

Primärenergiefaktoren von Energiesystemen

Version 2.2, Juli 2012

Autoren

Rolf Frischknecht

Matthias Stucki

Karin Flury

René Itten

Matthias Tuchschnid

ESU-services Ltd.
Rolf Frischknecht
Niels Jungbluth
Sybille Büsler
Karin Flury
René Itten
Salome Schori
Matthias Stucki
www.esu-services.ch

Kanzleistrasse 4
T +41 44 940 61 91
T +41 44 940 61 32
T +41 44 940 61 35
T +41 44 940 61 02
T +41 44 940 61 38
T +41 44 940 61 35
T +41 44 940 67 94
F +41 44 940 61 94

CH - 8610 Uster
frischknecht@esu-services.ch
jungbluth@esu-services.ch
buesser@esu-services.ch
flury@esu-services.ch
itten@esu-services.ch
schori@esu-services.ch
stucki@esu-services.ch

| Impressum | |
|----------------------|---|
| Titel | Primärenergiefaktoren von Energiesystemen |
| Autoren | Dr. Rolf Frischknecht Matthias Stucki Karin Flury René Itten Matthias Tuchschnid ESU-services GmbH, fair consulting in sustainability Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster www.esu-services.ch Telefon +41 44 940 61 91 |
| Auftraggeber | Bundesamt für Energie, BFE Olivier Meile |
| Fachliche Begleitung | Dr. Martin Lenzlinger, SIA, Zürich Bruno Bébié, Stadt Zürich, Energiebeauftragter Toni W. Püntener, Stadt Zürich, Umweltschutzfachstelle |
| Copyright | ESU-services Ltd. owns the copyright of the tool described in this report. |
| 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. |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG | 1 |
| 1.1 | Übersicht und Datenbasis | 1 |
| 1.2 | Bezugsgrösse | 1 |
| 1.3 | Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze | 2 |
| 2 | SACHBILANZEN: IN GEBÄUDE / TANK GELIEFERTE ENERGIE | 6 |
| 2.1 | Brennstoffe fossil | 6 |
| 2.1.1 | Fossile Brennstoffe : Heizöl EL, Erdgas, Koks und Kohle Brikett | 6 |
| 2.1.2 | Propan / Butan | 6 |
| 2.2 | Brennstoffe Biomasse..... | 7 |
| 2.2.1 | Grüingutvergärung | 7 |
| 2.2.2 | Biogasmix und -aufbereitung | 8 |
| 2.3 | Treibstoffe fossil & Biomasse | 10 |
| 2.4 | Wärme : Fernwärme | 13 |
| 2.4.1 | Übersicht der eingesetzten Energieträger | 13 |
| 2.4.2 | Wärmeproduktion mittels Abwasserwärmepumpe..... | 14 |
| 2.4.3 | Blockheizkraftwerk Biogas | 14 |
| 2.4.4 | Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft | 15 |
| 2.4.5 | Transport von Fernwärme | 15 |
| 2.5 | Elektrizitätserzeugung und dessen Bezug via Netz..... | 17 |
| 2.5.1 | Übersicht der eingesetzten Technologien..... | 17 |
| 2.5.2 | Photovoltaik | 17 |
| 2.5.3 | Geothermie | 18 |
| 2.5.4 | Verluste der verschiedenen Spannungsebenen..... | 19 |
| 2.5.5 | Schweizer Strommix | 20 |
| 3 | SACHBILANZEN: ENERGIE AUSGANG ENERGIEWANDLER | 21 |
| 3.1 | Brenn- und Treibstoffe | 21 |
| 3.2 | Wärme : erneuerbar am Gebäudestandort | 21 |
| 3.3 | Elektrizitätserzeugung erneuerbar am Standort..... | 22 |
| 4 | SACHBILANZEN KOLLEKTOR- UND PHOTOVOLTAIKANLAGEN..... | 23 |
| 4.1 | Kollektoranlagen | 23 |
| 4.2 | Photovoltaikanlagen | 24 |
| 5 | PARAMETRISIERTE RECHNER | 26 |
| 5.1 | Strommix-Rechner | 26 |
| 5.2 | Fernwärme-Rechner | 26 |
| 5.3 | Wärmepumpen-Rechner..... | 27 |
| 6 | LITERATUR..... | 29 |

1 Einleitung und Fragestellung

Für die Umsetzung der 2000W-Gesellschaft in der Stadt Zürich, dem SIA Energieausweis für Gebäude und im Merkblatt Graue Energie des SIA werden Faktoren zum Kumulierten Energieaufwand (Primärenergiefaktoren), zu den Treibhausgasemissionen und zu den Umweltbelastungspunkten 2006 von Energiesystemen benötigt. Diese Faktoren sowie eine Beschreibung der verwendeten Datensätze und Annahmen befinden sich in diesem Bericht. Die zusammenfassenden Tabellen mit allen Faktoren befinden sich auf den Seiten 3 und 4 (Tab. 1.1 und Tab. 1.2). Es handelt sich um eine Aktualisierung der 2008 erstmals publizierten Liste.

1.1 Übersicht und Datenbasis

In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels wird auf die Bezugsgrössen, die Systemgrenzen und die Modellierungsgrundsätze eingegangen. In den Kapiteln 2 und 3 sind die Bilanzen der einzelnen Energiesysteme und die getroffenen Annahmen dokumentiert. Kapitel 4 enthält eine Beschreibung der verwendeten Sachbilanzdaten der Herstellung von Sonnenkollektoren und Solarpanels (pro m²).

Wo verfügbar, bilden die Datensätze des ecoinvent Datenbestandes v2.2 die Basis der Auswertung (ecoinvent Centre 2010). Die Auswertung erfolgt mit der Software SimaPro 7.2.4 von PRé. In einzelnen Fällen müssen einige Elemente abgeändert werden, da teilweise andere Systemgrenzen gelten¹. In den Abschnitten 2.1.2, 2.4.2, 2.4.5, 2.5.2 und 2.5.3 sind Datensätze dokumentiert, die nicht auf den ecoinvent Datensätzen beruhen.

In Kapitel 5 sind die parametrisierten Modelle (Stromrechner, Wärmepumpenrechner und Fernwärme-rechner) beschrieben, welche integrale Bestandteile dieses Dokumentes sind. Diese Modelle können als Webrechner auf der Website von ESU-services GmbH genutzt werden.

1.2 Bezugsgrösse

Die Ergebnisse beziehen sich auf die nachfolgend aufgelisteten Bezugsgrössen:

- in das Gebäude beziehungsweise den Tank gelieferte Brenn- und Treibstoffe:
1 MJ oberer Heizwert
- am Ausgang der mit Brenn- und Treibstoffen betriebenen Energiewandler:
1 MJ Nutzenergie, 1 Personen- oder Tonnenkilometer Transportdienstleistung (pkm, tkm), beziehungsweise 1 m³ Aushubleistung einer Baumaschine.
- Wärme, erneuerbar am Gebäudestandort:
1 MJ vom Energiewandler ans Verteilnetz des Hauses geliefert
- Fernwärme:
1 MJ vom Fernwärmenetz ans Verteilnetz des Hauses geliefert
- Elektrizität, erneuerbar am Gebäudestandort:
1 MJ Strom ans Niederspannungsverteilstromnetz des Hauses geliefert
- Elektrizität, Bezug via Netz:
1 MJ Strom ans Niederspannungsverteilstromnetz des Hauses geliefert

¹ Beispielsweise dient im gesamten ecoinvent Datenbestand der untere Heizwert als Bezugsgrösse. In diesem Bericht werden die Primärenergiefaktoren "Eingang Gebäude / Tank" auf den oberen Heizwert bezogen und die im Haus liegende Infrastruktur, wie z.B. der Ölkessel wird nicht einberechnet (da zum Gebäude zählend).

1.3 Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze

Es werden zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen modelliert:

- Eingang Gebäude beziehungsweise Tank (siehe Tab. 1.1):
Die Faktoren beziehen sich auf die in das Gebäude beziehungsweise in den Tank gelieferte Energie. Bei den Faktoren von Brenn- und Treibstoffen sind die Aufwendungen zur Herstellung der Energiewandler am Gebäudestandort beziehungsweise zu Bau, Herstellung und Unterhalt von Strassen und Fahrzeugen nicht enthalten. Die Faktoren von am Standort erzeugter Energie (Wärme und Strom) beinhalten die Herstellung der Energiewandler (Sonnenkollektoren, Photovoltaikpanel, Wärmepumpenaggregat und Wärmetauscher).
- Ausgang Energiewandler (siehe Tab. 1.2):
Die Faktoren beziehen sich auf die vom Energiewandler an das Verteilnetz eines Gebäudes gelieferte Energie. Hier fliessen die Aufwendungen zur Herstellung des Energiewandlers und der Jahreswirkungsgrad des Energiewandlers in die Rechnung ein. Im Fall der Treibstoffe werden auch die Aufwendungen für Bau, Herstellung und Unterhalt der Fahrzeuge und der Strasseninfrastruktur mitberücksichtigt.

Die Infrastrukturaufwendungen entlang der Energiebereitstellung (Raffinerie, Bohrinseln, Kernkraftwerk, Stahlwerk) sind in beiden Fällen in den Ergebnissen enthalten.

Weitere Anmerkungen zur Modellierung:

- Bei den Datensätzen "Elektrizität, erneuerbar, am Gebäudestandort" sind keine Netzverluste und Aufwendungen der Netzinfrastruktur berücksichtigt.
- Bei den Datensätzen „Elektrizitätsbezug via Netz“ sind in allen Fällen die Verluste bis und mit Niederspannungsebene und die Aufwendungen des Baus der Stromleitungen und Umspannwerke enthalten.
- Die Ergebnisse der Fernwärme sowie der netzgebunden gelieferten Elektrizität beinhalten in jedem Fall die Herstellungsaufwendungen der Energiewandler (Heizkessel, Kraftwerk, Wärmepumpen, etc.). Die Aufwendungen für den Bau und Betrieb des Fernwärmeversorgungsnetzes sind ebenfalls enthalten, die Energieverluste im Fernwärmenetz sind berücksichtigt.
- Die Brennstoff-Kennwerte basieren auf heute eingesetzter moderner Feuerungstechnik, die Treibstoff-Kennwerte auf dem Durchschnitt der Fahrzeugflotte der Schweiz. Diese Wahl ist relevant bezüglich der Umweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit 2006: Umweltbelastungspunkte 2006).
- Energie, welche als Nebenprodukt aus anderen Prozessen entsteht (z.B. Abwärme aus der Kehrlichtverbrennung) wird in der Energiebilanz wie folgt behandelt:
Die von einer Kehrlichtverbrennungsanlage gelieferte Wärme im Fernwärmenetz stammt ursprünglich aus dem Abfall. Die Primärenergie der verbrannten Abfälle wurde bereits während der Herstellung der entsorgten Produkte verbucht (beispielsweise bei Kunststoffverpackungen als fossile Primärenergie). Die aus Abfällen und Abwärme gewonnene Energiemenge wird deshalb lediglich pro memoria mittels eines Primärenergiefaktors „Abwärme / Abfall“ quantifiziert. So wird für 1 MJ Wärme, die von einer KVA in ein Fernwärmenetz gespeist wird, 1 MJ des Primärenergiefaktor „Abwärme/Abfall“ verbucht. Wärme und Strom aus Biogas wird analog behandelt, da das Biogas aus biogenen Abfällen beziehungsweise Gülle gewonnen wird. Der Anteil „Primärenergie Abwärme/Abfall“ ist in der Summe „Primärenergie total“ nicht enthalten.

Tab. 1.1 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Energiesystemen: Bezugsgrösse ist die in den Tank oder in das Gebäude gelieferte Energie; ohne Aufwendungen für die Herstellung des im Gebäude liegenden Energiewandlers beziehungsweise des Transportmittels; inklusive Betriebsemissionen des im Gebäude liegenden Energiewandlers beziehungsweise des Transportmittels.

| Kategorie | Technologie | Bezugsgrösse | Primärenergiefaktor total [MJ-eq] | Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq] | Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq] | Primärenergiefaktor total erneuerbar [MJ-eq] | Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq] | CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq] | Kohlendioxid, fossil [kg] | Umweltbelastungspunkte [DIP06] | |
|--------------|-----------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|---|---------------------------|--------------------------------|-------|
| Brennstoffe | fossil | Heizöl EL | MJ | 1.24 | 1.19 | 0.04 | 0.01 | - | 0.083 | 0.081 | 44.4 |
| | | Erdgas | MJ | 1.12 | 1.10 | 0.01 | 0.00 | - | 0.066 | 0.059 | 31.5 |
| | | Propan/Butan | MJ | 1.18 | 1.14 | 0.04 | 0.01 | - | 0.078 | 0.074 | 39.3 |
| | | Kohle Koks | MJ | 1.69 | 1.65 | 0.03 | 0.01 | - | 0.120 | 0.103 | 110.3 |
| | | Kohle Brikett | MJ | 1.21 | 1.18 | 0.02 | 0.01 | - | 0.108 | 0.087 | 122.3 |
| | Biomasse | Stückholz | MJ | 1.06 | 0.03 | 0.02 | 1.01 | - | 0.004 | 0.002 | 27.6 |
| | | Holzschnitzel | MJ | 1.14 | 0.03 | 0.03 | 1.08 | - | 0.003 | 0.002 | 27.1 |
| | | Pellets | MJ | 1.22 | 0.12 | 0.09 | 1.01 | - | 0.010 | 0.009 | 27.8 |
| | | Biogas | MJ | 0.37 | 0.21 | 0.13 | 0.03 | 1.00 | 0.035 | 0.014 | 30.4 |
| Treibstoffe | fossil | Diesel in Lkw | MJ | 1.22 | 1.20 | 0.02 | 0.00 | - | 0.084 | 0.081 | 87.3 |
| | | Diesel in Baumaschine | MJ | 1.24 | 1.22 | 0.02 | 0.00 | - | 0.083 | 0.081 | 103.1 |
| | | Diesel in Pkw | MJ | 1.22 | 1.20 | 0.02 | 0.00 | - | 0.084 | 0.081 | 54.3 |
| | | Benzin in Pkw | MJ | 1.29 | 1.26 | 0.02 | 0.00 | - | 0.089 | 0.084 | 79.4 |
| | | Erdgas in Pkw | MJ | 1.18 | 1.14 | 0.03 | 0.01 | - | 0.066 | 0.061 | 40.5 |
| | | Kerosin in Flugzeug | MJ | 1.19 | 1.17 | 0.02 | 0.00 | - | 0.081 | 0.079 | 57.1 |
| | Biomasse | Biogas in Pkw | MJ | 0.35 | 0.18 | 0.14 | 0.03 | 1.00 | 0.030 | 0.011 | 35.6 |
| Wärme | Fernwärme | Heizzentrale Oel | MJ | 1.69 | 1.61 | 0.07 | 0.01 | - | 0.112 | 0.109 | 66.0 |
| | | Heizzentrale Gas | MJ | 1.56 | 1.51 | 0.05 | 0.01 | - | 0.087 | 0.082 | 42.9 |
| | | Heizzentrale Holz | MJ | 1.66 | 0.05 | 0.05 | 1.56 | - | 0.013 | 0.004 | 29.7 |
| | | Heizkraftwerk Holz | MJ | 1.41 | 0.05 | 0.05 | 1.32 | - | 0.011 | 0.003 | 25.5 |
| | | Heizzentrale EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8) | MJ | 2.15 | 0.24 | 0.95 | 0.96 | - | 0.028 | 0.018 | 62.2 |
| | | Heizzentrale EWP Erdsonde (JAZ 3.9) | MJ | 1.91 | 0.19 | 0.70 | 1.03 | - | 0.021 | 0.014 | 46.2 |
| | | Heizzentrale EWP Abwasser (JAZ 3.4) | MJ | 1.04 | 0.18 | 0.72 | 0.14 | 0.85 | 0.015 | 0.014 | 40.7 |
| | | Heizzentrale EWP Grundwasser (JAZ 3.4) | MJ | 2.01 | 0.21 | 0.79 | 1.00 | - | 0.022 | 0.016 | 51.9 |
| | | Heizzentrale Geothermie | MJ | 1.52 | 0.11 | 0.06 | 1.36 | - | 0.006 | 0.005 | 29.9 |
| | | Heizkraftwerk Geothermie | MJ | 0.59 | 0.07 | 0.05 | 0.46 | 0.79 | 0.004 | 0.004 | 20.9 |
| | | Kehrichtverbrennung | MJ | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 1.20 | 0.001 | 0.001 | 2.3 |
| | | Blockheizkraftwerk Diesel | MJ | 0.63 | 0.57 | 0.05 | 0.01 | 0.78 | 0.040 | 0.038 | 24.5 |
| | | Blockheizkraftwerk Gas | MJ | 0.65 | 0.60 | 0.04 | 0.01 | 0.72 | 0.038 | 0.032 | 20.0 |
| | | Blockheizkraftwerk Biogas | MJ | 0.23 | 0.11 | 0.10 | 0.02 | 1.20 | 0.019 | 0.007 | 17.5 |
| | | Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft | MJ | 0.08 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 1.20 | 0.006 | 0.002 | 7.2 |
| | | Fernwärme, Durchschnitt, CH | MJ | 0.85 | 0.74 | 0.06 | 0.06 | 0.58 | 0.045 | 0.042 | 24.8 |
| | | Fernwärme, Durchschnitt, KVA-Netze | MJ | 0.81 | 0.76 | 0.04 | 0.01 | 0.61 | 0.045 | 0.043 | 24.2 |
| Elektrizität | Elektrizitätsbezug via Netz | Atomkraftwerk | MJ | 4.07 | 0.05 | 4.02 | 0.01 | - | 0.005 | 0.003 | 153.4 |
| | | Erdgaskombikraftwerk GuD | MJ | 2.34 | 2.32 | 0.01 | 0.01 | - | 0.135 | 0.125 | 73.8 |
| | | Kohlekraftwerk (Dampf) | MJ | 4.02 | 3.94 | 0.05 | 0.03 | - | 0.344 | 0.304 | 175.1 |
| | | Kraftwerk Oel | MJ | 3.85 | 3.78 | 0.06 | 0.01 | - | 0.277 | 0.269 | 258.3 |
| | | Kehrichtverbrennung | MJ | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 1.12 | 0.002 | 0.001 | 13.8 |
| | | Heizkraftwerk Holz | MJ | 3.80 | 0.13 | 0.03 | 3.65 | - | 0.032 | 0.008 | 78.9 |
| | | Blockheizkraftwerk Diesel | MJ | 3.36 | 3.29 | 0.05 | 0.01 | - | 0.231 | 0.220 | 142.5 |
| | | Blockheizkraftwerk Gas | MJ | 3.29 | 3.27 | 0.01 | 0.01 | - | 0.205 | 0.174 | 111.1 |
| | | Blockheizkraftwerk Biogas | MJ | 0.98 | 0.57 | 0.33 | 0.08 | 1.12 | 0.102 | 0.036 | 96.2 |
| | | Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft | MJ | 0.20 | 0.10 | 0.06 | 0.04 | 1.12 | 0.050 | 0.007 | 60.6 |
| | | Photovoltaik | MJ | 1.62 | 0.31 | 0.06 | 1.25 | - | 0.028 | 0.023 | 52.1 |
| | | Photovoltaik Schrägdach | MJ | 1.58 | 0.27 | 0.06 | 1.25 | - | 0.025 | 0.020 | 47.6 |
| | | Photovoltaik Flachdach | MJ | 1.58 | 0.28 | 0.05 | 1.25 | - | 0.025 | 0.021 | 45.6 |
| | | Photovoltaik Fassade | MJ | 1.77 | 0.41 | 0.08 | 1.27 | - | 0.037 | 0.031 | 65.9 |
| | | Windkraft | MJ | 1.32 | 0.09 | 0.02 | 1.22 | - | 0.008 | 0.006 | 24.4 |
| | | Wasserkraft | MJ | 1.22 | 0.03 | 0.01 | 1.19 | - | 0.004 | 0.002 | 17.2 |
| | | Pumpspeicherung | MJ | 4.41 | 0.74 | 3.07 | 0.60 | - | 0.061 | 0.056 | 177.1 |
| | | Heizkraftwerk Geothermie | MJ | 3.36 | 0.16 | 0.03 | 3.17 | - | 0.009 | 0.008 | 47.2 |
| | | CH-Produktionsmix | MJ | 2.41 | 0.10 | 1.65 | 0.65 | - | 0.008 | 0.007 | 75.7 |
| | | CH-Verbrauchermix | MJ | 3.05 | 0.51 | 2.13 | 0.42 | 0.02 | 0.041 | 0.038 | 125.2 |
| UCTE-Mix | MJ | 3.54 | 2.01 | 1.31 | 0.22 | - | 0.165 | 0.156 | 177.5 | | |

Bezugsgrösse: Brenn- und Treibstoffe: oberer Heizwert; Fernwärme und Elektrizität: in Gebäude gelieferte Energie

Datenquelle: ecoinvent Datenbestand v2.2 und eigene Berechnungen

© ESU-services 2008-2012

Tab. 1.2 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Energiesystemen: am Ausgang des Energiewandlers gemessene Energie; inklusive Aufwendungen für die Herstellung des im Gebäude liegenden Energiewandlers beziehungsweise des Transportmittels; inklusive Betriebsemissionen des im Gebäude liegenden Energiewandlers beziehungsweise des Transportmittels.

| Kategorie | Technologie | Bezugsgrösse | Umweltauswirkungen | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|---|---------------------------|--------------------------------|-------|
| | | | Primärenergiefaktor total [MJ-eq] | Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq] | Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq] | Primärenergiefaktor erneuerbar [MJ-eq] | Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq] | CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq] | Kohlendioxid, fossil [kg] | Umweltbelastungspunkte [UBP06] | |
| Brennstoffe | fossil | Wärme Heizöl EL | MJ | 1.31 | 1.27 | 0.03 | 0.01 | - | 0.089 | 0.086 | 47.5 |
| | | Wärme Erdgas | MJ | 1.22 | 1.20 | 0.02 | 0.00 | - | 0.072 | 0.064 | 34.8 |
| | | Wärme Propan/Butan | MJ | 1.29 | 1.24 | 0.04 | 0.01 | - | 0.085 | 0.080 | 43.1 |
| | | Wärme Kohle Koks | MJ | 2.05 | 1.99 | 0.04 | 0.02 | - | 0.178 | 0.152 | 163.6 |
| | | Wärme Kohle Brikett | MJ | 1.53 | 1.50 | 0.03 | 0.01 | - | 0.160 | 0.128 | 181.1 |
| | Biomasse | Wärme Stückholz | MJ | 1.69 | 0.05 | 0.04 | 1.60 | - | 0.006 | 0.004 | 44.8 |
| | | Wärme Holzschnitzel | MJ | 1.56 | 0.05 | 0.05 | 1.46 | - | 0.006 | 0.004 | 38.1 |
| | | Wärme Pellets | MJ | 1.57 | 0.16 | 0.11 | 1.29 | - | 0.014 | 0.012 | 36.6 |
| | | Wärme Biogas | MJ | 0.42 | 0.24 | 0.15 | 0.03 | 1.11 | 0.039 | 0.016 | 34.3 |
| Treibstoffe | fossil | Transport Diesel Lkw | tkm | 4.65 | 4.31 | 0.28 | 0.06 | - | 0.280 | 0.267 | 315.3 |
| | | Aushub mit Baumaschine | m ³ | 8.07 | 7.83 | 0.20 | 0.04 | - | 0.534 | 0.516 | 664.4 |
| | | Transport Diesel Pkw | pkm | 3.05 | 2.61 | 0.36 | 0.08 | - | 0.178 | 0.170 | 149.2 |
| | | Transport Benzin Pkw | pkm | 3.40 | 2.95 | 0.38 | 0.08 | - | 0.201 | 0.190 | 206.6 |
| | | Transport Erdgas Pkw | pkm | 3.38 | 2.86 | 0.43 | 0.09 | - | 0.166 | 0.154 | 139.6 |
| | | Transport Flugzeug | pkm | 2.48 | 2.43 | 0.04 | 0.01 | - | 0.167 | 0.164 | 118.9 |
| | Biomasse | Transport Biogas Pkw | pkm | 1.73 | 0.93 | 0.66 | 0.14 | 3.39 | 0.096 | 0.054 | 133.3 |
| Wärme | erneuerbar am Gebäudestandort | Flachkollektor Warmwasser EFH | MJ | 1.62 | 0.15 | 0.14 | 1.32 | - | 0.012 | 0.011 | 28.7 |
| | | Flachkollektor WW und RH EFH | MJ | 1.85 | 0.14 | 0.10 | 1.61 | - | 0.011 | 0.010 | 25.1 |
| | | Flachkollektor Warmwasser MFH | MJ | 1.24 | 0.06 | 0.04 | 1.14 | - | 0.005 | 0.004 | 11.4 |
| | | Röhrenkollektor WW und RH EFH | MJ | 1.74 | 0.12 | 0.08 | 1.53 | - | 0.009 | 0.009 | 21.0 |
| | | EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8) | MJ | 1.74 | 0.19 | 0.76 | 0.79 | - | 0.023 | 0.014 | 49.9 |
| | | EWP Erdsonde (JAZ 3.9) | MJ | 1.55 | 0.15 | 0.55 | 0.85 | - | 0.016 | 0.011 | 36.6 |
| | | EWP Grundwasser (JAZ 3.4) | MJ | 1.62 | 0.17 | 0.63 | 0.83 | - | 0.018 | 0.012 | 41.3 |
| Elektrizität | erneuerbar am Gebäudestandort | Photovoltaik | MJ | 1.43 | 0.26 | 0.05 | 1.12 | - | 0.023 | 0.019 | 34.1 |
| | | Photovoltaik Schrägdach | MJ | 1.39 | 0.23 | 0.05 | 1.11 | - | 0.020 | 0.017 | 30.2 |
| | | Photovoltaik Flachdach | MJ | 1.39 | 0.23 | 0.04 | 1.11 | - | 0.021 | 0.017 | 28.3 |
| | | Photovoltaik Fassade | MJ | 1.55 | 0.35 | 0.07 | 1.13 | - | 0.031 | 0.027 | 46.3 |
| | | Windkraft | MJ | 1.16 | 0.06 | 0.01 | 1.08 | - | 0.005 | 0.004 | 9.4 |
| | | Biogas | MJ | 0.85 | 0.49 | 0.29 | 0.07 | 1.00 | 0.089 | 0.031 | 73.3 |
| | | Biogas, Landwirtschaft | MJ | 0.16 | 0.07 | 0.05 | 0.03 | 1.00 | 0.043 | 0.005 | 41.7 |

Bezugsgrösse: Brennstoffe: Nutzenergie; Treibstoffe: Transportdienstleistung beziehungsweise Aushubvolumen

Datenquelle: ecoinvent Datenbestand v2.2 und eigene Berechnungen

© ESU-services 2008-2012

Tab. 1.3 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Kollektor- und Photovoltaikanlagen; nur Aufwendungen für die Herstellung und Montage der Kollektoren, ohne Aufwendungen für den Betrieb und die Entsorgung

| Anlage grösse [m ²] | | Anlagentyp | Bezugsgrösse | Primärenergiefaktor total [MJ-eq] | Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq] | Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq] | Primärenergiefaktor total erneuerbar [MJ-eq] | Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq] | CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq] | Kohlendioxid, fossil [kg] | Umweltbelastungspunkte [UBP'06] |
|--|------|---|----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|---|---|--|------------------------------|------------------------------------|
| Kollektoranlage am Gebäudestandort | 5 | Cu-Kollektoranlage, EFH, für Warmwasser | m ² | 5'065 | 3'750 | 772 | 543 | 0.00 | 289.04 | 260.93 | 638'906 |
| | 10.5 | Vakuümrohrenkollektor, EFH, für RH und WW | m ² | 3'854 | 2'939 | 561 | 354 | 0.00 | 216.44 | 200.27 | 437'155 |
| | 12 | Cu-Kollektoranlage, EFH, für RH und WW | m ² | 3'739 | 2'765 | 566 | 407 | 0.00 | 214.75 | 192.49 | 431'908 |
| | 20 | Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser | m ² | 3'161 | 2'357 | 480 | 324 | 0.00 | 183.92 | 164.43 | 380'960 |
| | 30 | Al-Cu-Kollektoranal., MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser | m ² | 3'135 | 2'319 | 477 | 339 | 0.00 | 184.26 | 162.66 | 309'704 |
| | 30 | Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Flachdach, für Warmwasser | m ² | 2'947 | 2'218 | 438 | 291 | 0.00 | 174.65 | 157.54 | 374'057 |
| | 30 | Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser | m ² | 2'901 | 2'160 | 437 | 303 | 0.00 | 168.50 | 150.41 | 356'590 |
| | 81 | Cu-Kollektor-Grossanlage, MFH, für Warmwasser | m ² | 2'596 | 1'933 | 392 | 271 | 0.00 | 151.69 | 135.05 | 408'204 |
| Photovoltaikanlage am Gebäudestandort | | Photovoltaik | m ² | 4'111 | 3'015 | 613 | 483 | 0.00 | 264.36 | 224.48 | 377'865 |
| | | Photovoltaik Schrägdach | m ² | 4'042 | 2'957 | 609 | 476 | 0.00 | 259.40 | 220.14 | 374'636 |
| | | Photovoltaik Flachdach | m ² | 4'401 | 3'273 | 618 | 510 | 0.00 | 286.28 | 242.86 | 378'571 |
| | | Photovoltaik Fassade | m ² | 4'337 | 3'180 | 645 | 512 | 0.00 | 279.00 | 238.41 | 407'745 |
| Photovoltaikanlage am Gebäudestandort | | Photovoltaik | kWp | 31'568 | 23'136 | 4'742 | 3'690 | - | 2'027 | 1'720 | 2'894'608 |
| | | Photovoltaik Schrägdach | kWp | 31'336 | 22'909 | 4'764 | 3'662 | - | 2'007 | 1'702 | 2'894'396 |
| | | Photovoltaik Flachdach | kWp | 32'724 | 24'337 | 4'590 | 3'796 | - | 2'129 | 1'806 | 2'815'187 |
| | | Photovoltaik Fassade | kWp | 32'061 | 23'508 | 4'759 | 3'793 | - | 2'062 | 1'762 | 3'015'769 |

Datenquelle: Stucki & Jungbluth (2010), Jungbluth et al. (2012)

© ESU-services 2012

2 Sachbilanzen: In Gebäude / Tank gelieferte Energie

2.1 Brennstoffe fossil

Tab. 2.1 Übersicht der fossilen Brennstoffe und der entsprechenden Sachbilanzdatensätze; CH: Schweiz; RER: Europa

| Brennstoff | Name des ecoinvent Datensatzes | Lokalität |
|---------------|--|-----------|
| Heizöl EL | light fuel oil, burned in boiler 10kW, non-modulating | CH |
| Erdgas | natural gas, burned in boiler, condensing, modulating <100kW | RER |
| Propan/Butan | für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 2.1.2 | |
| Kohle Koks | hard coal coke, burned in stove 5-15kW | RER |
| Kohle Brikett | hard coal briquette, burned in stove 5-15kW | RER |

2.1.1 Fossile Brennstoffe : Heizöl EL, Erdgas, Koks und Kohle Brikett

Gemäss der in Kapitel 1.2 beschriebenen Methodik sind die Brennvorrichtungen wie Ofen oder Heizkessel nicht Teil der Bilanz. So wird im Vergleich zum ecoinvent Datenbestand v2.2 bei den Datensätzen jeweils der Bezug der Heizungsinfrastruktur auf Null gesetzt. Ebenso dient statt des unteren hier der obere Heizwert als Bezugsgrösse. Da die ecoinvent Daten bezogen auf den unteren Heizwert vorliegen, werden die Ergebnisse mit dem Faktor von unterem zu oberem Heizwert dividiert (siehe Tab. 2.2).

Tab. 2.2 Umrechnung der Bezugsgrössen "Unterer Heizwert zu oberem Heizwert"

| Energieträger | Unterer Heizwert | Oberer Heizwert | Faktor |
|----------------------|------------------|-----------------|--------|
| Steinkohle (Koks) | 31.4 MJ/kg | 32.4 MJ/kg | 1.03 |
| Steinkohle (Brikett) | 31.4 MJ/kg | 32.4 MJ/kg | 1.03 |
| Erdgas | 45.4 MJ/kg | 50.4 MJ/kg | 1.11 |
| Heizöl (extraleicht) | 42.6 MJ/kg | 45.2 MJ/kg | 1.07 |
| Propan/Butan | 46.1 MJ/kg | 49.9 MJ/kg | 1.083 |

Da in der ecoinvent Datenbank regionalspezifische Unterschiede des Heizwertes in den Steinkohledatensätzen abgebildet sind, die Bewertungsmethode Kumulierter Energieaufwand jedoch dies nicht berücksichtigt, wird eine Korrektur der fossilen CED-Werte für „Steinkohle (Koks)“ und „Steinkohle (Brikett)“ vorgenommen. Die originalen CED-Werte sind gemäss dem Autor der Datensätze² mit den Faktoren 1.169 für Koks und 1.226 für das Kohlebrikett zu multiplizieren.

Im Zuge der Aktualisierung der Primärenergiefaktoren vom ecoinvent Datenbestand v2.01 zum ecoinvent Datenbestand v2.2 wurde der Datensatz „natural gas, burned in boiler atm. low-NOx cond. non-modul. <100kW RER“ durch den Datensatz „natural gas, burned in boiler, condensing, modulating <100kW RER ersetzt“. Letzterer beschreibt heute angebotene Erdgas-Heizkessel.

2.1.2 Propan / Butan

Die Wärmeerzeugung mittels Propan/Butanfeuerung wird auf Basis der Erdgasfeuerung „natural gas, burned in boiler atm. low-NOx cond. non-modul. <100kW“ modelliert. Der Brennstoff-Input wird mit

² Email von Christian Bauer, PSI, vom 25. Februar 2008.

dem ecoinvent Datensatz "propane/butane, at refinery, CH" abgebildet, die CO₂-Emissionen werden anhand der Stöchiometrie bestimmt (siehe Tab. 2.3).

Tab. 2.3 Berechnung der CO₂ Emissionen bei der Verbrennung von Butan / Propan

| Name | oberer Heizwert | unterer Heizwert | C-Gehalt: | CO ₂ -Emission: | Annahme Mischung Flüssig-gas Schweiz |
|---|-----------------|------------------|-----------|----------------------------|--------------------------------------|
| Propan (C ₃ H ₈) | 50.4 MJ/kg | 46.45 MJ/kg | 81.80% | 64.59 g/MJ | 50% |
| Butan (C ₄ H ₁₀) | 49.57 MJ/kg | 45.83 MJ/kg | 82.80% | 66.21 g/MJ | 50% |
| Mischung CH | 49.98 MJ/kg | 46.14 MJ/kg | 82.3 % | 65.40 g/MJ | - |

2.2 Brennstoffe Biomasse

Tab. 2.4 Übersicht der Brennstoffe auf Basis von Biomasse; CH: Schweiz

| Brennstoff | Name des ecoinvent Datensatzes | Lokalität |
|---------------|---|-----------|
| Stückholz | Logs, mixed, burned in furnace 30 kW | CH |
| Holzschnitzel | Wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50 kW | CH |
| Pellets | Pellets, mixed, burned in furnace 50 kW | CH |
| Biogas | Eigener Datensatz für dieses Projekt, basierend auf „natural gas, burned in boiler atm. low-NOx cond. non-modul. <100 kW“ | CH |

Gemäss der in Unterkapitel 1.2 beschriebenen Methodik ist die Herstellung der Heizkessel kommerzieller Energieträger nicht Teil der hier bilanzierten Systeme. So wird im Vergleich zum ecoinvent Datenbestand v2.2 bei den Datensätzen jeweils der Bezug der Heizungsinfrastruktur auf Null gesetzt. Ebenso dient statt des unteren der obere Heizwert als Bilanzierungsgrösse. Da die ecoinvent Daten bezogen auf den unteren Heizwert vorliegen, werden die Ergebnisse mit dem Faktor von unterem zu oberem Heizwert dividiert (siehe Tab. 2.5).

Tab. 2.5 Umrechnung der Bezugsgrössen "Unterer Heizwert zu oberem Heizwert"

| Energieträger | Unterer Heizwert | Oberer Heizwert | Faktor |
|---------------|------------------|-----------------|--------|
| Stückholz | 15.53 MJ/kg | 16.77 MJ/kg | 1.08 |
| Holzschnitzel | 16.92 MJ/kg | 18.27 MJ/kg | 1.08 |
| Pellets | 17.04 MJ/kg | 18.40 MJ/kg | 1.08 |
| Biogas | 45.4 MJ/kg | 50.4 MJ/kg | 1.11 |

2.2.1 Grüngutvergärung

Die ecoinvent Daten zur Grüngutvergärung (Jungbluth et al. 2007) sind mit neuen Daten zu den Emissionen in die Luft aktualisiert. Tab. 2.6 stellt die angewendeten Emissionsfaktoren aus Cuhls et al. (2008) dar.

Tab. 2.6 Emissionsfaktoren der Grüngutvergärung³ gemäss Cuhls et al. (2008). Allokationsfaktoren gemäss Jungbluth et al. (2007)

| Emission | g/kg FM | Allokation Biogas | Allokation Grüngutentsorgung | Allokation Gärgutausbringung |
|-----------------|---------|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| Biogenes Methan | 3.70 | 31 % | 69 % | - |
| Lachgas | 0.12 | 31 % | 69 % | - |
| NMVOG | 1.35* | 31 % | 69 % | - |
| Ammoniak | 0.20 | 22 % | 64 % | 14 % |

*Die NMVOG-Emissionen von 0.9 gC/kg FM werden auf 1.35 g NMVOG / kg FM umgerechnet unter der Annahme, dass Kohlenstoff 2/3 der NMVOG-Molmasse ausmacht.

2.2.2 Biogasmix und -aufbereitung

Für die Biogasaufbereitung zu Biomethan stehen Sachbilanzdaten von Stucki et al. (2011) zu den Technologien Druckwechseladsorption (PSA), Aminwäsche und Glykolwäsche zur Verfügung. Basierend auf der Jahresproduktion der Aufbereitungsanlagen, welche im Jahr 2012 Biomethan ins Erdgasnetz einspeisen ergibt sich ein Technologiemitmix mit 47.9 % Druckwechseladsorption, 43.3 % Aminwäsche und 8.9 % Glykolwäsche (vgl. Tab. 2.7 und Tab. 2.8). Für die Identifikation der Biogassubstrate werden die in Tab. 2.7 gezeigten Daten verwendet. Dabei zeigt sich, dass 46.2 % des aufbereiteten Biogases aus Grüngut gewonnen wird, 33.6 % aus Klärschlamm und 20.2 % aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen (vgl. Tab. 2.9).

Tab. 2.7 Übersicht über die Schweizer Biogasanlagen, welche im Jahr 2012 ins Erdgasnetz einspeisen⁴

| Ort / Name | Art / Substrat | Jahresproduktion 2011 (kWh) | System Aufbereitungsverfahren |
|---|---|-----------------------------|--|
| Otelfingen, Kompogas | Grüngut, Speiseresten, Industrieabfälle | 700'000 | PSA |
| Pratteln, Bio Power | Bioabfall kommunal und gewerblich | 6'694'409 | Genosorb |
| Emmen, GALU | Klärschlamm | 5'000'000 | PSA |
| Romanshorn | Klärschlamm und Co-Substrate | 1'100'000 | Genosorb |
| Bern | Klärschlamm und Co-Substrate | 17'000'000 | PSA |
| Widnau, Rhy Biogas | Gülle und Co-Substrate | 7'734'425 | PSA |
| Inwil, Swiss Farmer Power | Hofdünger, Grüngut, Co-Substrate | 13'360'200 | Aminwäsche |
| Meilen | Klärschlamm und Co-Substrate | 600'000 | Aminwäsche |
| Lavigny, Germanier | Grüngut und Co-Substrate | 6'000'000 | PSA |
| Utzenstorf, Kompogas* | Biogene Abfälle und Rückstände | 2'318'190 | keine CO ₂ -Abtrennung (eingeschränkte Einspeisung) |
| Roche, STEP | Klärschlamm | 5'550'000 | PSA |
| Volketswil, Kompogas | Grüngut und Co-Substrate | 9'000'000 | Aminwäsche |
| Münchwilen, BioRender | Abfälle aus tierischen Nebenprodukten | 15'000'000 | Aminwäsche |
| * nicht berücksichtigt, da keine Aufbereitung stattfindet | | | |

Da für die Wärmeerzeugung mit Biogas kein Datensatz vorliegt, wird aufgrund des Emissionsprofils der Erdgasfeuerung ein Datensatz mit dem Biogas-Input „Methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer“ erstellt. Kohlendioxid und Methan aus der Verbrennung werden als biogene Emissionen verbucht. Da Biogas aus biogenen Abfällen gewonnen wird, wird der Energieinput unter der pro-memoria-Grösse "Abwärme / Abfall" verbucht.

³ Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte

⁴ Persönliche Information von Alex Rudischhauser, Projektleiter erneuerbare Energien bei der Erdgas Zürich AG (20.06.2012)

Tab. 2.8 Sachbilanz der Anteile verschiedener Biogas-Aufbereitungstechnologien in der Schweiz

| | Name | Location | InfrastructureProcess | Unit | methane, 96 vol-%, from biogas, at purification | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|--------------|--|----------|-----------------------|------|---|-----------------|----------------------|---|
| | Location | | | | CH | | | |
| | InfrastructureProcess | | | | 0 | | | |
| | Unit | | | | Nm3 | | | |
| product | methane, 96 vol-%, from biogas, at purification | CH | 0 | Nm3 | 1 | | | |
| technosphere | biogas purification, to methane, 99 vol-%, amino washing process | CH | 0 | Nm3 | 43% | 1 | 3.01 | (3,1,1,1,1,1); 4 plants operating in 2012 |
| | biogas purification, to methane, 97 vol-%, glycol washing process | CH | 0 | Nm3 | 9% | 1 | 1.16 | (3,1,1,1,1,1); 2 plants operating in 2012 |
| | biogas purification, to methane, 96 vol-%, pressure swing adsorption | CH | 0 | Nm3 | 48% | 1 | 3.09 | (3,1,1,1,1,1); 6 plants operating in 2012 |
| | biogas, production mix, at storage | CH | 0 | Nm3 | 1.52E+0 | 1 | 1.09 | (2,5,2,1,3,5); raw biogas input |

Tab. 2.9 Sachbilanz der Anteile verschiedener Biogastypen in der Schweiz

| | Name | Location | InfrastructurePr | Unit | biogas, production mix, at storage | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|---------|---|----------|------------------|------|------------------------------------|-----------------|----------------------|---|
| | Location | | | | CH | | | |
| | InfrastructureProcess | | | | 0 | | | |
| | Unit | | | | Nm3 | | | |
| product | biogas, production mix, at storage | CH | 0 | Nm3 | 1 | | | |
| shares | biogas, from biowaste, at storage | CH | 0 | Nm3 | 47% | 1 | 1.24 | (3,1,1,1,1,1,5,BU:1.05); 6 operators in Switzerland in 2012 |
| | biogas, from sewage sludge, at storage | CH | 0 | Nm3 | 33% | 1 | 1.24 | (3,1,1,1,1,1,5,BU:1.05); 5 operators in Switzerland in 2012 |
| | biogas, mix, at agricultural co-fermentation, covered | CH | 0 | Nm3 | 20% | 1 | 1.24 | (3,1,1,1,1,1,5,BU:1.05); 2 operators in Switzerland in 2012 |

2.3 Treibstoffe fossil & Biomasse

Tab. 2.10 Übersicht der Treibstoffe und der verwendeten ecoinvent Datensätze; CH: Schweiz; RER: Europa

| Energieträger | Name des ecoinvent Datensatzes zur Wärmeerzeugung | Lokalität |
|-----------------------|---|-----------|
| Diesel in Lkw | Operation, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U | CH |
| Diesel in Baumaschine | Excavation, hydraulic digger/RER U | RER |
| Diesel in Pw | Operation, passenger car, diesel, fleet average/CH U | CH |
| Benzin in Pw | Operation, passenger car, petrol, fleet average/CH U | CH |
| Erdgas in Pw | Operation, passenger car, natural gas/CH U | CH |
| Kerosin in Flugzeug | Operation, aircraft, passenger, Europe /CH | CH |
| Biogas in Pw | Operation, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas/CH U | CH |

Die Nutzung von 1 MJ Treibstoff wird umgerechnet in Fahrzeugkilometer der entsprechenden Verkehrsmittel. Damit werden die Treibstoffherstellung und der Einsatz im Fahrzeug berücksichtigt. Die weiteren, mit dem Transport verbundenen Umweltauswirkungen, beispielsweise durch Fahrzeugherstellung, Strassenbau und -unterhalt, werden nicht berücksichtigt.

Für die Umrechnung von Fahrzeugkilometer (beispielsweise eines Lkw's) auf MJ Treibstoff wird in einem ersten Schritt der obere Heizwert des Brennstoffs erfasst, z.B. 45.4 MJ pro Kilogramm Diesel. In einem zweiten Schritt wird aus den bestehenden Daten errechnet, wie viel Treibstoff pro km Fahrt verbraucht wird (in diesem Beispiel braucht ein Lkw für einen Kilometer Fahrt 0.18 kg Diesel). Diese Menge wird mit dem oberen Heizwert von Diesel multipliziert: Ein Fahrzeugkilometer Lkw Transport verbraucht gemäss dem zugrunde gelegten ecoinvent Datensatz 8.18 MJ Treibstoff. Der Kehrwert entspricht der Bezugsmenge der entsprechenden Fahrzeugkilometer pro MJ Treibstoff.

Bei Biogas als Treibstoff wird pro MJ Energie in Treibstoff 1 MJ des pro memoria Primärenergiefaktors „Abwärme/Abfall“ einberechnet, da das Biogas aus biogenen Abfällen erzeugt wird und dessen Energieinhalt ansonsten nirgends aufscheinen würde.

In den nachstehenden Tabellen werden die Umrechnungen für die in Tab. 2.10 aufgeführten Treibstoffe gezeigt.

Tab. 2.11 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Lkw

| | Name | Location | Infrastructure | Unit | fuel in transport, lorry 3.5-20t, fleet average (proj. 210) | UncertaintyType | StandardDeviation85% | GeneralComment |
|--------------|---|----------|----------------|------------------|---|-----------------|----------------------|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| product | fuel in transport, lorry 3.5-20t, fleet average (proj. 210) | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| technosphere | operation, lorry 3.5-20t, fleet average | CH | 0 | vkm | 1.22E-1 | 1 | 2.00 | (1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports |
| | 1vkm operation | | | 0.18 kg Diesel | | | | Energy 8.1815 MJ |
| | 1kg Diesel | | | 45.4 MJ / kg | | | | 45.4 MJ |
| | 1 MJ of fuel in Transport | | | 0.122 tkm | | | | |

Tab. 2.12 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Baumaschine

| | Name | Location | InfrastructureP | Unit | fuel in building machine, excavation hydraulic digger | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|--------------|---|----------|-----------------|-----------|---|-----------------|----------------------|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | | | | CH 0 MJ | | | |
| product | fuel in building machine, excavation hydraulic digger | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| technosphere | excavation, hydraulic digger, without infrastructure | CH | 0 | m3 | 1.69E-1 | 1 | 2.00 | (1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports |
| | | | | | Energy | | | |
| | 1 m3 | | 0.131 | kg Diesel | | | 5.9081 | MJ |
| | 1kg Diesel | | 45.1 | MJ / kg | | | 45.1 | MJ |
| | 1 MJ of fuel in building machine | | 0.169 | m3 | | | | |

Tab. 2.13 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Pkw

| | Name | Location | InfrastructureP | Unit | fuel in transport, passenger car, diesel, fleet average (proj. 210) | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|--------------|---|----------|-----------------|------------|---|-----------------|----------------------|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | | | | CH 0 MJ | | | |
| product | fuel in transport, passenger car, diesel, fleet average (proj. 210) | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| technosphere | operation, passenger car, diesel, fleet average | CH | 0 | vkm | 3.60E-1 | 1 | 2.00 | (1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports |
| | | | | | Energy | | | |
| | 1vkm operation | | 0.061 | kg Diesel | | | 2.7811 | MJ |
| | 1kg Diesel | | 45.4 | MJ / kg | | | 45.4 | MJ |
| | 1 MJ of fuel in Transport | | 0.36 | pkm | | | | |

Tab. 2.14 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Benzin, genutzt in Pkw

| | Name | Location | InfrastructureP | Unit | fuel in transport, passenger car, petrol, fleet average (proj. 210) | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|--------------|---|----------|-----------------|------------|---|-----------------|----------------------|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | | | | CH 0 MJ | | | |
| product | fuel in transport, passenger car, petrol, fleet average (proj. 210) | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| technosphere | operation, passenger car, petrol, fleet average | CH | 0 | vkm | 3.27E-1 | 1 | 2.00 | (1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports |
| | | | | | Energy | | | |
| | 1vkm operation | | 0.068 | kg Petrol | | | 3.0608 | MJ |
| | 1kg Petrol | | 45.1 | MJ / kg | | | 45.1 | MJ |
| | 1 MJ of fuel in Transport | | 0.327 | pkm | | | | |

Tab. 2.15 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Erdgas, genutzt in Pkw

| | Name | Location | InfrastructureP | Unit | fuel in transport, passenger car, natural gas (proj. 210) | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|--------------|---|----------|-----------------|----------------|---|-----------------|----------------------|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | | | | CH 0 MJ | | | |
| product | fuel in transport, passenger car, natural gas (proj. 210) | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| technosphere | operation, passenger car, natural gas | CH | 0 | km | 3.10E-1 | 1 | 2.00 | (1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports |
| | | | | | Energy | | | |
| | 1vkm operation | | 0.064 | kg natural gas | | | | 3.2301 MJ |
| | 1kg Natural gas | | 50.4 | MJ / kg | | | | 50.4 MJ |
| | 1 MJ of fuel in Transport | | 0.31 | pkm | | | | |

Tab. 2.16 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Kerosin, genutzt in einem Europaflug

| | Name | Location | InfrastructureP | Unit | fuel in transport, aircraft, passenger, Europe (proj. 210) | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|--------------|--|----------|-----------------|---------------|--|-----------------|----------------------|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | | | | CH 0 MJ | | | |
| product | fuel in transport, aircraft, passenger, Europe (proj. 210) | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| technosphere | transport, aircraft, passenger, Europe | RER | 0 | pkm | 4.84E-1 | 1 | 2.00 | (1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports |
| | | | | | Energy | | | |
| | 1pkm operation | | 1.000 | pkm operation | | | | 2.0657 MJ |
| | 1kg Kerosene | | 0.0453 | kg kerosene | | | | 2.0657 MJ |
| | 1kg Kerosene | | 45.6 | MJ / kg | | | | 45.6 MJ |
| | 1 MJ of fuel in Transport | | 0.4841 | pkm | | | | |

Tab. 2.17 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Biogas, genutzt in Pkw

| | Name | Location | InfrastructureP | Unit | fuel in transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas (proj. 210) | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|--------------|--|----------|-----------------|------------|--|-----------------|----------------------|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | | | | CH 0 MJ | | | |
| product | fuel in transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas (proj. 210) | CH | 0 | MJ | 1 | | | |
| technosphere | operation, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas | CH | 0 | km | 2.95E-1 | 1 | 2.00 | (1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports |
| | | | | | Energy | | | |
| | 1vkm operation | | 0.067 | kg biogas | | | | 3.3929 MJ |
| | 1kg biogas | | 50.4 | MJ / kg | | | | 50.4 MJ |
| | 1 MJ of fuel in Transport | | 0.295 | pkm | | | | |

2.4 Wärme : Fernwärme

2.4.1 Übersicht der eingesetzten Energieträger

Alle Fernwärmedatensätze bestehen einerseits aus der Wärmeerzeugung und andererseits aus den Aufwendungen für den Wärmetransport und aus den Verlusten im Leitungsnetz. Mangels genauer Angaben wird der Transport im Fernwärmenetz mit einem Wärmeverlust von 20%⁵ bilanziert. Die Aufwendungen für den Transport der Fern- und Nahwärme sind im Abschnitt 2.4.5 beschrieben. Als Referenzgrösse für den Infrastrukturbezug dient die an den Verbraucher gelieferte Energie.

Tab. 2.18 Übersicht der Datensätze "Wärme: Fern- und Nahwärme"; CH: Schweiz; RER: Europa

| Energieträger | Name des ecoinvent Datensatzes zur Wärmeerzeugung | Lokalität |
|---|--|-----------|
| Heizzentrale Oel | Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW | CH |
| Heizzentrale Gas | Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW | RER |
| Heizkraftwerk Holz | Heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation exergy | RER |
| Heizzentrale EWP Luft/Wasser | Heat, at air-water heat pump 10kW | CH |
| Heizzentrale EWP Erdsonde | Heat, borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW | CH |
| Heizzentrale EWP Abwasser | eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.4.2 | CH |
| Kehrichtverbrennung | Heat from waste, at municipal waste incineration plant | CH |
| Blockheizkraftwerk Diesel | Heat, at cogen 200kWe diesel SCR, allocation exergy | CH |
| Blockheizkraftwerk Gas | Heat, at cogen 200kWe lean burn, allocation exergy | CH |
| Blockheizkraftwerk Biogas | eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.4.3 | CH |
| Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft | Heat, at cogen with biogas engine, agricultural covered, allocation exergy | CH |

In einigen Wärmeerzeugungsanlagen wird die Abwärme aus der Stromerzeugung genutzt. Die folgende Tab. 2.19 gibt einen Überblick über die verwendeten Werte. Die Differenz zu 1 MJ an gelieferter Energie wird unter der pro memoria-Grösse „Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall“ verbucht. In der nachstehenden Tabelle ist der Verlust von 20 % für die Fernwärmeversorgung noch nicht berücksichtigt.

Tab. 2.19 Bestimmung des Primärenergiefaktors "Abwärme/Abfall"; H_o: oberer Heizwert

| Energieträger | Input Brennstoff | H _o Brennstoff | Input Brennstoff-energie | Differenz zu 1 MJ | Art |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| Heizzentrale EWP Abwasser | 0.081343 kWh | 3.6 MJ/kWh | 0.293 MJ | 0.707 MJ | Abwärme |
| Heizkraftwerk Holz | 0.00028725 m ³ | 3481 MJ/m ³ | 1 MJ | 0 MJ | Abwärme |
| Blockheizkraftwerk Diesel | 0.0081628 kg | 45.4 MJ/kg | 0.371 MJ | 0.629 MJ | Abwärme |
| Blockheizkraftwerk Gas | 0.40385 MJ | - | 0.404 MJ | 0.596 MJ | Abwärme |
| Blockheizkraftwerk Biogas | 0 | 0 | 0 MJ | 1 MJ | Abfall/ Abwärme |
| Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft | 0 | 0 | 0 MJ | 1 MJ | Abfall/ Abwärme |
| Kehrichtverbrennung | 0 | 0 | 0 MJ | 1 MJ | Abfall |
| Heizkraftwerk Geothermie | 0.340 MJ | - | 0.340 MJ | 0.660 MJ | Abwärme |

⁵ Angabe von M. Lenzlinger, Januar 2008

Im Jahre 2006 wurde schwergewichtig Wärme aus der Kehrichtverbrennung, aus Erdgasfeuerungen und Ölfeuerung für die Fernwärmeversorgung eingesetzt. Diese Aufteilung basiert auf der Basis der Fernwärmestatistik (Verband Fernwärme Schweiz 2006) welche sich auf die Angaben der grössten 27 Fernwärmeverbände stützt. Vor allem kleine Wärmeverbände, die nicht Mitglied des Verbandes Fernwärme Schweiz sind, setzen oft Holzschnitzel als Energieträger ein. Diese sind in der in Tab. 2.20 gezeigten zusammenfassenden Statistik nicht enthalten.

Tab. 2.20 Eingesetzte Energieträger in Fernwärmeverbänden; Durchschnitt basierend auf 27 grossen Wärmeverbänden des Verbandes Fernwärme Schweiz (2006)

| Eingesetzter Energieträger | 2006 | |
|----------------------------|-----------------|------------------------|
| | CH Durchschnitt | Durchschnitt KVA-Netze |
| Heizöl | 7.3% | 7.6% |
| Erdgas | 40.5% | 41.9% |
| Holz | 2.1% | - |
| Wärmepumpe | 1.8% | - |
| Kehrichtverbrennung | 48.4% | 50.5% |
| <i>Total</i> | <i>100.0%</i> | <i>100.0%</i> |

2.4.2 Wärmeproduktion mittels Abwasserwärmepumpe

In einer Ökobilanz-Fallstudie von Faist Emmenegger & Frischkecht (2004) wurden die Sachbilanzdaten einer Wärmepumpe erhoben, welche die Restwärme aus dem Zustrom einer Kläranlage mittels Wärmetauscher nutzt. Untersucht wurden die Herstellung, der Betrieb und die Entsorgung der Wärmepumpe mit Propan als Kältemittel. Auch die Verringerung der Reinigungsleistung der ARA (Stickstoffeliminierung), die durch die Abkühlung des Abwassers verursacht wird, wurde berücksichtigt. Die zugrundeliegenden Daten wurden weitgehend beim Auftraggeber und beim Hersteller des Wärmetauschers erhoben.

2.4.3 Blockheizkraftwerk Biogas

Die Strom- und Wärmeerzeugung mittels Blockheizkraftwerk Biogas wird auf Basis des Datensatzes „biogas, burned in cogen with gas engine, CH“ modelliert. Der Brennstoff-Input wird mit dem ecoinvent Datensatz „methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer, CH“ abgebildet. Die biogenen CO₂-Emissionen wurden angepasst um dem neuen Brennstoff-Input zu entsprechen.

Tab. 2.21 Sachbilanz der Strom- und Wärmeproduktion in einem mit Biogas betriebenen Blockheizkraftwerk

| product | Name Location InfrastructureProcess Unit | Location | InfrastructurePro | Unit | heat, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy | electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%- vol allocation exergy | UncertaintyType | StandardDevial ions% | GeneralComment |
|---------------------------------------|---|----------|-------------------|------|--|---|-----------------|-------------------------|---|
| | | | | | CH 0 MJ | CH 0 kWh | | | |
| | heat, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy | CH | 0 | MJ | 1 | 0 | | | |
| | electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy | CH | 0 | kWh | 0 | 1 | | | |
| technosphere | cogen unit 160kWe, common components for heat+electricity | RER | 1 | unit | 2.06E-9 | 4.35E-8 | 1 | 3.07 | (1,4,2,1,3,4,BU:3); ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas (1,4,2,1,3,4,BU:3); ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas (1,4,2,1,3,4,BU:3); ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas (1,4,2,1,3,4,BU:3); ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations based on lower heating (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); value of cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); value of cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); value of cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations (1,4,2,1,3,4,BU:1.5); value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:5); value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations based on carbon content (1,4,2,1,3,4,BU:1.5); calculated from company data on water usage and (1,4,2,1,3,4,BU:1.5); value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.5); value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations based on sulphur (1,4,2,1,3,4,BU:5); value for cogeneration of natural gas used as |
| | cogen unit 160kWe, components for electricity only | RER | 1 | unit | 0 | 5.62E-8 | 1 | 3.07 | |
| | cogen unit 160kWe, components for heat only | RER | 1 | unit | 9.09E-9 | 0 | 1 | 3.07 | |
| | methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer | CH | 0 | MJ | 4.11E-1 | 8.71E+0 | 1 | 1.26 | |
| | lubricating oil, at plant | RER | 0 | kg | 1.23E-5 | 2.61E-4 | 1 | 1.26 | |
| | disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration | CH | 0 | kg | 1.23E-5 | 2.61E-4 | 1 | 1.26 | |
| emission air, high population density | Heat, waste | - | - | MJ | 1.17E+0 | 1.25E+0 | 1 | 1.26 | |
| | Nitrogen oxides | - | - | kg | 6.17E-6 | 1.31E-4 | 1 | 2.07 | |
| | Carbon monoxide, biogenic | - | - | kg | 1.97E-5 | 4.18E-4 | 1 | 2.07 | |
| | Carbon dioxide, biogenic | - | - | kg | 2.30E-2 | 4.88E-1 | 1 | 1.26 | |
| | Methane, biogenic | - | - | kg | 9.46E-6 | 2.00E-4 | 1 | 3.07 | |
| | NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | - | - | kg | 8.22E-7 | 1.74E-5 | 1 | 3.07 | |
| | Dinitrogen monoxide | - | - | kg | 1.03E-6 | 2.18E-5 | 1 | 3.07 | |
| | Sulfur dioxide | - | - | kg | 8.63E-6 | 1.83E-4 | 1 | 1.26 | |
| | Platinum | - | - | kg | 2.88E-12 | 6.09E-11 | 1 | 5.08 | |

2.4.4 Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft

Die Strom- und Wärmeerzeugung auf dem Bauernhof wird mit ecoinvent Datensatz „heat, at cogen with biogas engine, agricultural covered, allocation exergy, CH“ modelliert. Als Brennstoff-Input wird der ecoinvent Datensatz „biogas, mix, at agricultural co-fermentation, covered, CH“ verwendet. An diesem ecoinvent Datensatz wurden keine Anpassungen vorgenommen.

2.4.5 Transport von Fernwärme

Der Transport von Wärme in Fernwärmenetzen wird mittels der Angaben von Frischknecht et al. (1996) bilanziert. Der Datensatz bezieht sich auf die gelieferte Energiemenge. Der Strombedarf der Zirkulationspumpen beträgt 2 % der gelieferten Energiemenge. Die Primärenergiefaktoren und die weiteren Indikatoren pro geliefertes MJ sind in Tab. 2.22 aufgeführt, die Ausgangsdaten in Tab. 2.23. Die Faktoren beinhalten die Bauaufwendungen und die Hilfsenergiebedarfe, jedoch nicht Primärenergiebedarf und Umweltbelastungen der Energiequelle.

Tab. 2.22 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen der Fernwärmeinfrastruktur, bezogen auf 1 MJ in das Gebäude gelieferte Fernwärme

| Umweltauswirkungen pro geliefertes MJ | Einheit | Wert |
|---------------------------------------|------------------------|----------|
| Primärenergiefaktor, total | MJ-eq | 5.62E-02 |
| Primärenergiefaktor, fossil | MJ-eq | 1.04E-02 |
| Primärenergiefaktor, nuklear | MJ-eq | 3.76E-02 |
| Primärenergiefaktor, total erneuerbar | MJ-eq | 8.21E-03 |
| Primärenergiefaktor, Abwärme / Abfall | MJ-eq | 0.00E+00 |
| CO ₂ -Äquivalente | kg CO ₂ -eq | 8.75E-04 |
| Kohlendioxid, fossil | kg | 8.08E-04 |
| Umweltbelastungspunkte 2006 | UBP'06 | 2.25E+00 |

Tab. 2.23 Sachbilanz des Wärmetransports in Fern- und Nahwärmenetzen, bezogen auf 1 MJ in das Gebäude gelieferte Fernwärme

| | Name | Location InfrastructureProcess | Unit | transport, district heat, large area network, for warm water | GeneralComment |
|--|---|-----------------------------------|-------|--|---|
| | Location InfrastructureProcess Unit | | | CH 1 MJ | |
| product | transport, district heat, large area network, for warm water | CH | 1 MJ | 1 | |
| techosphere | electricity, medium voltage, at grid | CH | 0 kWh | 5.56E-3 | (2,1,2,1,1,4); data adapted from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | reinforcing steel, at plant | RER | 0 kg | 6.00E-5 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | wire drawing, steel | RER | 0 kg | 6.00E-5 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | polyurethane, rigid foam, at plant | RER | 0 kg | 2.00E-6 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | polyethylene, HDPE, granulate, at plant | RER | 0 kg | 8.00E-6 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | extrusion, plastic pipes | RER | 0 kg | 8.00E-6 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | glass wool mat, at plant | CH | 0 kg | 3.00E-6 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | concrete, normal, at plant | CH | 0 m3 | 2.73E-7 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | excavation, skid-steer loader | RER | 0 m3 | 2.00E-6 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | transport, lorry 20-28t, fleet average | CH | 0 tkm | 2.00E-5 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | transport, freight, rail | CH | 0 tkm | 4.00E-5 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill | CH | 0 kg | 6.20E-4 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration | CH | 0 kg | 1.20E-6 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| Änderungen gegenüber Ökoinventar von Energiesystemen | | | | | |
| emission air, unspecified | Heat, waste | - | - MJ | 2.00E-2 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| | Heat, waste | - | - MJ | 1.00E-1 | (2,1,2,1,1,4); data from "Ökoinventar für Energiesysteme" |
| Da die Abwärme abhängig von der Verlustleistung ist (im Rechner variabel gestaltbar) | | | | | |

2.5 Elektrizitätserzeugung und dessen Bezug via Netz

2.5.1 Übersicht der eingesetzten Technologien

Tab. 2.24 Übersicht der verschiedenen Technologien für die Elektrizitätserzeugung mit Bezug via Netz; CH: Schweiz; DE: Deutschland; IT: Italien; UCTE: Union for the Coordination of Transmission of Electricity

| Energieträger | Name des ecoinvent Datensatzes | Lokalität |
|---|---|-----------|
| Atomkraftwerk | electricity, nuclear, at power plant | CH |
| Erdgaskombikraftwerk GuD | electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology | RER |
| Kohlekraftwerk (Dampf) | electricity, hard coal, at power plant | DE |
| Kraftwerk Oel | electricity, oil, at power plant | IT |
| Kehrichtverbrennung | electricity from waste, at municipal waste incineration plant | CH |
| Heizkraftwerk Holz | electricity, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation exergy | CH |
| Blockheizkraftwerk Diesel | electricity, at cogen 200kWe diesel SCR, allocation exergy | CH |
| Blockheizkraftwerk Gas | electricity, at cogen 200kWe lean burn, allocation exergy | CH |
| Blockheizkraftwerk Biogas | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.4.3 | CH |
| Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft | electricity, at cogen with biogas engine, agricultural covered, allocation exergy | CH |
| Photovoltaik | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.2 | CH |
| Photovoltaik Schrägdach | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.2 | CH |
| Photovoltaik Flachdach | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.2 | CH |
| Photovoltaik Fassade | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.2 | CH |
| Windkraft | electricity, at wind power plant | CH |
| Wasserkraft | electricity, hydropower, at power plant | CH |
| Pumpspeicherung | electricity, hydropower, at pumped storage power plant | CH |
| Geothermie | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.3 | CH |
| CH-Produktionsmix | Electricity, low voltage, production CH, at grid | CH |
| CH-Verbrauchermix | Electricity, low voltage, at grid/CH | CH |
| UCTE-Mix | Electricity, low voltage, production UCTE, at grid | UCTE |

Für Strom aus Biogas, respektive aus Abfall, der in einer Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt wird, wird pro MJ Strom zusätzlich 1 MJ des pro-memoria Primärenergiefaktors "Abwärme/Abfall" einberechnet, da der Energieinhalt des aus biogenen Abfällen beziehungsweise Gülle gewonnenen Biogases andernfalls nicht berücksichtigt würde.

2.5.2 Photovoltaik

Aus Jungbluth et al. (2012). stehen aktuelle Sachbilanzdaten zu Photovoltaik zur Verfügung.

Für dieses Projekt wurden zusätzlich die TechnologiemiXe von Photovoltaik Schrägdach, Photovoltaik Flachdach und Photovoltaik Fassade zur Elektrizitätserzeugung hinzugefügt. Die Daten sind in Jungbluth et al. (2012). dokumentiert.

Spahr (1999) weist für Geothermie einen kumulierten Energieaufwand, nicht erneuerbar (KEA_{ne}) von 0.254 MJ-eq pro MJ aus. Zusätzlich werden 1.128 MJ-eq an erneuerbarer Energie benötigt. Die ausgewiesene nicht erneuerbare Energie wird gemäss dem Verhältnis KEA_{fossil} zu KEA_{ne} beziehungsweise $KEA_{nuklear}$ zu KEA_{ne} von Windkraftwerken auf die Indikatoren "fossil" und "nuklear" aufgeteilt.

Die Umweltbelastung gemäss Methode der ökologischen Knappheit wird wie folgt bestimmt: der kumulierte Energieaufwand, nicht erneuerbar von Geothermiestrom wird multipliziert mit dem Verhältnis von Umweltbelastungspunkten zu kumuliertem Energieaufwand, nicht erneuerbar von Windkraftstrom.

Die Angaben zu den CO_2 -Äquivalenten stammen aus Pehnt (2006). Dort wird unter Einbezug der Vorketten 41 g CO_2 -eq pro generierte kWh elektrische Energie ausgewiesen.

Strom aus geothermischen Kraftwerken, die nicht auf dem Hot-Dry-Rock-Verfahren basieren, kann deutlich andere CED-Werte und insbesondere andere spezifische Treibhausgasemissionen aufweisen. Auch die Höhe der Gesamtumweltbelastung (ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten) kann deutlich variieren.

Die Übertragbarkeit von Leistungs- und Umweltdaten auf zukünftige (geplante) Verfahren und Technologien ist bezüglich „Datenqualität“ und „Datenvollständigkeit“ kritisch zu hinterfragen. Die hier aufgeführten Werte können nur unter diesen Vorgaben für einen Energieträgervergleich benützt werden.

Tab. 2.28 Datenquellen und Indikatoren für Strom und Wärme aus Geothermie; KEA: kumulierter Energieaufwand; ne: nicht erneuerbar; f: fossil; n: nuklear; e: erneuerbar; tot: Total, Werte sind noch nicht auf Strom und Wärme aufgeteilt.

| Indikator | Wert pro MJ | Quelle |
|------------------------|----------------------|---|
| KEA fossil | 0.213 MJ-Eq. | Spahr (1999), KEA_{tot} Geothermie * KEA_f Wind / KEA_{tot} Wind |
| KEA nuklear | 0.041 MJ-Eq. | Spahr (1999), KEA_{tot} Geothermie * KEA_n Wind / KEA_{tot} Wind |
| KEA erneuerbar | 1.128 MJ-Eq. | Spahr (1999), KEA_{tot} Geothermie * KEA_e Wind / KEA_{tot} Wind |
| Umweltbelastungspunkte | 62.6 UBP'06 | UBP Wind * KEA_{ne} Geothermie / CED_{ne} Wind |
| CO_2 -Äquivalente | 0.0114 kg CO_2 -eq | Pehnt (2006) |
| Kohlendioxid, fossil | 0.0105 kg | Pehnt (2006), $(CO_2 \text{ Wind} / GWP \text{ Wind}) * GWP \text{ Geothermie}$ |

Da in einem Geothermie-Kraftwerk neben Strom auch Wärme ausgekoppelt wird, ist die Umweltbelastung zwischen den beiden Produkten nach Exergie aufzuteilen. Grundlage der Berechnung ist neben der Stromproduktion von 4950 MWh eine mögliche Wärmeproduktion von 13'500 MWh mit einer Vorlauftemperatur von 70°C (Pehnt, 2006). Somit resultieren die in Tab. 2.29 ausgewiesenen Allokationsfaktoren. Der Input von 1.128 MJ an erneuerbarer Energie wird in jedem Fall benötigt, egal ob damit 1 MJ Strom oder 0.266 MJ Strom und 0.734 MJ Wärme erzeugt wird.

Tab. 2.29 Allokationsfaktoren für Wärme und Strom aus der Geothermie

| Name in Tab. 1.1 | Produkt | Allokationsfaktor |
|--------------------------|------------------|---------------------------|
| Heizkraftwerk Geothermie | Strom Geothermie | 0.754 |
| Heizkraftwerk Geothermie | Wärme Geothermie | 0.246 |
| Heizzentrale Geothermie | Wärme Geothermie | 1 (keine Stromproduktion) |

2.5.4 Verluste der verschiedenen Spannungsebenen

Die Verluste auf den verschiedenen Spannungsebenen bis und mit Niederspannung werden für alle Datensätze gemäss der Situation im Jahr 2004 bilanziert. Der Materialbedarf für Leitungsbau und Net-

zinfrastruktur entspricht der Bilanzierung des schweizerischen Stromnetzes gemäss ecoinvent Datenbestand v2.2.

Nachfolgend ist exemplarisch das Beispiel für den Transport (inkl. der Verluste) für den Bezug von Wasserkraft aufgeführt. Die anderen Technologien zur Elektrizitätsproduktion sind identisch modelliert.

Tab. 2.30 Eingabedaten der Strombereitstellung mittels Wasserkraft auf verschiedenen Spannungsebenen

| Name | Location InfrastructureProcess Unit | Location InfrastructurePr Unit | electricity, high voltage, production from hydro power, at grid | electricity, medium voltage, production from hydro power, at grid | electricity, low voltage, production from hydro power, at grid | UncertaintyType | StandardDeviation95% | GeneralComment |
|---------------------------|---|--------------------------------|---|---|--|-----------------|----------------------|---|
| | | | CH 0 kWh | CH 0 kWh | CH 0 kWh | | | |
| product | electricity, high voltage, production from hydro power, at grid | CH 0 kWh | 1 | | | | | |
| | electricity, medium voltage, production from hydro power, at grid | CH 0 kWh | | 1 | | | | |
| | electricity, low voltage, production from hydro power, at grid | CH 0 kWh | | | 1 | | | |
| technosphere | electricity, hydropower, at power plant | CH 0 kWh | 1.01E+0 | | | 1 | 1.24 | (3,1,1,1,3,1); specific losses of network estimated based on statistics |
| | electricity, high voltage, production from hydro power, at grid | CH 0 kWh | | 1.01E+0 | | 1 | 1.24 | (3,1,1,1,3,1); specific losses of network estimated based on statistics |
| | electricity, medium voltage, production from hydro power, at grid | CH 0 kWh | | | 1.10E+0 | 1 | 1.24 | (3,1,1,1,3,1); specific losses of network estimated based on statistics |
| | sulphur hexafluoride, liquid, at plant | RER 0 kg | | 3.73E-8 | 2.19E-9 | 1 | 1.08 | (1,1,2,1,1,3); based on emission data |
| | transmission network, long-distance | UCTE 1 km | 3.17E-10 | | | 1 | 3.16 | (3,1,4,5,3,5); based on consumption statistics |
| | transmission network, electricity, high voltage | CH 1 km | 8.44E-9 | | | 1 | 3.16 | (3,1,4,5,3,5); based on consumption statistics |
| | transmission network, electricity, medium voltage | CH 1 km | | 3.24E-8 | | 1 | 3.16 | (3,1,4,5,3,5); based on consumption statistics |
| | distribution network, electricity, low voltage | CH 1 km | | | 2.94E-7 | 1 | 3.16 | (3,1,4,5,3,5); based on consumption statistics |
| | emission soil, unspecified | Heat, waste | - - MJ | 1.80E-3 | 1.68E-2 | 2.75E-1 | 1 | 1.32 |
| emission air, unspecified | Heat, waste | - - MJ | 3.42E-2 | 2.05E-2 | 9.17E-2 | 1 | 1.32 | (4,1,3,1,1,5); estimations based on losses |
| | Ozone | - - kg | 4.50E-6 | | | 1 | 5.00 | (-,-,-,-,-,-); standard deviation based on variation reported in literature |
| | Dinitrogen monoxide | - - kg | 5.00E-6 | | | 1 | 4.60 | (-,-,-,-,-,-); standard deviation based on variation reported in literature |
| | Sulfur hexafluoride | - - kg | | 3.73E-8 | 2.19E-9 | 1 | 1.51 | (1,1,2,1,1,3); national statistics |

2.5.5 Schweizer Strommix

Der Schweizer Strommix wird gemäss den Angaben aus Leuenberger & Frischknecht (2010) modelliert (siehe Tab. 2.31). Für ausländische Wasserkraft und Kernkraft werden die entsprechenden französischen Datensätze gewählt, für ausländischen Strom aus Erdgas, Kohle und Photovoltaik die entsprechenden Datensätze aus Deutschland. Der Strom aus ausländischen Ölkraftwerken wird mit dem italienischen Datensatz angenähert und nicht überprüfbar Elektrizitätsmengen werden mit dem UCTE-Strommix bilanziert. Strom aus Biomasse wird zu 46 % mit Strom aus Holzkraftwerken und zu 54 % mit Strom aus Biogaskraftwerken modelliert.

Tab. 2.31 Versorgungs-Strommix Schweiz 2007, Quelle: Leuenberger & Frischknecht (2010)

| Energieträger | Produktion total | Produktion Schweiz | Anteil Schweiz | Anteil Energieträger | Produktion Ausland | Anteil Ausland | Anteil Energieträger |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|----------------|----------------------|--------------------|----------------|----------------------|
| | MWh | MWh | % | % | MWh | % | % |
| Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraft) | 14'909'150 | 13'544'590 | 90.85% | 26.65% | 1'364'560 | 9.15% | 2.68% |
| Wasserkraft Pumpspeicherung | 927'500 | 927'500 | 100.00% | 1.82% | 0 | 0.00% | 0.00% |
| Sonnenenergie | 11'810 | 11'810 | 100.00% | 0.02% | 0 | 0.00% | 0.00% |
| Windenergie | 0 | 0 | 0.00% | 0.00% | 0 | 0.00% | 0.00% |
| Biomasse | 157'170 | 157'170 | 100.00% | 0.31% | 0 | 0.00% | 0.00% |
| Geothermie | 0 | 0 | 0.00% | 0.00% | 0 | 0.00% | 0.00% |
| Kernenergie | 22'542'580 | 16'101'840 | 71.43% | 31.68% | 6'440'740 | 28.57% | 12.67% |
| Erdöl | 272'920 | 109'170 | 40.00% | 0.21% | 163'750 | 60.00% | 0.32% |
| Erdgas | 654'990 | 163'750 | 25.00% | 0.32% | 491'240 | 75.00% | 0.97% |
| Kohle | 54'580 | 0 | 0.00% | 0.00% | 54'580 | 100.00% | 0.11% |
| Abfälle | 1'091'650 | 1'091'650 | 100.00% | 2.15% | 0 | 0.00% | 0.00% |
| nicht überprüfbar (UCTE-Strommix) | 10'206'930 | 0 | 0.00% | 0.00% | 10'206'930 | 100.00% | 20.08% |
| total | 50'829'280 | 32'107'480 | 63.17% | 63.17% | 18'721'800 | 36.83% | 36.83% |

3 Sachbilanzen: Energie Ausgang Energiewandler

3.1 Brenn- und Treibstoffe

Tab. 3.1 Übersicht der Brenn- und Treibstoffe und der entsprechenden Sachbilanzdatensätze;
CH: Schweiz; RER: Europa

| Energieträger | Name des ecoinvent Datensatzes | Lokalität |
|-----------------------|---|-----------|
| Heizöl EL | Heat, light fuel oil, burned in boiler 10kW, non-modulating | CH |
| Erdgas | Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW | RER |
| Propan/Butan | für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe 2.1.2 jedoch inkl. Brennerinfrastruktur | CH |
| Kohle Koks | Heat, hard coal coke, burned in stove 5-15kW | RER |
| Kohle Brikett | Heat, hard coal briquette, burned in stove 5-15kW | RER |
| Stückholz | Heat, Logs, mixed, burned in furnace 30kW | CH |
| Holzsplitzel | Heat, Wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW | CH |
| Pellets | Heat, Pellets, mixed, burned in furnace 50kW | CH |
| Biogas | Eigener Datensatz für dieses Projekt, basierend auf „heat, natural gas, burned in boiler atm. low-NOx cond. non-modul. <100kW“, siehe Abschnitt 2.2 | CH |
| Diesel in Lkw | Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U | CH |
| Diesel in Baumaschine | Excavation, hydraulic digger/RER U | RER |
| Diesel in Pkw | Transport, passenger car, diesel, fleet average/CH U | CH |
| Benzin in Pkw | Transport, passenger car, petrol, fleet average/CH U | CH |
| Erdgas in Pkw | Transport, passenger car, natural gas/CH U | CH |
| Kerosin in Flugzeug | Transport, aircraft, passenger, Europe /CH | CH |
| Biogas in Pkw | Transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas/CH U | CH |

Die Datensätze wurden unverändert aus dem ecoinvent Datenbestand v2.2 übernommen und ausgewertet.

3.2 Wärme : erneuerbar am Gebäudestandort

Tab. 3.2 Übersicht der Datensätze “Wärme: erneuerbar am Gebäudestandort”; CH: Schweiz; RER: Europa

| Energieträger | Name des ecoinvent Datensatzes | Lokalität |
|-----------------------------------|--|-----------|
| Flachdachkollektor Warmwasser EFH | heat, at 5 m2 Cu collector, one-family house, for hot water | CH |
| Flachdachkollektor WW und RH EFH | heat, at 12 m2 Cu collector, one-family house, for combined system | CH |
| Flachdachkollektor Warmwasser MFH | heat, at 30 m2 Cu collector, multiple dwelling, slanted roof, for hot water | CH |
| Röhrenkollektor WW und RH EFH | heat, at 10.5 m2 evacuated tube collector, glass-glass tube, one-family house, for combined system | CH |
| EWP Luft/Wasser | Heat, at air-water heat pump 10kW | RER |
| EWP Erdsonde | Heat, borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW | RER |
| EWP Grundwasser | Bau der Wärmepumpe beruht auf “borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW”, mit spezifischer Jahresarbeitszahl von 3.4 | CH |

Für Sonnenkollektortechnologien werden Datensätze aus Stucki & Jungbluth (2010) verwendet. Die Auswahl an Anlagentypen gibt einen Überblick über die verschiedenen Technologien und Anlagegrößen, welche über bedeutende Marktanteile verfügen.

Die Jahresarbeitszahl der Luft/Wasser-Wärmepumpe beträgt 2.8, diejenige der Erdsonden-Wärmepumpe 3.9. Da im Datensatz "heat, at air-water heat pump 10kW" keine Umgebungswärme mitbilanziert ist, wird diese im Rahmen dieses Projektes ergänzt: Pro MJ gelieferter Energie sind 0.643 MJ an Umgebungswärme notwendig. Alle Wärmepumpen werden mit elektrischem Strom gemäss dem Schweizer Versorgungs-Strommix (siehe Abschnitt 2.5.5) betrieben.

Die Aufwendungen für die Wärmespeicherung (z.B. Warmwasser-Boiler) und die Wärmeverluste innerhalb des Hauses sind nicht berücksichtigt.

3.3 Elektrizitätserzeugung erneuerbar am Standort

Tab. 3.3 Übersicht der verschiedenen Technologien für die Elektrizitätserzeugung am Standort; CH: Schweiz

| Elektrizitätserzeugung | Name des ecoinvent Datensatzes | Lokalität |
|-------------------------|---|-----------|
| Photovoltaik | Electricity, production mix photovoltaic, at plant/CH | CH |
| Photovoltaik Schrägdach | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.2 | CH |
| Photovoltaik Flachdach | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.2 | CH |
| Photovoltaik Fassade | Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.2 | CH |
| Windkraft | Electricity, at wind power plant Simplon 30kW/CH | CH |
| Biogas | electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy | CH |
| Biogas, Landwirtschaft | Electricity, at cogen with biogas engine, agricultural covered, alloc. exergy | CH |

Erneuerbarer Strom am Gebäudestandort wird entweder mit Photovoltaik, Wind oder Biogas produziert. Bei Photovoltaik werden der Datensatz mit dem durchschnittlichen schweizerischen Mix ab Klemme Kraftwerk und drei anlagespezifische Datensätze verwendet. Die drei Datensätze unterscheiden sich in der Installationsart der Photovoltaikanlage und im Mix der eingesetzten Technologien. Bei Windkraft werden die Daten einer Kleinanlage verwendet und bei Biogas, Landwirtschaft eine Anlage, welche die Zertifizierungskriterien des Vereins für umweltgerechte Elektrizität (VUE) erfüllen kann.

In diesen Datensätzen sind keine Aufwendungen für Spannungstransformation oder Leitungsinfrastruktur mitbilanziert. Für Biogas als Energieträger wird pro MJ Strom 1 MJ des Primärenergiefaktors „Abwärme/Abfall“ einberechnet, da der Energieinhalt des aus biogenen Abfällen gewonnenen Biogases andernfalls nicht berücksichtigt würde.

4 Sachbilanzen Kollektor- und Photovoltaikanlagen

Neben den Primärenergiefaktoren der Energiesysteme wurden auch die Umweltindikatoren der Kollektor- und Photovoltaikanlagen pro Quadratmeter Kollektor berechnet (vgl. Tab. 1.1). Die Daten stammen aus den aktuellen Publikationen von Jungbluth et al. (2010) und Stucki & Jungbluth (2010).

4.1 Kollektoranlagen

Tab. 4.1 Übersicht der verschiedenen Anlagen für die Wärmeerzeugung mit Solarkollektoren am Standort; CH: Schweiz

| Wärmeerzeugung | Name desecoinvent Datensatzes | Lokali-tät |
|--|---|------------|
| Cu-Kollektoranlage, EFH, für Warmwasser | solar system, 5 m2 Cu flat plate collector, one-family house, hot water | CH |
| Vakuumröhrenkollektor, EFH, für RH und WW | solar system, 10.5 m2 evacuated tube collector, one-family house, combined system | CH |
| Cu-Kollektoranlage, EFH, für RH und WW | solar system, 12 m2 Cu flat plate collector, one-family house, combined system | CH |
| Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser | solar system, 20 m2 Cu flat plate collector, on slanted roof, hot water | CH |
| Al-Cu-Kollektoranl., MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser | solar system, 30 m2 Al-Cu flat plate collector, on slanted roof, hot water | CH |
| Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Flachdach, für Warmwasser | solar system, 30 m2 Cu flat plate collector, on flat roof, hot water | CH |
| Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser | solar system, 30 m2 Cu flat plate collector, on slanted roof, hot water | CH |
| Cu-Kollektor-Grossanlage, MFH, für Warmwasser | solar system, 81 m2 Cu flat plate collector, multiple dwelling, hot water | CH |

Um den Primärenergiebedarf pro m² Kollektorfläche zu berechnen, wurden die Aufwendungen für die Herstellung eines Kollektors berechnet und durch die Kollektorfläche geteilt. Auf dieselbe Weise wurde bei den Photovoltaikanlagen vorgegangen. Die Flächen der Kollektoren und Photovoltaikanlagen sind in Tab. 1.3 und Tab. 4.3 dargestellt. Für die Berechnungen wurden nur Aufwendungen für die Herstellung und Montage, nicht aber für den Betrieb und die Entsorgung der Kollektoren berücksichtigt.

4.2 Photovoltaikanlagen

Tab. 4.2 Übersicht der verschiedenen Anlagen für die Elektrizitätserzeugung mit Photovoltaik am Standort; CH: Schweiz

| Elektrizitätserzeugung | Name des ecoinvent Datensatzes | Lokalität |
|---|---|-----------|
| Schrägdachanlage, 93 kWp, single-Si, integriert | 93 kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 1.3 MWp, multi-Si, Paneel | 1.3 MWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, single-Si, integriert | 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, single-Si, Paneel | 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, multi-Si, integriert | 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, multi-Si, Paneel | 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, ribbon-Si, integriert | 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, laminated, integrated, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, ribbon-Si, Paneel | 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, panel, mounted, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, CdTe, integriert | 3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, CIS, Paneel | 3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, a-Si, integriert | 3kWp slanted-roof installation, a-Si, laminated, integrated, on roof | CH |
| Schrägdachanlage, 3 kWp, a-Si, Paneel | 3kWp slanted-roof installation, a-Si, panel, mounted, on roof | CH |
| Flachdachanlage, 280 kWp, single-Si | 280 kWp flat-roof installation, single-Si, on roof | CH |
| Flachdachanlage, 156 kWp, multi-Si | 156 kWp flat-roof installation, multi-Si, on roof | CH |
| Flachdachanlage, 3 kWp, single-Si | 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof | CH |
| Flachdachanlage, 3 kWp, multi-Si | 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof | CH |
| Fassadenanlage, 3 kWp, single-Si, integriert | 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building | CH |
| Fassadenanlage, 3 kWp, single-Si, Paneel | 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building | CH |
| Fassadenanlage, 3 kWp, multi-Si, integriert | 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building | CH |
| Fassadenanlage, 3 kWp, multi-Si, Paneel | 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building | CH |

Die Photovoltaikanlagen wurden anschliessend zu den zu den vier Kategorien Photovoltaik, Photovoltaik Schrägdach, Photovoltaik Flachdach und Photovoltaik Fassade zusammengefasst. Die Faktoren zur Gewichtung der einzelnen Technologien innerhalb einer Kategorie entsprechen ihren Anteilen im Schweizer Photovoltaik (vgl. Tab. 4.3).

Tab. 4.3 Anlagegrössen der unterschiedlichen Photovoltaiktechnologien und deren Anteile an den Datensätzen Photovoltaik, Photovoltaik Schrägdach, Photovoltaik Flachdach und Photovoltaik Fassade aus Jungbluth et al., (2010)

| Technologie | Land | Anlagengrösse m ² | Anteil PV mix - | Anteil Typ - |
|---|------|---------------------------------|--------------------|-----------------|
| 560 kWp open ground installation, single-Si, on open ground | CH | 4576.0 | 1.68% | |
| 93 kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof | CH | 684.0 | 1.01% | 1.29% |
| 1.3 MWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof | CH | 10126.0 | 3.89% | 4.99% |
| 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof | CH | 21.4 | 0.63% | 0.81% |
| 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof | CH | 21.4 | 22.95% | 29.43% |
| 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof | CH | 22.8 | 2.43% | 3.12% |
| 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof | CH | 22.8 | 34.02% | 43.62% |
| 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, panel, mounted, on roof | CH | 25.0 | 2.79% | 3.58% |
| 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, laminated, integrated, on roof | CH | 25.0 | 0.20% | 0.26% |
| 3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof | CH | 27.5 | 4.81% | 6.17% |
| 3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof | CH | 28.1 | 0.57% | 0.73% |
| 3kWp slanted-roof installation, a-Si, laminated, integrated, on roof | CH | 46.5 | 0.31% | 0.40% |
| 3kWp slanted-roof installation, a-Si, panel, mounted, on roof | CH | 46.5 | 4.37% | 5.60% |
| Photovoltaik Schrägdach | CH | | 77.98% | 100.00% |
| 156 kWp flat-roof installation, multi-Si, on roof | CH | 2077.4 | 4.48% | 36.70% |
| 280 kWp flat-roof installation, single-Si, on roof | CH | 1170.0 | 3.02% | 24.76% |
| 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof | CH | 21.4 | 1.89% | 15.52% |
| 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof | CH | 22.8 | 2.81% | 23.01% |
| Photovoltaik Flachdach | CH | | 12.21% | 100.00% |
| 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building | CH | 21.4 | 1.64% | 20.14% |
| 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building | CH | 21.4 | 1.64% | 20.14% |
| 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building | CH | 22.8 | 2.43% | 29.86% |
| 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building | CH | 22.8 | 2.43% | 29.86% |
| Photovoltaik Fassade | CH | | 8.14% | 100.00% |
| Photovoltaik (electricity, production mix photovoltaic, at plant) | CH | | 100.00% | |

5 Parametrisierte Rechner

5.1 Strommix-Rechner

Der Strommixrechner greift auf die in Unterkapitel 2.5 aufgeführten Datensätze zurück und berechnet die durchschnittlichen Umweltbelastungen von einem MJ elektrischer Energie, inklusive Transmission und Distribution zum Niederspannungskunden. Die Defaultwerte entsprechen dem Versorgungsmix Schweiz des Jahres 2007 gemäss Leuenberger & Frischknecht (2010). Der separat verkaufte, zertifizierte Strom ist hier vom Verbraucherstrommix Schweiz gemäss BFE 2007 abgezogen. Dies ist in Übereinstimmung mit dem original ecoinvent Datensatz des Versorgungsmix Schweiz (der an die Verbraucher gelieferte, durchschnittliche Strommix).

Die Buttons „Werte Versorgungsmix 2007“ und „Werte Verbrauchermix 2007“ füllen die entsprechenden Anteile automatisch aus.

Versorgungsmix 07 Übersicht Webtools Seite drucken

ESU - s e r v i c e s
fair consulting in sustainability

Strommixrechner Schweiz

Berechnung mit:
mit relativen Prozentangaben

| Produktion Schweiz | MWh Netto | Anteil in % |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraft) | 13'544'590 | 26.65% |
| Wasserkraft Pumpspeicherung | 927'500 | 1.82% |
| Photovoltaik | 11'810 | 0.02% |
| Windenergie | 0 | 0.00% |
| Biomasse (Holz) | 72'250 | 0.14% |
| Biogas | 84'920 | 0.17% |
| Geothermie | 0 | 0.00% |
| Kernenergie | 16'101'840 | 31.68% |
| Diesel BHKW | 109'170 | 0.21% |
| Erdgas BHKW | 163'750 | 0.32% |
| Kehrichtverbrennung | 1'091'650 | 2.15% |
| Total Produktion Schweiz | 32'107'480 | 63.16% |

| Produktion Ausland | MWh Netto | Anteil in % |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraft) | 1'364'560 | 2.68% |
| Photovoltaik | 0 | 0.00% |
| Windenergie | 0 | 0.00% |
| Kernenergie | 6'440'740 | 12.67% |
| Erdöl | 163'750 | 0.32% |
| Erdgas | 491'240 | 0.97% |
| Kohle | 54'580 | 0.11% |
| nicht überprüfbar (UCTE-Strommix) | 10'206'930 | 20.08% |
| Total Importe | 18'721'800 | 36.83% |

Umweltauswirkungen

| | | |
|--|-------|--------------|
| Primärenergiefaktor total | 3.05 | MJ-eq/MJ |
| Primärenergiefaktor fossil | 0.51 | MJ-eq/MJ |
| Primärenergiefaktor nuklear | 2.13 | MJ-eq/MJ |
| Primärenergiefaktor erneuerbar | 0.41 | MJ-eq/MJ |
| Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser | 0.03 | MJ-eq/MJ |
| CO2-Äquivalente | 0.042 | kg CO2-eq/MJ |
| Kohlendioxid, fossil | 0.038 | kg/MJ |
| Umweltbelastungspunkte 06 | 125.3 | UBP/MJ |

Mit dem Stromrechner können Sie sich einen eigenen Strommix zusammenstellen und das Webtool berechnet die durchschnittlichen Umweltbelastungen von einem MJ elektrischer Energie inklusive Transmission und Distribution zum Niederspannungskunden. Die Standardwerte entsprechen dem Versorgungsmix der Schweiz des Jahres 2007 gemäss Frischknecht und Leuenberger (2010). Der Button „Versorgungsmix 07“ füllt automatisch die entsprechenden Anteile gemäss diesem Versorgungsmix aus. Der separat verkaufte, zertifizierte Strom wird hier vom Verbraucherstrommix Schweiz abgezogen. Der ecoinvent Datenbestand v2.2 stellt die Grundlage für die Auswertung dar. Weitere Hintergründe zur Berechnung der Umweltbelastung erfahren Sie im Bericht zur Studie "Primärenergiefaktoren von Energiesystemen".

[Studie "Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" herunterladen](#)

Abb. 5.1 Printscreen des web-basierten Strommix-Rechners

5.2 Fernwärme-Rechner

Das Berechnungsmodell zur Fernwärme basiert auf den gleichen Datensätzen wie im entsprechenden Abschnitt Fern- und Nahwärme beschrieben. Während die Ergebnisse in Tab. 1.1 die Netzaufwendungen und –verluste (20 %) beinhalten, können im Fernwärmerechner die Verlustanteile fallspezifisch angepasst werden. Die Netzaufwendungen werden in Abhängigkeit der gelieferten Energiemenge berücksichtigt und sind somit unabhängig von den individuell einzugebenden Netzverlusten.

Die Zusammensetzung der Energieträger im zu bilanzierenden Fernwärmenetz kann frei gewählt werden. Die Defaultwerte entsprechen dem Mix gemäss der Fernwärmestatistik Schweiz des Jahres 2006⁶. Die anwählbaren Wärmepumpen entsprechen denjenigen in der statischen Liste der Primärenergiefaktoren und können nicht mit dem unter Punkt 5.2 beschriebenen Wärmepumpenrechner kombiniert werden.

Der Button „Werte Fernwärmestatistik 2006“ füllt automatisch die entsprechenden Anteile aus.

Statistik 2006
Übersicht Webtools
Seite drucken

ESU-services
fair consulting in sustainability

Fernwärmerechner

Produktion im Fernwärmenetz

| | Anteil in % |
|------------------------------|----------------|
| Heizzentrale Oel | 7.30% |
| Heizzentrale Gas | 40.50% |
| Heizzentrale Holz | 2.10% |
| Heizkraftwerk Holz | 0.00% |
| Heizzentrale Geothermie | 0.00% |
| Heizkraftwerk Geothermie | 0.00% |
| Heizzentrale EWP Luft/Wasser | 0.85% |
| Heizzentrale EWP Erdsonde | 0.85% |
| Heizzentrale EWP Abwasser | 0.00% |
| Heizzentrale EWP Grundwasser | 0.00% |
| Kehrichtverbrennung | 48.40% |
| Blockheizkraftwerk Diesel | 0.00% |
| Blockheizkraftwerk Gas | 0.00% |
| Blockheizkraftwerk Biogas | 0.00% |
| Summe | 100.00% |

Verlust im Fernwärmenetz 20.00%

Umweltauswirkungen

Einheit:

| | | |
|--|-------|-----------------------------|
| Primärenergiefaktor total | 0.85 | [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor fossil | 0.74 | [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor nuklear | 0.06 | [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor erneuerbar | 0.06 | [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser | 0.58 | [MJ-eq/MJ] |
| CO ₂ -Äquivalente | 0.045 | [kg CO ₂ -eq/MJ] |
| Kohlendioxid, fossil | 0.042 | [kg/MJ] |
| Umweltbelastungspunkte 06 | 24.9 | [UBP/MJ] |

Der Fernwärmerechner berechnet die Umweltbelastung pro MJ gelieferte Fernwärme eines von Ihnen zusammengestellten Wärmeerzeugungsmixes. Die Netzverluste können ebenfalls fallspezifisch angepasst werden. Die Defaultwerte entsprechen dem Mix gemäss der Fernwärmestatistik Schweiz des Jahres 2006. Der Button „Statistik 2006“ füllt automatisch die Anteile gemäss den Defaultwerten aus. Der Bericht zur Studie "Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" enthält weitere Informationen zu den Berechnungsgrundlagen.

[Studie "Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" herunterladen](#)

© ESU-services 2011

Statistik 2006
Übersicht Webtools
Seite drucken

Abb. 5.2 Printscreen des web-basierten Fernwärme-Rechners

5.3 Wärmepumpen-Rechner

Das parametrisierte Modell des Wärmepumpenrechners basiert auf den gleichen Datensätzen wie die in Kapitel 2 und 3 aufgeführten Datensätze zu den einzelnen Wärmepumpen. Die Art der Wärmepumpe und der entsprechende Strommix können frei gewählt werden. Man kann die Jahresarbeitszahl entweder frei eingeben oder einen für den gewählten Wärmepumpentyp gültigen Standardwert verwenden. Falls für die Wärmepumpe ein fallspezifischer Strommix mit dem Strommixrechner erstellt wird, so muss unter "Strommix" das entsprechende Dropdown-Feld „Strommix gemäss Strommixrechner“ angewählt sein.

Der Wärmepumpenrechner verwendet statische Werte für die Herstellungsaufwendungen und Kältemittelverluste gemäss den vier anwählbaren Wärmepumpentypen. Die Umweltbelastung des Strombedarfs (auf Niveau Niederspannung) wird entsprechend der vordefinierten oder frei eingegebenen Jahresarbeitszahl und dem angewählten Strommix berücksichtigt.

⁶ Download am 8. Februar 2008, von www.fernwaerme-schweiz.ch/de/h3/index.cfm

Im grün hinterlegten Bereich wird jeweils angezeigt, welche Eingaben für die angezeigten Ergebnisse gültig sind.

Reset Übersicht Webtools Seite drucken

ESU-services
fair consulting in sustainability

Wärmepumpenrechner

Typ der Wärmepumpe: Luft-Wasser

Jahresarbeitszahl: generische JAZ (Jahresarbeitszahl)

Anlagenspezifische Jahresarbeitszahl: 2.8

Strommix: CH-Verbrauchermix

Umweltauswirkungen

| | Einheit: |
|--|----------------------|
| Primärenergiefaktor total | 1.74 [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor fossil | 0.19 [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor nuklear | 0.76 [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor erneuerbar | 0.79 [MJ-eq/MJ] |
| Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser | 0.01 [MJ-eq/MJ] |
| CO2-Äquivalente | 0.023 [kg CO2-eq/MJ] |
| Kohlendioxid, fossil | 0.014 [kg/MJ] |
| Umweltbelastungspunkte 06 | 49.9 [UBP/MJ] |

Berechnung mit:
mit absoluten Produktionsmengen

| Produktion Schweiz | MWh Netto | Anteil in % |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraft) | 13'544'590 | 26.65% |
| Wasserkraft Pumpspeicherung | 927'500 | 1.82% |
| Photovoltaik | 11'810 | 0.02% |
| Windenergie | 0 | 0.00% |
| Biomasse (Holz) | 72'250 | 0.14% |
| Biogas | 84'920 | 0.17% |
| Geothermie | 0 | 0.00% |
| Kernenergie | 16'101'840 | 31.68% |
| Diesel BHKW | 109'170 | 0.21% |
| Erdgas BHKW | 163'750 | 0.32% |
| Kehrichtverbrennung | 1'091'650 | 2.15% |
| Total Produktion Schweiz | 32'107'480 | 63.16% |

Ihre Eingaben:

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe: 2.8

Strommix: CH-Verbrauchermix

Typ Wärmepumpe: Luft-Wasser

Der Wärmepumpenrechner berechnet die Umweltbelastung pro MJ gelieferte Wärme einer von Ihnen zusammengestellten Wärmepumpe. Sie können im Rechner den Typ der Wärmepumpe auswählen sowie eine anlagenspezifische Jahresarbeitszahl und einen spezifischen Strommix eingeben. Falls Ihnen die detaillierten Angaben dazu fehlen, können Sie im Rechner auch eine generische Jahresarbeitszahl und einen durchschnittlichen Strommix wählen. Der Bericht zur Studie "Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" enthält weitere Informationen zu den Berechnungsgrundlagen.

[Studie "Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" herunterladen](#)

Abb. 5.3 Printscreen des web-basierten Wärmepumpen-Rechners

Alle drei Rechner sind unter der Webadresse www.esu-services.ch/de/ourservices/tools/ frei zugänglich.

Primärenergiefaktoren Energie

- 28 -

6 Literatur

- Cuhls et al. 2008 Cuhls C., Mähl B., Berkau S. and Clemens J. (2008) Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH, IM AUFTRAG DES UMWELTBUNDESAMTES.
- 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.
- Faist Emmenegger & Frischknecht 2004 Faist Emmenegger M. and Frischknecht R. (2004) Ökobilanz einer Wärmepumpe mit Abwärmenutzung aus Rohabwasser. ESU-services for Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Uster.
- Frischknecht et al. 1996 Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Dones R., Gantner U., Hischer R. and Martin A. (1996) Ökoinventare von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 3. Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen, Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, CH, retrieved from: www.energieforschung.ch.
- Jungbluth et al. 2007 Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Schleiss K., Spielmann M., Stettler C. and Sutter J. (2007) Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, v2.0. ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Jungbluth et al. 2010 Jungbluth N., Stucki M., Frischknecht R. and Buesser S. (2010) Photovoltaics. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, Vol. ecoinvent report No. 6-XII, v2.2+ (Ed. Bauer C. and Dones R.). pp. 233. ESU-services Ltd., Uster, CH retrieved from: www.esu-services.ch.
- Jungbluth et al. 2012 Jungbluth N., Stucki M., Flury K., Frischknecht R. and Buesser S. (2012) Life Cycle Inventories of Photovoltaics. ESU-services Ltd., Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch.
- Leuenberger & Frischknecht 2010 Leuenberger M. and Frischknecht R. (2010) Life Cycle Assessment of Swiss Electricity Mixes. implemented in ecoinvent data v2.2 (2010). ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/projects/ecoinventdatenbank/ecoinvent-reports/.
- Pehnt 2006 Pehnt M. (2006) Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. In: Renewable Energy, 31, pp. 55-71.
- Spahr 1999 Spahr A. (1999) Schaffung einer Grundlage für Aussagen über die Gesamtenergiebilanz in HDR/HWR-Systemen, Lausanne.
- Stucki & Jungbluth 2010 Stucki M. and Jungbluth N. (2010) Update of the Life Cycle Inventories of Solar Collectors. ESU-services Ltd., Uster, CH.
- Stucki et al. 2011 Stucki M., Jungbluth N. and Leuenberger M. (2011) Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. im Auftrag des Bundesamtes für Energie BfE, ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/> (login).
- Verband Fernwärme Schweiz 2006 Verband Fernwärme Schweiz (2006) Statistik der eingesetzten Energieträger, 2006. Verband Fernwärme Schweiz, Niederrohrdorf.
- Verband Fernwärme Schweiz 2009 Verband Fernwärme Schweiz (2009) Statistik der eingesetzten Energieträger, 2009. Verband Fernwärme Schweiz, Niederrohrdorf, retrieved from:

<http://www.fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-deutsch/Service/Jahresstatistik.php?navid=11>.