

Primärenergiefaktoren von Energiesystemen

Version 2.2, April 2011

Autoren

Rolf Frischknecht
Matthias Tuchs Schmid
René Itten

ESU-services Ltd.
Rolf Frischknecht
Niels Jungbluth
Sybille Büsser
Karin Flury
René Itten
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 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
stucki@esu-services.ch

Impressum	
Titel	Primärenergiefaktoren von Energiesystemen
Autoren	Dr. Rolf Frischknecht Matthias Tuchschnid René Itten 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 DELIEFERTE 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.....	7
2.2	Brennstoffe Biomasse	7
2.3	Treibstoffe fossil & Biomasse.....	8
2.4	Wärme : Fernwärme.....	11
2.4.1	Übersicht der eingesetzten Energieträger	11
2.4.2	Wärmeproduktion mittels Abwasserwärmepumpe	12
2.4.3	Blockheizkraftwerk Biogas	12
2.4.4	Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft.....	13
2.4.5	Transport von Fernwärme	13
2.5	Elektrizitätserzeugung und dessen Bezug via Netz.....	15
2.5.1	Übersicht der eingesetzten Technologien	15
2.5.2	Photovoltaik	15
2.5.3	Geothermie	17
2.5.4	Verluste der verschiedenen Spannungsebenen	18
2.5.5	Schweizer Strommix.....	18
3	SACHBILANZEN: ENERGIE AUSGANG ENERGIEWANDLER	20
3.1	Brenn- und Treibstoffe.....	20
3.2	Wärme : erneuerbar am Gebäudestandort.....	20
3.3	Elektrizitätserzeugung erneuerbar am Standort	21
4	SACHBILANZEN KOLLEKTOR- UND PHOTOVOLTAIKANLAGEN	22
4.1	Kollektoranlagen	22
4.2	Photovoltaikanlagen	23
5	PARAMETRISIERTE RECHNER	25
5.1	Strommix-Rechner	25
5.2	Fernwärme-Rechner	25
5.3	Wärmepumpen-Rechner.....	26
6	LITERATUR.....	28

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 publizierte 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 Fernwärmerechner) 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, Bohrinnseln, 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 [UBP06]
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 Briquet	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	0.40	0.21	0.16	0.03	1.00	0.045	0.014	33.2
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
		Biogas in Pkw	MJ	0.38	0.17	0.17	0.04	1.00	0.041	0.011	38.5
	Wärme	Fernwärme	Heizzentrale Oel	MJ	1.69	1.61	0.07	0.01	-	0.112	0.109
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	0.25	0.11	0.12	0.02	1.20	0.025	0.007	19.0
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	1.08	0.55	0.43	0.09	1.12	0.135	0.035	104.9
		Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	MJ	0.20	0.10	0.06	0.04	1.12	0.050	0.007	60.6
		Photovoltaik	MJ	1.66	0.32	0.08	1.27	-	0.026	0.021	50.7
		Photovoltaik Schrägdach	MJ	1.59	0.27	0.07	1.26	-	0.022	0.018	45.4
		Photovoltaik Flachdach	MJ	1.59	0.27	0.06	1.26	-	0.022	0.018	42.2
		Photovoltaik Fassade	MJ	1.79	0.40	0.10	1.29	-	0.032	0.027	61.2
		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	1.32	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 2008-2011

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	Primärenergiefaktor total [MJ-eq]		Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq]	Primärenergiefaktor erneuerbar [MJ-eq]	Primärenergiefaktor Abwässer / Abfall [MJ-eq]	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [UBP06]	
			Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq]	Primärenergiefaktor total [MJ-eq]							
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	0.45	0.23	0.18	0.04	1.11	0.051	0.015	37.5
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	206.7
		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	1.81	0.92	0.73	0.15	3.39	0.120	0.054	139.5
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	1.46	0.27	0.07	1.13	-	0.021	0.018	32.9
		Photovoltaik Schrägdach	MJ	1.40	0.23	0.06	1.12	-	0.018	0.015	28.2
		Photovoltaik Flachdach	MJ	1.40	0.23	0.05	1.12	-	0.018	0.015	25.4
		Photovoltaik Fassade	MJ	1.57	0.34	0.09	1.14	-	0.027	0.023	42.2
		Windkraft	MJ	1.16	0.06	0.01	1.08	-	0.005	0.004	9.4
		Biogas	MJ	0.94	0.48	0.38	0.08	1.00	0.118	0.030	81.0
		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 2008-2011

Tab. 1.3 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Kollektor- und Photovoltaikanlagen pro Quadratmeter; 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	Vakuurröhrenkollektor, 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	4'283	2'957	729	597	0.00	232.61	199.35	347'980
		Photovoltaik Schrägdach	m ²	4'221	2'911	723	587	0.00	229.76	196.76	347'303
		Photovoltaik Flachdach	m ²	4'527	3'152	741	635	0.00	244.99	209.80	337'208
		Photovoltaik Fassade	m ²	4'520	3'103	774	643	0.00	241.31	208.49	370'628

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

© ESU-services 2011

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 Steinkohle-datensätzen 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 Email von Christian Bauer, PSI, vom 25. Februar 2008.

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 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 30kW	CH
Holzschnitzel	Wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW	CH
Pellets	Pellets, mixed, burned in furnace 50kW	CH
Biogas	Eigener Datensatz für dieses Projekt, basierend auf „natural gas, burned in boiler atm. low-NOx cond. non-modul. <100Kw“	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

Da von der 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“ (ecoinvent Datensatz) 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.

2.3 Treibstoffe fossil & Biomasse

Tab. 2.6 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. 2.6 aufgeführten Treibstoffe gezeigt.

Tab. 2.7 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Lkw

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	fuel in transport, lorry 3.5-20t, fleet average (proj. 210)	Uncertainty type	StandardDeviation95%	GeneralComment
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. 2.8 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Baumaschine

	Name	Location	Infrastructure	P	Unit	fuel in building machine, excavation hydraulic digger	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	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. 2.9 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Pkw

	Name	Location	Infrastructure	P	Unit	fuel in transport, passenger car, diesel, fleet average (proj. 210)	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	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. 2.10 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Benzin, genutzt in Pkw

	Name	Location	Infrastructure	P	Unit	fuel in transport, passenger car, petrol, fleet average (proj. 210)	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	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. 2.11 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Erdgas, genutzt in Pkw

	Name	Location	Infrastructure	P	Unit	fuel in transport, passenger car, natural gas (proj. 210)	Uncertainty	Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	Infrastructure	Process	Unit		CH	0	MJ	1	
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. 2.12 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Kerosin, genutzt in einem Europaflug

	Name	Location	Infrastructure	P	Unit	fuel in transport, aircraft, passenger, Europe (proj. 210)	Uncertainty	Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	Infrastructure	Process	Unit		CH	0	MJ	1	
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	1.000	pkm operation			2.0657	MJ			
	1pkm operation	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. 2.13 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Biogas, genutzt in Pkw

	Name	Location	Infrastructure	P	Unit	fuel in transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas (proj. 210)	Uncertainty	Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	Infrastructure	Process	Unit		CH	0	MJ	1	
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%³ 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. 2.14 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. 2.15 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. 2.15 Bestimmung des Primärenergiefaktors "Abwärme/Abfall"; Ho: oberer Heizwert

Energieträger	Input Brennstoff	Ho Brennstoff	Input Brennstoffenergie	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

³ 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 Fernwärmeverbunde stützt. Vor allem kleine Wärmeverbunde, die nicht Mitglied des Verbandes Fernwärme Schweiz sind, setzen oft Holzschnittel als Energieträger ein. Diese sind in der in Tab. 2.16 gezeigten zusammenfassenden Statistik nicht enthalten.

Tab. 2.16 Eingesetzte Energieträger in Fernwärmeverbunden; Durchschnitt basierend auf 27 grossen Wärmeverbunden 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. 2.17 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	StandardDeviation95%	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 used as (1,4,2,1,3,4,BU:3);
	cogen unit 160kWe, components for electricity only		RER	1	unit	0	5.62E-8	1	3.07	ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:3);
	cogen unit 160kWe, components for heat only		RER	1	unit	9.09E-9	0	1	3.07	ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations based on lower heating value of natural gas
	methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer		CH	0	MJ	4.11E-1	8.71E+0	1	1.26	own calculations based on lower heating value of natural gas
	lubricating oil, at plant		RER	0	kg	1.23E-5	2.61E-4	1	1.26	value of cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05);
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration		CH	0	kg	1.23E-5	2.61E-4	1	1.26	value of cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations
emission air, high population density	Heat, waste		-	-	MJ	1.17E+0	1.25E+0	1	1.26	own calculations
	Nitrogen oxides		-	-	kg	6.17E-6	1.31E-4	1	2.07	value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:5);
	Carbon monoxide, biogenic		-	-	kg	1.97E-5	4.18E-4	1	2.07	value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations based on carbon content
	Carbon dioxide, biogenic		-	-	kg	2.30E-2	4.88E-1	1	1.26	own calculations based on carbon content (1,4,2,1,3,4,BU:1.5); calculated from company data on water usage and
	Methane, biogenic		-	-	kg	9.46E-6	2.00E-4	1	3.07	value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.5);
	NM/OC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin		-	-	kg	8.22E-7	1.74E-5	1	3.07	value for cogeneration of natural gas used as (1,4,2,1,3,4,BU:1.05); own calculations based on sulphur
	Dinitrogen monoxide		-	-	kg	1.03E-6	2.18E-5	1	3.07	own calculations based on sulphur (1,4,2,1,3,4,BU:5); value for cogeneration of natural gas used as
	Sulfur dioxide		-	-	kg	8.63E-6	1.83E-4	1	1.26	own calculations based on sulphur (1,4,2,1,3,4,BU:5); value for cogeneration of natural gas used as
	Platinum		-	-	kg	2.88E-12	6.09E-11	1	5.08	own calculations based on sulphur (1,4,2,1,3,4,BU:5); value for cogeneration of natural gas used as

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. 2.18 aufgeführt, die Ausgangsdaten in Tab. 2.19. Die Faktoren beinhalten die Bauaufwendungen und die Hilfsenergiebedarfe, jedoch nicht Primärenergiebedarf und Umweltbelastungen der Energiequelle.

Tab. 2.18 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. 2.19 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
					CH 1 MJ	
product	transport, district heat, large area network, for warm water	CH	1	MJ	1	
technosphere	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. 2.20 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 desecoinvent Datensatzes	Lokali-tät
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, allo-cation 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

In Rahmen der Aktualisierung vom econinvent Datenbestand v2.01 zum ecoinvent Datenbestand v2.2+ wurden die Technologien Photovoltaik Schrägdach, Photovoltaik Flachdach und Photovoltaik Fassade zur Elektrizitätserzeugung hinzugefügt. Die Daten sind in Jungbluth et al. 2010 dokumentiert.

2.5.3 Geothermie

Die Daten zur Elektrizitätserzeugung via Geothermie (“Deep heat mining” oder “Hot dry rock-Verfahren”) basieren hauptsächlich auf den Arbeiten von Spahr (1999) und Pehnt (2006).

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. 2.24 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 / CE_{ne} Wind
CO_2 -Äquivalente	0.0114 kg CO_2 -eq	Pehnt (2006)
Kohlendioxid, fossil	0.0105 kg	Pehnt (2006), $(CO_2$ Wind / GWP Wind)*GWP 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. 2.25 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. 2.25 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 Netzinfrastruktur entspricht der Bilanzierung des schweizerischen Stromnetzes gemässecoinvent 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. 2.26 Eingabedaten der Strombereitstellung mittels Wasserkraft auf verschiedenen Spannungsebenen

Name	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	Uncertainty Typ	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	(4,1,3,1,1,5); estimations based on losses
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. 2.27). 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 überprüfbare 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. 2.27 Versorgung-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
Holzchnitzel	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 Simlon 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
Vakuümrohrenkollektor, 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 desecoinvent Datensatzes	Lokali-tät
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 Anlagengrößen 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

services
fair consulting in sustainability

Strommixrechner Schweiz

Berechnung mit:

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
CO ₂ -Äquivalente	0.042	kg CO ₂ -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 2006⁴. 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



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 Printscreens 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“ ausgewählt 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 ausgewählten Strommix berücksichtigt.

⁴ 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]
CO ₂ -Äquivalente	0.023 [kg CO ₂ -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.

6 Literatur

- 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. 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.
- 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.
- 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>.