion von 17 %, resp. 38 % (für tiefe, resp. hohe CO₂-Abgabekosten). Das Heizen mit Öl (Warmwassererzeugung mit Flachdachsonnenkollektoren) erhöht die externen Kosten um 175 %, resp. 213 % (für tiefe, resp. hohe CO₂-Abgabekosten) des Gebäudes MFH 04. Im Gebäude MFH 06 würde die Umstellung auf eine Ölheizung zu einer Erhöhung der externen Kosten um 253 %, resp. 428 % (für tiefe, resp. hohe CO₂-Abgabekosten) bedingen.

Dies zeigt, dass die Wahl der Gebäudetechnik durchaus einen Spielraum bezüglich der externen Kosten bietet. Das Minergie-P Gebäude weist deutlich tiefere externe Kosten des Betriebs aus, als das Gebäude gemäss SIA 380/1.

¹ Berücksichtigt sind nur die Gebäudekosten, resp. BKP2 gemäss Baukostenplan

3. Ergebnisse und Interpretationen

Der Vergleich der externen Kosten mit den reell anfallenden Erstellungskosten zeigt, dass die externen Kosten der Baustoffe ca. 1 – 5 % (bei Anwendung der NEEDS-Methode) ausmachen, wie Tab. 3.5 zeigt (aufgeführt pro Quadratmeter bezogen auf die Geschossfläche). Die externen Kosten berechnet mittels der Kostensätze von Ecoplan ergeben, dass die externen Kosten der Baustoffe verglichen mit den Erstellungskosten 4 – 18 % beitragen.

Tab. 3.5 Externe Kosten pro Quadratmeter Geschossfläche für die Gebäudeerstellung, den Gebäudebetrieb sowie die Erstellungskosten (private Kosten BKP2) der Gebäude über die gesamte Lebensdauer (60 a)

		Variante tiefe Klima- schadenskosten	Anteil	Variante hohe Klima- schadenskosten	Anteil
MFH 04					
	Masseinheit	CHF/m ²		CHF/m ²	
Externe Kosten NEEDS	Gebäude ³	35	1.1%	106	3.2%
	Betrieb ¹	49	1.6%	148	4.5%
Erstellungskosten		3'028	97.3%	3'028	92.3%
Externe Kosten Ecoplan	Gebäude ³	140	4.2%	421	10.5%
	Betrieb ²	164	4.9%	552	13.8%
Erstellungskosten		3'028	90.9%	3'028	75.7%
MFH 06					
Externe Kosten NEEDS	Gebäude ³	38	2.5%	106	6.7%
	Betrieb ¹	5	0.3%	10	0.6%
Erstellungskosten		1'474	97.2%	1'474	92.7%
Externe Kosten Ecoplan	Gebäude ³	152	9.3%	423	22.0%
	Betrieb ²	9	0.6%	22	1.1%
Erstellungskosten		1'474	90.1%	1'474	76.8%
1	Wärmepumpe mit Erdsonden, Sonnenkollektoren				
2	Holzpellet-Heizung, Vakuumröhrenkollektoren				
3	Konstruktion, Instandhaltung, Rückbau				

Aus Tab. 3.5 ist ersichtlich, dass die externen Kosten von Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau des Gebäudes MFH 04 ähnlich hoch sind wie die externen Kosten des Betriebs. Beim Gebäude MFH 06 führt der Betrieb (Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitstellung) zu deutlich tieferen externen Kosten als Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau. Dies hängt damit zusammen, dass es sich beim Gebäude MFH 06 um ein Gebäude mit einem besseren Energiestandard (MINERGIE P-ECO) als MFH 04 (Energiestandard SIA 308/1) handelt. Der Energieverbrauch im Betrieb ist

3. Ergebnisse und Interpretationen

deutlich tiefer als beim MFH 04. Tab. 3.7 fasst sämtliche Resultate der externen Gebäudekosten zusammen.

Verfügten beide Gebäude über dieselbe Haustechnik, so wird ersichtlich, dass die externen Kosten für das Gebäude MFH 04 deutlich höher sind. Tab. 3.6 zeigt die externen Kosten des Betriebs während der gesamten Lebensdauer des Gebäudes (relativ zur Geschossfläche), wenn die beiden Gebäude über dieselbe Haustechnik verfügen würden. Wenn das Minergie Gebäude MFH 06 über dieselbe Heizung wie das herkömmliche Gebäude verfügen würde, so wären die externen Kosten ca. um einen Faktor 11 (für externe Kosten gemäss NEEDS) resp. um einen Faktor 14 (für externe Kosten gemäss Ecoplan) niedriger als beim Gebäude MFH 04.

Tab. 3.6 Externe Kosten des Betriebs der Gebäude bezogen auf die Geschossfläche über die gesamte Lebensdauer (60 a)

NEEDS				
Kategorie		Masseinheit		
Haustechnik			Heizung: Erdsonde Warmwasser: Flachdachson- nenkollektoren	Heizung: Holzpellets Warmwasser: Vakuumröhrenkol- lektoren
MFH 04	Variante tiefe Klimaschadenskosten	CHF/m ² /Lebensdauer	49	58
	Variante hohe Klimaschadenskosten	CHF/m ² /Lebensdauer	148	109
MFH 06	Variante tiefe Klimaschadenskosten	CHF/m ² /Lebensdauer	5	5
	Variante hohe Klimaschadenskosten	CHF/m ² /Lebensdauer	14	10
Ecoplan				
Kategorie		Masseinheit		
Haustechnik			Heizung: Erdsonde Warmwasser: Flachdachson- nenkollektoren	Heizung: Holzpellets Warmwasser: Vakuumröhrenkol- lektoren
MFH 04	Variante tiefe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/m ² /Lebensdauer	164	133
	Variante hohe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/m ² /Lebensdauer	552	326
MFH 06	Variante tiefe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/m ² /Lebensdauer	13	9
	Variante hohe CO ₂ -Abgabekosten	CHF/m ² /Lebensdauer	44	22

3. Ergebnisse und Interpretationen

Tab. 3.7 Zusammenfassung der externen Kosten in CHF/m² gemäss dem EU Projekt NEEDS sowie gemäss der Energiestrategie 2050 von Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau der Gebäude MFH 04 und MFH06 über die gesamte Lebensdauer, bezogen auf die Geschossfläche.

Kategorie		Gesundheitskosten	Biodiversität	Ernteertrag	Materialschaden	Landnutzung	Klima - tiefe Schadenskosten	Klima - hohe Schadenskosten	Summe – Variante tiefe Klimaschadenskosten	Summe – Variante hohe Klimaschadenskosten	
MFH 04	NEEDS	Konstruktion	14.71	1.16	0.36	0.25	0.23	3.52	48.36	20.23	65.07
		Instandhaltung	6.05	0.47	0.15	0.11	0.10	1.08	14.69	7.95	21.56
		Rückbau	5.12	0.43	0.16	0.05	-0.18	0.97	13.41	6.54	18.98
		Summe	25.88	2.05	0.67	0.40	0.15	5.57	76.46	34.72	105.61
MFH 04	Ecoplan	Konstruktion	40.66	-	-	-	-	40.23	218.39	80.89	259.05
		Instandhaltung	15.74	-	-	-	-	62.74	64.09	27.55	79.83
		Rückbau	19.60	-	-	-	-	11.56	11.81	31.16	82.34
		Summe	76.00	-	-	-	-	63.59	345.22	139.60	421.23
MFH 06	NEEDS	Konstruktion	17.54	1.20	0.35	0.28	0.31	3.57	49.09	23.25	68.77
		Instandhaltung	6.17	0.42	0.11	0.11	0.11	1.00	13.67	7.92	20.59
		Rückbau	5.56	0.48	0.18	0.05	-0.17	0.77	10.62	6.87	16.71
		Summe	29.27	2.10	0.63	0.44	0.25	5.34	73.37	38.04	106.07
MFH 06	Ecoplan	Konstruktion	52.56	-	-	-	-	40.86	221.83	93.42	274.39
		Instandhaltung	17.98	-	-	-	-	11.12	60.34	29.10	78.33
		Rückbau	20.63	-	-	-	-	9.06	49.18	29.69	69.81
		Summe	91.17	-	-	-	-	61.04	331.35	152.21	422.52

3.3 Gesamtumweltbelastung

Die Gesamtumweltbelastungen für das Gebäude MFH 04 entsprechen 14'655 UBP/m²/a und für das Gebäude MFH 06 6'623 UBP/m²/a. Tab. 3.8 zeigt die Umweltbelastungen pro Umweltkompartiment und pro Lebensphase der Gebäude MFH 04 und 06 bezogen auf die Geschossfläche und Jahr.

Lässt man die Belastungen des Betriebs aussen vor, ist ersichtlich, dass das Minergie P-Eco Gebäude eine leicht höhere spezifische Gesamtumweltbelastung, verglichen mit dem herkömmlichen Gebäude, aufweist. Dies rührt vor allem vom grösseren Materialaufwand und der komplexeren Bauweise des Minergie P-Eco Gebäudes her. Berücksichtigt man jedoch zusätzlich die jährlichen Belastungen durch den Betrieb, so sind die Umweltbelastungen verursacht durch das herkömmliche Gebäude etwa doppelt so gross wie diejenigen des Minergie P-Eco Gebäudes. Fig. 3.5 zeigt die Umweltbelastungen durch den Betrieb, als auch durch die Erstellung.

Die Umweltauswirkung der Erstellung (Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau) pro Jahr und Quadratmeter sind beim Gebäude nach SIA 380/1 um ca. 35 % geringer als die jährlichen Umweltbelastungen des Betriebs (Heizung, Klima). Beim Minergie P-Eco Gebäude hingegen verursacht der Betrieb nur einen Bruchteil der gesamten Umweltbelastungen.

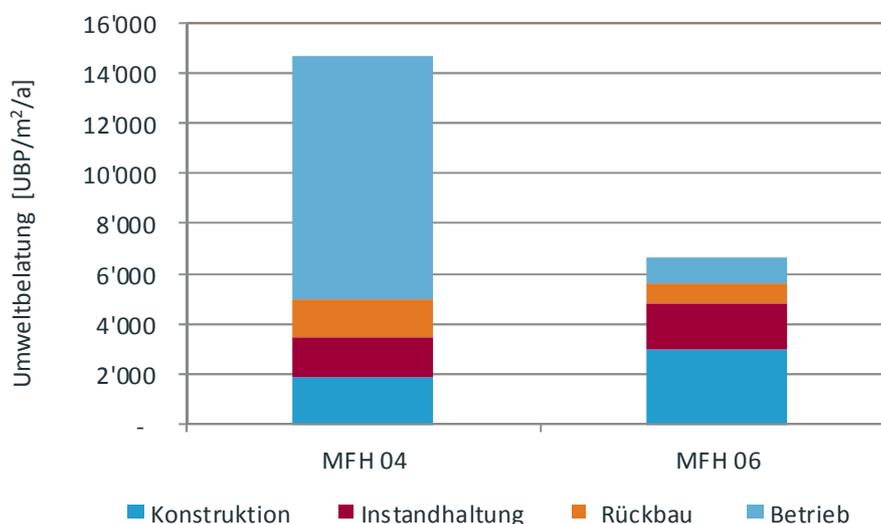


Fig. 3.5 Gesamtumweltbelastung der Gebäude MFH 04 und MFH 06 pro Jahr und Geschossfläche

Von der Gesamtumweltbelastung der Erstellung entfallen für MFH 04 38 % auf die Konstruktion und je 31 % auf die Instandhaltung und den Rückbau. Beim Gebäude MFH 06 verursacht die Konstruktion 53 % der Gesamtumweltbelastungen, die Instandhaltung 32 % und der Rückbau 15 %.

Die Luftschadstoffemissionen dominieren die Gesamtumweltbelastungen (ca. 75 %), gefolgt von den Emissionen ins Wasser (ca. 17-20 %). Die Emissionen in den Boden,

3. Ergebnisse und Interpretationen

der Ressourcenverbrauch und der entstehende Abfall machen zusammen rund 6-7 % aus.

Tab. 3.8 Spezifische Gesamtumweltbelastung der Gebäude MFH 04 und MFH 06 bezogen auf die verschiedenen Umweltkompartimente und die Lebensphasen der Gebäude (Konstruktion, Instandhaltung, Rückbau). Die Gesamtumweltbelastungen sind in UBP/m²/a angegeben.

MFH 04					
	Konstruktion	Instandhaltung	Rückbau	Betrieb	Total
Luftschadstoffemissionen	1'433	1'080	1'213	-	3'727
Emissionen ins Wasser	306	366	192	-	864
Emissionen in Boden	3	6	4	-	14
Ressourcenverbrauch	14	34	13	-	60
Abfall	134	65	111	-	309
Summe	1'891	1'550	1'533	9'681	4'974
MFH 06					
Luftschadstoffemissionen	2'297	1'195	652	-	4'144
Emissionen ins Wasser	504	493	113	-	1'109
Emissionen in Boden	7	8	5	-	19
Ressourcenverbrauch	41	28	26	-	95
Abfall	125	83	33	-	241
Summe	2'974	1'807	830	1'013	5'610

Züger & Gutri (2012) ermitteln in ihren Fallstudien eine spezifische Umweltbelastung von ca. 12'000 – 14'000 UBP/m² und Jahr für Minergie-Neubauten und von 6'000 bis 7'000 UBP/m²/a für Sanierungen nach Minergie-Standard (ohne Betrieb des Gebäudes). Die hier untersuchten Gebäude verursachen für das herkömmliche Wohngebäude geringere Umweltbelastungen als bei Züger & Gutri (2012) ermittelt. Diejenigen des Minergie-Gebäudes liegen leicht tiefer als jene von Züger & Gutri.

Jungbluth et al. (2012) ermittelt in seiner Studie eine Gesamtumweltbelastung von 20 Mio. UBP pro Kopf pro Jahr für die Schweiz. Der Wohnungsbau verursacht davon ca. 1 Mio. UBP/Person/Jahr. Dies entspricht ungefähr den hier ermittelten Werten für die jährliche Belastung pro Kopf verursacht durch die Gebäude, siehe Tab. 3.9. Hierbei wurde die Gesamtumweltbelastung der Gebäude geteilt durch die durchschnittlich zu erwartende Anzahl Bewohner (9 Personen in MFH 04 und 6.7 Personen in MFH 06).

4. Folgerungen

Tab. 3.9 Jährliche Gesamtumweltbelastung pro Kopf der Gebäude Mio. UBP/p/a

	MFH 04	MFH 06
Gesamtumweltbelastung	0.48	1.03

Würden beide Gebäude über dieselbe Haustechnik verfügen, so sind die Umweltbelastungen verursacht durch den Betrieb des SIA 380/1 Gebäudes ca. um einen Faktor 9 höher als diejenigen durch den Betrieb des Minergie P-Eco Gebäudes.

4 Folgerungen

Die externen Kosten für die Konstruktion, die Instandhaltung, den Rückbau sowie den Betrieb des Gebäudes erhöhen die Erstellungskosten der Gebäude um ca. 2 – 7 % unter Anwendung der NEEDS-Methode und 5 – 28 % bei Anwendung von Ecoplan. Die Beiträge von Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau einerseits und Betrieb andererseits sind beim Gebäude MFH 04 etwa gleich gross. Beim Gebäude MFH 06 wird der Grossteil der externen Kosten durch Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau verursacht. Die Konstruktion eines Gebäudes verursacht ca. 60 % der externen Kosten. Instandhaltung und Rückbau tragen je ca. 20 % dazu bei.

Konstruktion, Instandhaltung und Rückbau des Gebäudes MFH 06 (Energiestandard Minergie P-Eco) verursachen ähnlich hohe spezifische externe Kosten verglichen mit dem Gebäude MFH 04 (Energiestandard SIA 380/1). Die externen Kosten des Betriebs des Gebäudes sind für das Minergie P Eco-Gebäude deutlich geringer. Sie liegen (vorausgesetzt die Gebäude verfügen über dieselbe Haustechnik) um einen Faktor 11-14 tiefer für das Minergie P-Eco Gebäude. Die Gesundheitskosten sowie die Klimaschadenskosten prägen die Höhe der gesamten externen Kosten.

In der Summe (inkl. Betrieb) verursacht das Minergie P-Eco Gebäude insgesamt über den gesamten Lebensweg deutlich geringere externe Kosten als das SIA 380/1 Gebäude. Die gesamten spezifischen externen Kosten des Minergie P-Eco Gebäudes sind ca. halb so gross wie diejenigen des Gebäudes MFH 04.

Die spezifischen Gesamtumweltbelastung (Erstellung und Betrieb) für das Minergie P-Eco Gebäude ist deutlich geringer als diejenige des SIA 380/1 Gebäudes, nämlich ca. halb so gross. Die erhöhten Aufwendungen für das Erstellen des Gebäudes können also durch die während des Betriebs erzielbaren Einsparungen mehr als wettgemacht werden. Externen Kosten und Gesamtumweltbelastung gemäss der Methode der ökologischen Knappheit zeigen diesbezüglich in dieselbe Richtung.

Betrachtet man jedoch nur die Konstruktion, Instandhaltung und den Rückbau, so verursacht das SIA 380/1-Gebäude leicht tiefere Umweltbelastungen als das Minergie P-Eco Gebäude. Der Betrieb (Heizung, Klima) ist beim herkömmlichen Gebäude ca. 195 % grösser als die Belastungen durch die Erstellung. Die Belastungen durch den

4. Folgerungen

Betrieb des Minergie P-Eco Gebäudes hingegen entsprechen ca. 18 % der Umweltbelastung der Erstellung. Verglichen mit dem SIA 380/1-Gebäude werden die etwas höheren Umweltbelastungen des Minergie P-Eco Gebäudes in der Erstellung durch die tiefen Belastungen durch den Betrieb wettgemacht.

Anhang

Kostensätze gemäss Ecoplan und NEEDS

Die externen Kosten gemäss EU Projekt NEEDS sind in Tab. A. 1 beschrieben. Gemäss dieser Methode werden fünf Kostenkategorien (Gesundheit, Biodiversität, Ernteschaden, Materialschaden, Landverbrauch und Klimaschäden, mit den Varianten hoch und tief) unterschieden.

Tab. A. 1 Externe Kosten gemäss EU Projekt NEEDS pro Substanz und Wirkungskategorie

Impact category	Compartment	Component	Ext. Costs	Unit
health	Air	Aerosols, radioactive, unspecified	0.00	CHF / Bq
health	Air	Ammonia	22.42	CHF / kg
health	Air	Arsenic	1252.14	CHF / kg
health	Air	Cadmium	197.95	CHF / kg
health	Air	Carbon-14	0.00	CHF / Bq
health	Water	Carbon-14	0.00	CHF / Bq
health	Air	Chromium	31.33	CHF / kg
health	Air	Chromium VI	156.65	CHF / kg
health	Air	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	87477527.50	CHF / kg
health	Air	Formaldehyde	0.47	CHF / kg
health	Air	Hydrogen-3, Tritium	0.00	CHF / Bq
health	Water	Hydrogen-3, Tritium	0.00	CHF / Bq
health	Air	Iodine-131	0.00	CHF / Bq
health	Water	Iodine-131	0.00	CHF / Bq
health	Air	Iodine-133	0.00	CHF / Bq
health	Air	Krypton-85	0.00	CHF / Bq
health	Water	Krypton-85	0.00	CHF / Bq
health	Air	Lead	657.94	CHF / kg
health	Air	Mercury	18914.06	CHF / kg
health	Air	Nickel	5.44	CHF / kg

Anhang

Impact category	Compartment	Component	Ext. Costs	Unit
health	Air	Nitrogen oxides	13.53	CHF / kg
health	Air	NMVOC	2.22	CHF / kg
health	Air	1-Butanol	2.22	CHF / kg
health	Air	1-Pentanol	2.22	CHF / kg
health	Air	1-Pentene	2.22	CHF / kg
health	Air	1-Propanol	2.22	CHF / kg
health	Air	1,4-Butanediol	2.22	CHF / kg
health	Air	2-Aminopropanol	2.22	CHF / kg
health	Air	2-Butene, 2-methyl-	2.22	CHF / kg
health	Air	2-Methyl-1-propanol	2.22	CHF / kg
health	Air	2-Nitrobenzoic acid	2.22	CHF / kg
health	Air	2-Propanol	2.22	CHF / kg
health	Air	Acenaphthene	2.22	CHF / kg
health	Air	Acetaldehyde	2.22	CHF / kg
health	Air	Acetic acid	2.22	CHF / kg
health	Air	Acetone	2.22	CHF / kg
health	Air	Acetonitrile	2.22	CHF / kg
health	Air	Acrolein	2.22	CHF / kg
health	Air	Acrylic acid	2.22	CHF / kg
health	Air	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	2.22	CHF / kg
health	Air	Noble gases, radioactive, unspecified	0.00	CHF / Bq
health	Air	Particulates, < 2.5 um	58.09	CHF / kg
health	Air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	3.14	CHF / kg
health	Air	Sulfur dioxide	15.01	CHF / kg
health	Air	Thorium-230	0.00	CHF / Bq
health	Air	Uranium-234	0.00	CHF / Bq
health	Water	Uranium-234	0.00	CHF / Bq
health	Air	Uranium-235	0.00	CHF / Bq

Anhang

Impact category	Compartment	Component	Ext. Costs	Unit
health	Water	Uranium-235	0.00	CHF / Bq
health	Air	Uranium-238	0.00	CHF / Bq
health	Water	Uranium-238	0.00	CHF / Bq
biodiversity	Air	Ammonia	8.06	CHF / kg
biodiversity	Air	Nitrogen oxides	2.23	CHF / kg
biodiversity	Air	NMVOC	-0.17	CHF / kg
biodiversity	Air	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-0.17	CHF / kg
biodiversity	Air	Sulfur dioxide	0.44	CHF / kg
crop yield	Air	Ammonia	-0.43	CHF / kg
crop yield	Air	Nitrogen oxides	0.78	CHF / kg
crop yield	Air	NMVOC	0.45	CHF / kg
crop yield	Air	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0.45	CHF / kg
crop yield	Air	Sulfur dioxide	-0.09	CHF / kg
material damage	Air	Nitrogen oxides	0.17	CHF / kg
material damage	Air	Sulfur dioxide	0.61	CHF / kg
land use	Raw	Transformation, from arable	0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from arable, non-irrigated	0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from arable, non-irrigated, diverse-intensive	0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from arable, non-irrigated, fallow	0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from arable, non-irrigated, monotone-intensive	0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from arable, organic	0.40	CHF / m2

Anhang

Impact category	Compartment	Component	Ext. Costs	Unit
land use	Raw	Transformation, from forest	6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from forest, extensive	6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from forest, intensive	6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from forest, intensive, clear-cutting	6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from forest, intensive, normal	6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from forest, intensive, short-cycle	6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from pasture and meadow	1.30	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from pasture and meadow, extensive	1.80	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from pasture and meadow, intensive	0.80	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from pasture and meadow, organic	1.80	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, from unknown	3.59	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to arable	-0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to arable, non-irrigated	-0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to arable, non-irrigated, diverse-intensive	-0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to arable, non-irrigated, fallow	-0.40	CHF / m2

Anhang

Impact category	Compartment	Component	Ext. Costs	Unit
land use	Raw	Transformation, to arable, non-irrigated, monotone-intensive	-0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to arable, organic	-0.40	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to forest	-6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to forest, extensive	-6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to forest, intensive	-6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to forest, intensive, clear-cutting	-6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to forest, intensive, normal	-6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to forest, intensive, short-cycle	-6.29	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to pasture and meadow	-1.30	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to pasture and meadow, extensive	-1.80	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to pasture and meadow, intensive	-0.80	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to pasture and meadow, organic	-1.80	CHF / m2
land use	Raw	Transformation, to unknown	-3.59	CHF / m2
climate - low damage costs	Air	Carbon dioxide	0.02	CHF / kg
climate - low damage costs	Air	Carbon dioxide, fossil	0.02	CHF / kg
climate - low damage costs	Air	Carbon dioxide, land transformation	0.02	CHF / kg

Anhang

Impact category	Compartment	Component	Ext. Costs	Unit
climate - low damage costs	Air	Dinitrogen monoxide	28.40	CHF / kg
climate - low damage costs	Air	Methane	0.73	CHF / kg
climate - low damage costs	Air	Methane, biogenic	0.73	CHF / kg
climate - low damage costs	Air	Methane, fossil	0.73	CHF / kg
climate - low damage costs	Air	Sulfur hexafluoride	1.43	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Carbon dioxide	0.23	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Carbon dioxide, fossil	0.23	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Carbon dioxide, land transformation	0.23	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Dinitrogen monoxide	306.60	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Methane	8.42	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Methane, biogenic	8.42	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Methane, fossil	8.42	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Sulfur hexafluoride	14.55	CHF / kg

Die externen Kosten gemäss Ecoplan sind in Tab. A. 3 aufgelistet. Diese umfassen vier Luftschadstoffe in der Kategorie Gesundheitskosten, sowie eine hohe und eine tiefe CO₂-Abgabe, stellvertretend für Klimaschadenskosten.

Anhang

Tab. A. 2 Übersicht über die externen Kosten gemäss NEEDS sowie der Energiestrategie 2050 verschiedener Energieträger und Technologien zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser; Bezugsgrösse 1 MJ Nutzenergie

Energieträger	Lokalität	NEEDS tiefe/hohe Klimaschadenskosten in CHF/MJ	Ecoplan tiefe/hohe Klimaschadenskosten in CHF/MJ
Holz, Pellets	CH	0.0046 / 0.0082	0.0084 / 0.0196
Holz, Schnitzel	CH	0.0059 / 0.0077	0.0081 / 0.0120
Holz, Stückholz	CH	0.0075 / 0.0102	0.0085 / 0.0117
Erdsonden- wärmepumpe	RER	0.0043 / 0.0133	0.0144 / 0.0498
Luft/Wasser- Wärmepumpe	RER	0.0053 / 0.0169	0.0195 / 0.0679
Flachdachkollektor Warmwasser MFH	CH	0.0008 / 0.0018	0.0024 / 0.0063
Röhrenkollektor Warmwasser , EFH	CH	0.0016 / 0.0036	0.0047 / 0.0124
Öl	CH	0.0056 / 0.0261	0.0266 / 0.1113
Erdgas	RER	0.0026 / 0.0189	0.0160 / 0.0756
Kohle	RER	0.0211 / 0.0588	0.0684 / 0.2095
Kohle, Briketts	RER	0.0212 / 0.0555	0.0676 / 0.1865
Strom	CH	0.0044 / 0.0132	0.0043 / 0.0102

Tab. A. 3 Externe Kosten gemäss Ecoplan pro Substanz und Wirkungskategorie

Impact category	Compartment	Component	Ext. Costs	Unit
Health	Air	Nitrogen oxides	35.64	CHF / kg
Health	Air	Sulfur dioxide	32.40	CHF / kg
Health	Air	Ammonia	51.84	CHF / kg
Health	Air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	162.00	CHF / kg
climate - low damage costs	Air	Carbon dioxide, fossil	0.21	CHF / kg
climate - high damage costs	Air	Carbon dioxide, fossil	1.14	CHF / kg

Literaturverzeichnis

- ecoinvent Centre 2010 ecoinvent Centre (2010) ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Ecoplan 2012 Ecoplan (2012) Energiestrategie 2050 - Volkswirtschaftliche Auswirkungen; Analyse in einem berechenbaren Gleichgewichtsmodell für die Schweiz. Bundesamt für Energie, BFE, Bern.
- Eurostat 2008 Eurostat (2008) Kaufkraftparität 2008. Retrieved 7.2.2013 retrieved from: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tec00114>.
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de.
- Frischknecht 2010 Frischknecht R. (2010) NEEDS: Effective assessment of long-term sustainable energy policies in Europe by integrating LCA, external costs and energy planning models. In proceedings from: Der Systemblick auf Innovation – Technikfolgenabschätzung in der Technikgestaltung, NTA4 – Vierte Konferenz des Netzwerkes TA, 24.-26. November 2010, Berlin, retrieved from: <http://www.itas.fzk.de/v/nta4/>.
- John 2012 John V. (2012) Derivation of reliable simplification strategies for the comparative LCA of individual and "typical" newly built Swiss apartment buildings Professur für Nachhaltiges Bauen, ETH Zürich, Zürich.
- Jungbluth et al. 2012 Jungbluth N., Itten R. and Stucki M. (2012) Umweltbelastungen des privaten Konsums und Reduktionspotenziale. ESU-services Ltd. im Auftrag des BAFU, Uster, CH, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/projects/lifestyle/>.
- KBOB et al. 2012 KBOB, eco-bau and IPB (2012) Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2012. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.
- PRé Consultants 2012 PRé Consultants (2012) SimaPro 7.3.3, Amersfoort, NL, retrieved from: www.esu-services.ch/simapro/.
- SIA 2010 SIA (2010) Graue Energie von Gebäuden, Merkblatt 2032. In: Merkblatt 2032 (ed. SIA). SIA, Zurich.

Literaturverzeichnis

- SNB 2008 SNB (2008) Wechselkurs Euro/Schweizer Franken. Retrieved 7.2.2013 retrieved from:
http://www.snb.ch/de/iabout/stat/statpub/akziwe/stats/akziwe/akziwe_S1_Wechsel.
- Züger & Gutri 2012 Züger Y. and Gutri C. (2012) Ökobilanz Erstellung - Bauprojekte im Vergleich, Vol. 17. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt», ETH Zürich (ed. Stadt Zürich A. f. H., Fachstelle nachhaltiges Bauen), Zurich, retrieved from:
http://www.stadt-zue-ric.ch/content/hbd/de/index/hochbau/nachhaltiges_bauen/Fachinformationen/Themenschwerpunkt_6_-_Graue_Energie_und_Stoffkreislaeufe.html#abgeschlossene_studien2012.