

Primärenergiefaktoren von Energiesystemen

Version 1.4, 18. Dezember 2008

Autoren

Rolf Frischknecht
Matthias Tuchschnid

ESU-services Ltd.
Rolf Frischknecht
Niels Jungbluth
Sybille Büsser
Matthias Tuchschnid
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 67 94
F +41 44 940 61 94

CH - 8610 Uster
frischknecht@esu-services.ch
jungbluth@esu-services.ch
buesser@esu-services.ch
tuchschnid@esu-services.ch

Impressum	
Titel	Primärenergiefaktoren von Energiesystemen
Autoren	Dr. Rolf Frischknecht 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	Amt für Hochbauten der Stadt Zürich Dr. Heinrich Gugerli Novatlantis Christoph Hartmann
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	1
2	SACHBILANZEN: IN GEBÄUDE / TANK DELIEFERTE ENERGIE	5
2.1	Brennstoffe fossil	5
2.1.1	Fossile Brennstoffe : Heizöl EL, Erdgas, Koks und Kohle Brikett	5
2.1.2	Propan / Butan	5
2.2	Brennstoffe Biomasse	6
2.3	Treibstoffe fossil & Biomasse	7
2.4	Wärme : Fernwärme	10
2.4.1	Übersicht der eingesetzten Energieträger	10
2.4.2	Wärmeproduktion mittels Abwasserwärmepumpe	11
2.4.3	Transport von Fernwärme	11
2.5	Elektrizitätserzeugung und dessen Bezug via Netz	13
2.5.1	Übersicht der eingesetzten Technologien	13
2.5.2	Geothermie	13
2.5.3	Verluste der verschiedenen Spannungsebenen	14
2.5.4	Verbrauchermix gemäss BFE-Erhebung	15
3	SACHBILANZEN: ENERGIE AUSGANG ENERGIEWANDLER	17
3.1	Brenn- und Treibstoffe	17
3.2	Wärme : erneuerbar am Gebäudestandort	17
3.3	Elektrizitätserzeugung erneuerbar am Standort	18
4	PARAMETRISIERTE RECHNER	19
4.1	Strommix-Rechner	19
4.2	Fernwärme-Rechner	19
4.3	Wärmepumpen-Rechner	20
5	LITERATUR	22

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), den Treibhausgasemissionen und der Umweltbelastungspunkte 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).

1.1 Übersicht und Datenbasis

In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels wird auf die Bezugsgrössen, die Systemgrenzen und die Modellierungsgrundsätze eingegangen. Im Kapitel 2 und 3 sind die Bilanzen der einzelnen Energiesysteme und die getroffenen Annahmen dokumentiert.

Wo verfügbar, bilden die Datensätze des ecoinvent Datenbestandes v2.01 die Basis der Auswertung (ecoinvent Centre 2007). Die Auswertung erfolgt mit der Software SimaPro 7.1 von PRé. In einzelnen Fällen müssen einige Elemente abgeändert werden, da teilweise andere Systemgrenzen gelten¹. In den Abschnitten 2.1.2, 2.4.2, 2.4.3, 2.5.2 und 2.5.4 sind Datensätze dokumentiert, die nicht auf den ecoinvent Datensätzen beruhen.

In Kapitel 4 sind die parametrisierten Modelle (Stromrechner, Wärmepumpenrechner und Fernwärme-rechner) beschrieben, welche integraler Bestandteil dieses Dokumentes sind.

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

1.3 Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze

Im folgenden werden zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen modelliert:

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 Ölbrenner wird nicht einberechnet (da zum Gebäude zählend).

- Eingang Gebäude beziehungsweise Tank:
Die Faktoren beziehen sich auf die in das Gebäude beziehungsweise in den Tank gelieferte Energie. Die Faktoren von Brenn- und Treibstoffen enthalten die Aufwendungen zur Herstellung der Energiewandler am Gebäudestandort beziehungsweise zu Bau, Herstellung und Unterhalt von Strassen und Fahrzeugen nicht. Die Faktoren von am Standort erzeugter Energie (Wärme und Strom) beinhalten die Herstellung der Energiewandler (Sonnenkollektoren, Photovoltaikpanel, Wärmepumpenaggregat und Wärmetauscher).
- Ausgang Energiewandler:
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 betreffend der 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 gespiesen 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.

Tab. 1.1 Primärenergiefaktoren 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	-	0.082	0.080	44.4
		Erdgas	MJ	1.15	1.12	0.03	0.01	-	0.067	0.060	33.7
		Propan/Butan	MJ	1.15	1.11	0.04	0.01	-	0.067	0.064	35.8
		Kohle Koks	MJ	1.66	1.62	0.03	0.01	-	0.120	0.103	110.5
		Kohle Briquet	MJ	1.19	1.16	0.02	0.01	-	0.107	0.087	122.4
		Biomasse	Stückholz	MJ	1.06	0.03	0.02	1.01	-	0.003	0.002
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		0.48	0.25	0.18	0.04	1.00	0.038	0.016	27.2	
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	0.080	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	-	0.088	0.084	79.5
		Erdgas in Pkw	MJ	1.17	1.13	0.03	0.01	-	0.065	0.061	40.5
		Kerosin in Flugzeug	MJ	1.19	1.17	0.02	0.00	-	0.080	0.079	57.1
	Biomasse	Biogas in Pkw	MJ	0.45	0.22	0.19	0.04	1.00	0.032	0.013	32.2
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	-	0.086	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	25.4
		Heizzentrale EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8)	MJ	2.11	0.24	0.90	0.97	-	0.029	0.018	60.5
		Heizzentrale EWP Erdsonde (JAZ 3.9)	MJ	1.88	0.19	0.65	1.04	-	0.021	0.014	44.7
		Heizzentrale EWP Abwasser (JAZ 3.4)	MJ	1.01	0.18	0.68	0.15	-	0.016	0.014	39.8
		Heizzentrale EWP Grundwasser (JAZ 3.4)	MJ	1.97	0.22	0.74	1.01	-	0.023	0.016	50.2
		Heizzentrale Geothermie	MJ	1.52	0.10	0.06	1.36	-	0.006	0.005	29.8
		Heizkraftwerk Geothermie	MJ	0.59	0.07	0.05	0.46	0.79	0.004	0.004	20.8
		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	0.037	0.032	20.0
		Blockheizkraftwerk Biogas	MJ	0.08	0.02	0.04	0.01	1.20	0.006	0.002	7.1
		Fernwärme, Durchschnitt, CH	MJ	0.85	0.74	0.06	0.06	0.58	0.044	0.042	24.8
		Fernwärme, Durchschnitt, KVA-Netze	MJ	0.81	0.76	0.04	0.01	0.61	0.045	0.043	24.1
		Elektrizität	Elektrizitätsbezug via Netz	Atomkraftwerk	MJ	4.08	0.05	4.02	0.01	-	0.005
Erdgaskombikraftwerk GuD	MJ			2.34	2.33	0.01	0.01	-	0.135	0.126	74.7
Kohlekraftwerk (Dampf)	MJ			3.92	3.84	0.05	0.03	-	0.344	0.304	176.2
Kraftwerk Oel	MJ			3.85	3.78	0.06	0.01	-	0.277	0.269	259.1
Kehrichtverbrennung	MJ			0.02	0.02	0.00	0.00	1.12	0.002	0.001	14.6
Heizkraftwerk Holz	MJ			3.80	0.13	0.03	3.65	-	0.032	0.008	79.7
Blockheizkraftwerk Diesel	MJ			3.36	3.29	0.05	0.01	-	0.231	0.220	143.7
Blockheizkraftwerk Gas	MJ			3.30	3.27	0.01	0.01	-	0.205	0.174	112.2
Blockheizkraftwerk Biogas	MJ			0.20	0.10	0.06	0.04	1.12	0.052	0.007	61.3
Photovoltaik	MJ			1.66	0.32	0.08	1.27	-	0.025	0.021	53.2
Windkraft	MJ			1.33	0.09	0.02	1.22	-	0.008	0.007	27.3
Wasserkraft	MJ			1.22	0.03	0.01	1.19	-	0.003	0.002	17.6
Pumpspeicherung	MJ			4.25	0.63	2.97	0.65	-	0.055	0.050	170.1
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	76.2
CH-Verbrauchermix	MJ			2.97	0.53	2.00	0.44	0.02	0.043	0.040	123.2
UCTE-Mix	MJ			3.53	2.00	1.32	0.22	-	0.165	0.156	179.7

Bezugsgrösse: Brenn- und Treibstoffe: oberer Heizwert; Fernwärme und Elektrizität: in Gebäude gelieferte Energie
 Datenquelle: ecoinvent Datenbestand v2.01 und eigene Berechnungen

© ESU-services 2008

Tab. 1.2 Primärenergiefaktoren 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	Primärenergiefaktor fossil	Primärenergiefaktor nuklear	Primärenergiefaktor total erneuerbar	Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall	CO ₂ -Äquivalente	Kohlendioxid, fossil	Umweltbelastungspunkte	
			[MJ-eq]	[MJ-eq]	[MJ-eq]	[MJ-eq]	[kg CO ₂ -eq]	[kg]	[Dbr06]		
Brennstoffe	fossil	Wärme Heizöl EL	MJ	1.31	1.27	0.03	0.01	-	0.088	0.086	47.5
		Wärme Erdgas	MJ	1.28	1.25	0.03	0.01	-	0.074	0.067	38.0
		Wärme Propan/Butan	MJ	1.29	1.24	0.04	0.01	-	0.084	0.080	43.2
		Wärme Kohle Koks	MJ	2.01	1.95	0.04	0.02	-	0.177	0.152	163.9
		Wärme Kohle Brikett	MJ	1.51	1.47	0.03	0.01	-	0.158	0.128	181.3
	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	0.04	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	0.53	0.28	0.20	0.04	1.11	0.042	0.017	30.7
Treibstoffe	fossil	Transport Diesel Lkw	tkm	4.64	4.30	0.27	0.06	-	0.278	0.267	315.3
		Aushub mit Baumaschine	m ³	8.07	7.83	0.20	0.04	-	0.531	0.514	665.1
		Transport Diesel Pkw	pkm	3.04	2.61	0.36	0.08	-	0.177	0.170	150.1
		Transport Benzin Pkw	pkm	3.39	2.94	0.37	0.08	-	0.200	0.190	207.7
		Transport Erdgas Pkw	pkm	3.37	2.85	0.42	0.10	-	0.164	0.153	140.3
		Transport Flugzeug	pkm	3.37	2.89	0.40	0.09	-	0.197	0.192	158.3
	Biomasse	Transport Biogas Pkw	pkm	1.95	1.01	0.76	0.17	3.39	0.101	0.058	126.8
Wärme	erneuerbar am Gebäudestandort	Sonnenkollektor für Warmwasser	MJ	1.44	0.13	0.15	1.16	-	0.010	0.009	25.8
		Sonnenkollektor für RH und WW	MJ	1.34	0.10	0.09	1.15	-	0.008	0.007	20.1
		EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8)	MJ	1.71	0.19	0.71	0.80	-	0.023	0.014	48.6
		EWP Erdsonde (JAZ 3.9)	MJ	1.52	0.15	0.51	0.86	-	0.017	0.011	35.3
		EWP Grundwasser (JAZ 3.4)	MJ	1.60	0.17	0.59	0.84	-	0.019	0.013	40.0
Elektrizität	erneuerbar am Gebäudestandort	Photovoltaik	MJ	1.46	0.27	0.07	1.13	-	0.021	0.018	34.4
		Windkraft	MJ	1.16	0.06	0.01	1.08	-	0.005	0.005	11.3
		Biogas	MJ	0.16	0.07	0.05	0.03	1.00	0.044	0.005	41.7

Bezugsgrösse: Brennstoffe: Nutzenergie; Treibstoffe: Transportdienstleistung beziehungsweise Aushubvolumen

Datenquelle: ecoinvent Datenbestand v2.01

© ESU-services 2008

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 atm. low-NOx cond. non-modul. <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 Gasbrenner nicht Teil der Bilanz. So wird im Vergleich zum ecoinvent Datenbestand v2.01 bei den Datensätzen jeweils der Bezug der Heizungsinfrastruktur auf Null gesetzt. Ebenso dient statt des unteren neu 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-datenätzen 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 original CED-Werte sind gemäss dem Autor der Datensätze² mit den Faktoren 1.169 für Koks und 1.226 für das Kohlebrikett zu multiplizieren.

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).

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

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
Holzsplitzel	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 Kapitel 1.2 beschriebenen Methodik sind die Heizungen kommerzieller Energieträger nicht Teil der hier bilanzierten Systeme. So wird im Vergleich zum ecoinvent Datenbestand v2.01 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
Holzsplitzel	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 erfasst.

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

product	Name	Location	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, lorry 3.5-20t, fleet average (proj. 210)	UncertaintyType	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	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	InfrastructureP	Unit	fuel in building machine, excavation hydraulic digger	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit							
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	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, diesel, fleet average (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit							
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	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, petrol, fleet average (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit							
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	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, natural gas (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit				CH 0 MJ	e		
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

1vkm operation	0.064	kg natural gas	3.2301	Energy 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	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, aircraft, passenger, Europe (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit				CH 0 MJ	e		
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

1pkm	1.000	pkm operation	2.0657	Energy 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	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit				CH 0 MJ	e		
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

1vkm operation	0.067	kg biogas	3.3929	Energy 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 werden die Daten mit einem Wärmeverlust von 20%³ bilanziert. Die Aufwendungen für den Transport der Fern- und Nahwärme ist im Abschnitt 2.4.3 bilanziert. 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	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 Tabelle ist der Verlust von 20 % für die Fernwärmeversorgung noch nicht berücksichtigt.

Tab. 2.15 Bestimmung des Primärenergiefaktors "Abwärme/Abfall"; H₀: oberer Heizwert

Energieträger	Input Brennstoff	H ₀ 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
Kehrichtverbrennung	0	0	0 MJ	1 MJ	Abfall
Heizkraftwerk Geothermie	0.340 MJ	-	0.340 MJ	0.660 MJ	Abwärme

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

³ Angabe von M. Lenzlinger, Januar 2008

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. 2.16 gezeigten zusammenfassenden Statistik nicht enthalten.

Tab. 2.16 Eingesetzte Energieträger in Fernwärmeverbänden; Durchschnitt basierend auf 27 grossen Wärmeverbänden des Verbands Fernwärme Schweiz (2006)

Eingesetzter Energieträger	CH Durchschnitt	Durchschnitt KVA-Netze
Öl	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 Inventardaten 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 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. 2.17 aufgeführt, die Ausgangsdaten in Tab. 2.18. Die Faktoren beinhalten die Bauaufwendungen und die Hilfsenergiebedarfe, jedoch nicht Primärenergiebedarf und Umweltbelastungen der Energiequelle.

Tab. 2.17 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. 2.18 Sachbilanz des Wärmetransports in Fern- und Nahwärmenetzen, bezogen auf 1 MJ in das Gebäude gelieferte Fernwärme

	Name	Location InfrastructureProcess	Unit	Unit	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. 2.19 Übersicht der verschiedenen Technologien für die Elektrizitätserzeugung mit Bezug via Netz; CH: Schweiz; DE: Deutschland; IT: Italien; UCTE: Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

Energieträger	Name desecoinvent Datensatzes zur Wärmeerzeugung	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	electricity, at cogen with biogas engine, agricultural covered, alloc. exergy	CH
Photovoltaik	electricity, production mix photovoltaic, at plant	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 2.5.2	CH
CH-Produktionsmix	Electricity, low voltage, production CH, at grid	CH
CH-Verbrauchermix	Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 2.5.4	CH
UCTE-Mix	Electricity, low voltage, production UCTE, at grid	UCTE

Für Strom aus Biogas, respektive Abfall aus der Kehrichtverbrennung als ursprünglicher Energieträger 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 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 erneuerbarer von Windkraftstrom.

Die Angaben zu den CO₂-Äquivalenten stammen aus Pehnt (2006). Dort wird unter Einbezug der Vor-ketten 41 g CO₂-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 Tech-nologien ist bezüglich „Datenqualität“ und „Datenvollständigkeit“ kritisch zu hinterfragen. Die hier aufgeführten Werte können nur unter diesen Vorgaben für einen Energieträgervergleich benützt wer-den.

Tab. 2.20 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 alloziert.

Indikator	Wert pro MJ	Quelle
KEA fossil	0.213 MJ-Eq.	Spahr (1999), $KEA_{tot} \text{ Geothermie} * KEA_f \text{ Wind} / KEA_{tot} \text{ Wind}$
KEA nuklear	0.041 MJ-Eq.	Spahr (1999), $KEA_{tot} \text{ Geothermie} * KEA_n \text{ Wind} / KEA_{tot} \text{ Wind}$
KEA erneuerbar	1.128 MJ-Eq.	Spahr (1999), $KEA_{tot} \text{ Geothermie} * KEA_e \text{ Wind} / KEA_{tot} \text{ Wind}$
Umweltbelastungspunkte	62.6 UB P'06	$UBP \text{ Wind} * KEA_{ne} \text{ Geothermie} / CED_{ne} \text{ Wind}$
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 Geothermiekraftwerk neben Strom auch Wärme ausgekoppelt wird, ist die Umweltbelas-tung zwischen den beiden Produkten nach Exergie zu allozieren. 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. 2.21 ausgewiesenen Allokati-onsfaktoren. 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. 2.21 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)

2.5.3 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 gemäss ecoinvent Da-tenbestand v2.01.

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

Tab. 2.22 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	Uncertainty Typ e	StandardDeviat ion95%	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

2.5.4 Verbrauchermix gemäss BFE-Erhebung

Der Verbrauchermix wird gemäss den Angaben von Brunner & Farago (2007) modelliert (siehe Tab. 2.23). 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 je zur Hälfte mit Strom aus Holz- und Biogaskraftwerken modelliert.

Angesichts fehlender Werte zu einzelnen Technologien und Energien und einer nicht konsistenten Ausweisung von Relativ- und Absolutwerten in der oben genannten Publikation wurde folgende Zuordnung gewählt:

- Wasserkraft: Ausgewiesener Wert von 17'354'838 MWh minus Anteil Pumpspeicherenergie; Anteil Pumpspeicherung gemässecoinvent Datenbestand v2.01.
- Wasserkraft Pumpspeicherwerke: 798'840 MWh
- Erneuerbare Energien Photovoltaik, Windenergie, Biomasse, Geothermie: Von jeder Gesteuerungstechnologie wird der Anteil gemäss Brunner & Farago (2007) bestimmt und danach so skaliert, dass die vier Technologien zusammen den ausgewiesenen Wert von 29'198 MWh aufweisen.
- Kernenergie: unverändert übernommen aus Brunner & Farago (2007)
- Nicht erneuerbare Energien Erdöl, Erdgas und Kohle: Von jeder wird der Anteil gemäss Brunner & Farago (2007) bestimmt und danach so skaliert, dass die vier Technologien zusammen den ausgewiesenen Wert von 1'149'936 MWh erreichen.

Tab. 2.23 Verbrauchermix Schweiz 2005, Quelle: Brunner & Farago (2007) und eigene Aufteilung

	Produktion Total	Anteil Schweiz	Anteil Ausland	Produktion Schweiz	Produktion Ausland	Produktion Total
Energieträger	MWh			MWh	MWh	MWh
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraft)	16'555'998	95%	5%	15'772'282	783'716	16'555'998
Wasserkraft Pumpspeicherwerke	798'840			798'840		798'840
Photovoltaik	15'011	94%	6%	14'073	938	15'011
Windenergie	1'508	100%		1'508	0	1'508
Biomasse	12'678	100%		12'678	0	12'678
Geothermie	0	100%		0	0	0
Kernenergie	21'101'386	66%	34%	14'016'249	7'085'137	21'101'386
Erdöl	162'956	67%	33%	108'637	54'319	162'956
Erdgas	931'373	87%	13%	807'190	124'183	931'373
Kohle	55'607	0%	100%	0	55'607	55'607
Kehrichtverbrennungsanlagen	1'023'603	100%		1'023'603	0	1'023'603
nicht überprüfbar (UCTE-Mix)	10'618'880		100%	0	10'618'880	10'618'880
Total	51'277'841			32'555'061	18'722'780	51'277'841

Tab. 2.24 Sachbilanz Verbraucherstrommix Schweiz 2005

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	electricity mix, consumer, according to BFE 2005, at plant		Uncertainty	StandardDeviation95%	GeneralComment
						CH	0			
product	Location					CH	0			
technosphere	InfrastructureProcess					kWh				
	electricity mix, consumer, according to BFE 2005, at plant	CH	0	kWh	1.00E+0					(1,1,1,1,1,1); SDG for output: 1;
	electricity, hydropower, at power plant	CH	0	kWh	3.08E-1	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, hydropower, at power plant	FR	0	kWh	1.53E-2	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, hydropower, at pumped storage power plant	CH	0	kWh	1.56E-2	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, production mix photovoltaic, at plant	CH	0	kWh	2.74E-4	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, production mix photovoltaic, at plant	DE	0	kWh	1.83E-5	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, at wind power plant	CH	0	kWh	2.94E-5	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, at cogen ORC 1400kWh, wood, allocation exergy	CH	0	kWh	1.24E-4	1	1.21			(1,1,1,1,3,1); national and international statistics
	electricity, at cogen with biogas engine, allocation exergy	CH	0	kWh	1.24E-4	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, nuclear, at power plant	CH	0	kWh	2.73E-1	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, nuclear, at power plant pressure water reactor	FR	0	kWh	1.38E-1	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, at cogen 200kWe diesel SCR, allocation exergy	CH	0	kWh	2.12E-3	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, oil, at power plant	IT	0	kWh	1.06E-3	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, at cogen 500kWe lean burn, allocation exergy	CH	0	kWh	1.57E-2	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, natural gas, at power plant	DE	0	kWh	2.42E-3	1	1.05			(1,1,1,1,1,1); national and international statistics
	electricity, hard coal, at power plant	DE	0	kWh	1.08E-3	1	1.05			(1,1,1,3,1,1); national and international statistics
	electricity, production mix UCTE	UCTE	0	kWh	2.07E-1	1	1.05			(1,1,1,3,1,1); national and international statistics

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, burned in boiler atm. low-NOx cond. non-modul. <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-v2.01 Datenbestand 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
Sonnenkollektor für Warmwasser	Heat, at flat plate collector, one-family house, for hot water	CH
Sonnenkollektor für RH und WW	Heat, at flat plate collector, 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 die beiden Sonnenkollektortechnologien werden die beiden ecoinvent Datensätze “Heat, at flat plate collector, one-family house, for hot water/CH” und “Heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system/CH” unverändert übernommen.

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 mitbilan-

ziert 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 Verbrauchermix Schweiz (siehe Abschnitt 2.5.4) 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
Windkraft	Electricity, at wind power plant Simplon 30kW/CH	CH
Biogas	Electricity, at cogen with biogas engine, agricultural covered, alloc. ex-ergy	CH

Erneuerbarer Strom am Gebäudestandort wird entweder mit Photovoltaik, Wind oder Biogas produziert. Bei Photovoltaik wird der Datensatz mit dem durchschnittlichen schweizerischen Mix ab Klemme Kraftwerk verwendet. Bei Windkraft werden die Daten einer Kleinanlage verwendet und bei Biogas eine Anlage, die die Zertifizierungskriterien des Vereins für umweltgerechte Elektrizität (VUE) erfüllen kann.

In diesen Datensätzen sind keine Aufwendungen für Spannungstransformatoren 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 Parametrisierte Rechner

4.1 Strommix-Rechner

Der Strommixrechner greift auf die in Unterkap. 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 Verbrauchermix Schweiz des Jahres 2005 gemäss Brunner & Farago (2007). Der separat verkaufte, zertifizierte Strom wird hier nicht vom Verbraucherstrommix Schweiz abgezogen. Dies im Gegensatz zum original ecoinvent Datensatz des Versorgungsmix Schweiz (der an die Verbraucher gelieferte, durchschnittliche Strommix). Jener Datensatz enthält die separat mit klar definierten Produkten gelieferten Strommengen nicht.

Der Button „Werte Verbrauchermix 2005, BFE“ füllt automatisch die entsprechenden Anteile aus.

The screenshot shows the 'Strommixrechner Schweiz' interface. At the top, there is a logo for 'ESU-services' and a button labeled 'Werte Verbrauchermix 2005, BFE'. Below the logo are links for 'zurück zum Start' and 'zurück zum Wärmepumpenrechner'. The main interface is divided into two sections: 'Produktion Schweiz' and 'Produktion Ausland'. Each section has a table with columns for 'MWh Netto' and 'relativer Anteil in %'. A red arrow points from the 'Produktion Schweiz' table to a separate table titled 'Umweltauswirkungen' which lists various environmental impact factors and their units.

Produktion Schweiz		
	MWh Netto	relativer Anteil in %
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraft)	15772282	30.76%
Wasserkraft Pumpspeicherung	798840	1.56%
Photovoltaik	14073	0.03%
Windenergie	1508	0.00%
Biomasse (Holz)	6339	0.01%
Biogas	6339	0.01%
Geothermie	0.0	0.00%
Kernenergie	14016249	27.33%
Diesel BHKW	108637	0.21%
Erdgas BHKW	807190	1.57%
Kehrichtverbrennung	1023603	2.00%
Summe Produktion	32'555'061	63%

Produktion Ausland		
	MWh	relativer Anteil in %
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraft)	783716	1.53%
Photovoltaik	938	0.00%
Windenergie	0.0	0.00%
Kernenergie	7'085'137	13.82%
Erdöl	54'319	0.11%
Erdgas	124'183	0.24%
Kohle	55'607	0.11%
nicht überprüfbar (UCTE-Strommix)	10'618'880	20.71%
Summe Produktion	18'722'780	37%

Umweltauswirkungen		Einheit:
Primärenergiefaktor total	2.97	[MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor fossil	0.53	[MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor nuklear	2.00	[MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor erneuerbar	0.44	[MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser	0.02	[MJ-eq/MJ]
CO2-Äquivalente	0.043	[kg CO ₂ -eq/MJ]
Kohlendioxid, fossil	0.040	[kg/MJ]
Umweltbelastungspunkte 06	123.3	[UBP/MJ]

© ESU-services 2008

Abb. 4.1 Printscreen des Strommix-Rechners

4.2 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 4.2 beschriebenen Wärmepumpenrechner kombiniert werden.

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

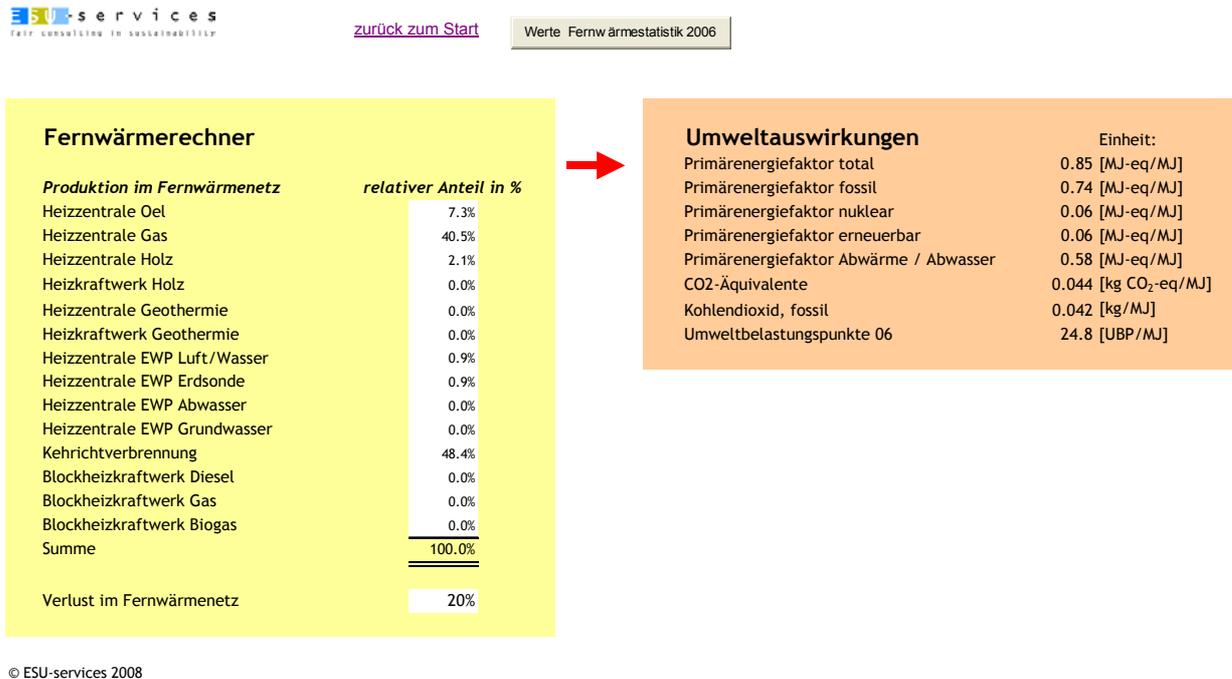


Abb. 4.2 Printscreen des parametrisierten Fernwärme-Rechners

4.3 Wärmepumpen-Rechner

Das parametrisierte Modell des Wärmepumpenrechners basiert auf den gleichen Datensätzen wie die in Kap. 2 und 3 aufgeführten Datensätze zu den einzelnen Wärmepumpen. Die Art der Wärmepumpe und der passende 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.

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

⁴ Download am 8. Februar 2008, von www.fernwaerme-schweiz.ch/de/h3/index.cfm

Wärmepumpenrechner

Typ der Wärmepumpe: Grundwasser-Wasser ▼

Jahresarbeitszahl: anlagenspezifische JAZ (siehe D13) ▼

Anlagenspezifische Jahresarbeitszahl: 2.8

Strommix: CH-Verbrauchermix ▼

[Link zu Strommixrechner](#)

➔

Umweltauswirkungen

Einheit:

Primärenergiefaktor total	1.72 [MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor fossil	0.21 [MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor nuklear	0.72 [MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor erneuerbar	0.80 [MJ-eq/MJ]
Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser	0.01 [MJ-eq/MJ]
CO ₂ -Äquivalente	0.021 [kg CO ₂ -eq/MJ]
Kohlendioxid, fossil	0.015 [kg/MJ]
Umweltbelastungspunkte 06	47.9 [UBP/MJ]

Ihre Eingaben:

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe: 2.8

Strommix: CH-Verbrauchermix

Typ Wärmepumpe: Grundwasser-Wasser

© ESU-services 2008

Abb. 4.3 Printscreen des Wärmepumpen-Rechners

5 Literatur

- Brunner & Farago 2007 Brunner B. and Farago P. (2007) Evaluation: Einführung der Stromkennzeichnung. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- ecoinvent Centre 2007 ecoinvent Centre (2007) ecoinvent data v2.01, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 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., Hirschler 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.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Tuchschnid M., Faist Emmenegger M., Bauer C. and Dones R. (2007) Strommix und Stromnetz. 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-XVI, v2.0 (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: www.ecoinvent.org.
- 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.
- Verband Fernwärme Schweiz 2006 Verband Fernwärme Schweiz (2006) Statistik der eingesetzten Energieträger, 2006. Verband Fernwärme Schweiz, Niederrohrdorf.