treeze
fair life cycle thinking

treeze Ltd., Kanzleistrasse 4, CH-8610 Uster, www.treeze.ch

Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen

KBOB-Ökobilanzdatenbestand v.2.2:2016, Stand 2016

Autoren
Philippe Stolz, Rolf Frischknecht

http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf

Kunde
Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB

Uster, 24. Februar 2017

Impressum

Titel	Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen
Autoren	Philippe Stolz, Rolf Frischknecht
	treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster
	www.treeze.ch
	Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	563-Energiesysteme-v1.0, 24.02.2017 17:09:00

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annum)
AEW	Ausgang Energiewandler
CH	Schweiz
CO_2	Kohlendioxid
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus
EGoT	Eingang Gebäude oder Tank
EL	Extra leicht (meist Heizöl EL)
ENTSO-E	Verband Europäischer Netzbetreiber zur Stromübertragung (engl. European Network of Transmission System Operators for Electricity)
EWP	Elektrowärmepumpe
GLO	Globaler Durchschnitt
GuD	Gas und Dampf
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
JAZ	Jahresarbeitszahl
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt-Peak (Spitzenleistung von Fotovoltaikanlagen)
MFH	Mehrfamilienhaus
MJ	Megajoule
m^2	Quadratmeter
m^3	Kubikmeter
NMVOC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (engl. non-methane volatile organic compounds)
PE	Primärenergie
PEF	Primärenergiefaktor
RER	Europe (Regionsbezeichnung in ecoinvent)
RH	Raumheizung
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
THG	Treibhausgas
tkm	Tonnenkilometer (Einheit für Transportdienstleistungen)
UBP	Umweltbelastungspunkte
VUE	Verein für umweltgerechte Energie
WW	Warmwasser

Inhalt

1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG 1

1.1 Übersicht 1

1.2 Bezugsgrösse 1

1.3 Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze 2

2 RESULTATTABELLEN 4

3 AKTUALISIERUNGEN DER HINTERGRUNDDATEN 9

4 SACHBILANZEN ENERGIE AM EINGANG GEBÄUDE ODER TANK 12

4.1 Brennstoffe fossil 12

4.1.1 Übersicht 12

4.1.2 Heizöl EL 12

4.1.3 Propan / Butan 18

4.1.4 Kohle Koks und Kohle Brikett 23

4.2 Brennstoffe Biomasse 24

4.2.1 Übersicht 24

4.2.2 Holzfeuerungen 25

4.2.3 Grüngutvergärung 28

4.2.4 Biogasmix und -aufbereitung 28

4.2.5 Biogasfeuerung 30

4.3 Treibstoffe fossil und Biomasse 32

4.3.1 Übersicht 32

4.3.2 Treibstoffbereitstellung 32

4.3.3 Treibstoffnutzung 37

4.4 Fernwärme 42

4.4.1 Übersicht 42

4.4.2 Abwasserwärmepumpe 44

4.4.3 Heizzentrale und Heizkraftwerk Holz 44

4.4.4 Blockheizkraftwerk Biogas 48

4.4.5 Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft 48

4.4.6 Transport von Fernwärme 49
4.5 Elektrizität 51
4.5.1 Übersicht 51
4.5.2 Fotovoltaik 52
4.5.3 Geothermie 58
4.5.4 Verluste der verschiedenen Spannungsebenen 59
4.5.5 Schweizer Strommix 60
5 SACHBILANZEN ENERGIE AM AUSGANG ENERGIEWANDLER 62
5.1 Brenn- und Treibstoffe 62
5.2 Wärme am Gebäudestandort 63
5.3 Elektrizitätserzeugung am Gebäudestandort 64
6 SACHBILANZEN KOLLEKTOR- UND FOTOVOLTAIKANLAGEN 66
6.1 Kollektoranlagen 66
6.2 Fotovoltaikanlagen 66
7 SACHBILANZEN HEIZUNGS-, LÜFTUNGS-, SANITÄR- UND ELEKTROANLAGEN 69
7.1 Heizungsanlagen 69
7.2 Lüftungsanlagen 69
7.3 Sanitäranlagen 70
7.4 Elektroanlagen 71
8 PARAMETRISIERTE RECHNER 72
8.1 Strommixrechner 72
8.2 Fernwärmerechner 73
8.3 Wärmepumpenrechner 74
9 LITERATUR 76
A ANHANG: VERWENDETE DATENSÄTZE 80

1 Einleitung und Fragestellung

1.1 Übersicht

Für die Umsetzung der 2000W-Gesellschaft in der Schweiz, in Kantonen, Regionen, Gemeinden und Städten, für den SIA Energieausweis für Gebäude und für die SIA Merkblätter Graue Energie von Gebäuden (SIA 2032), SIA-Effizienzpfad Energie (SIA 2040), Verkehr (SIA 2039) werden Faktoren zum Kumulierten Energieaufwand (Primärenergiefaktoren), zu den Treibhausgasemissionen und zu den Umweltbelastungspunkten 2013 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 in Tab. 2.1 bis Tab. 2.4. Es handelt sich um eine weitere Aktualisierung der 2008 erstmals publizierten Liste.

In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels wird auf die Bezugsgrössen, die Systemgrenzen und die Modellierungsgrundsätze eingegangen. Das Kapitel 2 enthält die Resultattabellen mit den aktualisierten Umweltkennwerten und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen. Im Kapitel 3 werden die aktualisierten Hintergrunddaten für die Energiebereitstellung beschrieben. In den Kapiteln 4 und 5 sind die Bilanzen der einzelnen Energiesysteme und die getroffenen Annahmen dokumentiert. Die Kapitel 6 und 7 enthalten eine Beschreibung der verwendeten Sachbilanzdaten der Herstellung von Sonnenkollektoren und Solarpanels (pro m^2 beziehungsweise pro kWp) und der Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär und Elektroanlagen. In Kapitel 8 sind die parametrisierten Modelle (Strommixrechner, Fernwärmerechner und Wärmepumpenrechner) beschrieben, welche integrale Bestandteile dieses Dokumentes sind. Diese Modelle können als Webrechner auf der Website von treeze Ltd. (http://treeze.ch/de/rechner/) 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 m^3 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 Niederspannungsverteilnetz des Hauses geliefert
- Elektrizität, Bezug via Netz:
  1 MJ Strom ans Niederspannungsverteilnetz des Hauses geliefert

1.3 Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze

Es werden zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen modelliert:

- Eingang Gebäude beziehungsweise Tank (EGoT, siehe Tab. 2.1):
  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, Fotovoltaikpanel, Wärmepumpenaggregat und Wärmetauscher).
- Ausgang Energiewandler (AEW, siehe Tab. 2.2):
  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 (z.B. Raffinerie, Bohrinseln, Kernkraftwerk, Stahlwerk) sind in beiden Fällen in den Ergebnissen enthalten.

Weitere Anmerkungen zur Modellierung:

- Bei den Datensätzen „Elektrizität, erneuerbar, am Gebäudestandort“ sind keine Netzverluste und Aufwendungen der Netzinfrastruktur berücksichtigt.
- Bei den Datensätzen „Elektrizitätsbezug via Netz“ sind in allen Fällen die Verluste bis und mit Niederspannungsebene und die Aufwendungen des Baus der Stromleitungen und Umspannwerke enthalten.
- Die Ergebnisse der Fernwärme sowie der netzgebunden gelieferten Elektrizität beinhalten in jedem Fall die Herstellungsaufwendungen der Energiewandler (Heizkessel, Kraftwerk, Wärmepumpen, etc.). Die Aufwendungen für den Bau und Betrieb des Fernwärmeversorgungnetzes sowie die Energieverluste im Fernwärmenetz sind ebenfalls berücksichtigt.
- Die Brennstoff-Kennwerte basieren auf heute eingesetzter moderner Feuerungstechnik, die Treibstoff-Kennwerte auf dem Durchschnitt der Fahrzeugflotte der Schweiz. Diese Wahl ist insbesondere relevant bezüglich der Gesamtumweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit 2013).

- Energie, welche als Nebenprodukt aus anderen Prozessen entsteht (z.B. Abwärme aus der Kehrichtverbrennung) wird in der Energiebilanz wie folgt behandelt: Die von einer Kehrichtverbrennungsanlage 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 Primärenergiefaktors „Abwärme / Abfall“ verbucht. Wärme und Strom aus Biogas werden analog behandelt, da das Biogas aus biogenen Abfällen beziehungsweise Gülle gewonnen wird. Der Primärenergiebedarf „Abwärme / Abfall“ ist in der Summe „Primärenergie total“ nicht enthalten.

Zusätzlich sind in Tab. 2.3 die Umweltbelastungen von Sonnenkollektoren und Fotovoltaikanlagen pro m^2 Fläche und pro kWp Leistung aufgeführt. Die Faktoren beziehen sich auf die installierte Fläche bzw. die installierte Leistung der Anlagen. Die Faktoren beinhalten die Herstellung der Sonnenkollektoren, Fotovoltaikanlagen und die entsprechenden Umweltauswirkungen entlang der gesamten Versorgungskette (Herstellung Polysilizium, Siliziumwafer und Anlagen und deren Installation). Der Betrieb der Sonnenkollektoren und Fotovoltaikanlagen ist nicht enthalten. Es wird davon ausgegangen, dass die Sonnenkollektoren und Fotovoltaikanlagen am Ende der Lebensdauer vollständig rezykliert werden (Stucki & Jungbluth 2010, Jungbluth et al. 2012).

2 Resultattabellen

Tab. 2.1 und Tab. 2.2 zeigen die Umweltauswirkungen von Energiesystemen am Eingang Gebäude oder Tank (EGoT, Tab. 2.1) beziehungsweise am Ausgang Energiewandler (AEW, Tab. 2.2). Die Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von installierten Sonnenkollektoren und Fotovoltaikanlagen sind in Tab. 2.3 aufgeführt. Tab. 2.4 enthält die Umweltauswirkungen der Erstellung und Entsorgung von Lüftungs-, Sanitär- und Elektroanlagen.

Tab. 2.1 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Energiesystemen EGoT: Bezugsgrösse ist die in den Tank oder in das Gebäude gelieferte Energie (oberer Heizwert); 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]	CO2-Äquivalente [kg CO2-Eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [UBP'13]
Brennstoffe	**fossil**	Heizöl EL	MJ	1.24	1.19	0.04	0.01	-	0.084	0.080	64.9
		Erdgas	MJ	1.07	1.05	0.01	0.00	-	0.063	0.057	38.0
		Propan/Butan	MJ	1.16	1.12	0.03	0.01	-	0.076	0.072	55.5
		Kohle Koks	MJ	1.47	1.43	0.02	0.01	-	0.122	0.102	132.6
		Kohle Brikett	MJ	1.20	1.18	0.01	0.01	-	0.111	0.087	126.7
	Biomasse	Stückholz	MJ	1.11	0.09	0.02	0.99	-	0.008	0.006	25.9
		Stückholz mit Partikelfilter	MJ	1.11	0.09	0.03	0.99	-	0.008	0.006	24.5
		Holzschnitzel	MJ	1.11	0.03	0.03	1.05	-	0.003	0.002	22.4
		Holzschnitzel mit Partikelfilter	MJ	1.12	0.03	0.03	1.05	-	0.003	0.002	20.5
		Pellets	MJ	1.20	0.10	0.06	1.04	-	0.008	0.006	22.5
		Pellets mit Partikelfilter	MJ	1.20	0.10	0.06	1.04	-	0.008	0.006	21.3
		Biogas	MJ	0.33	0.18	0.12	0.03	-	0.036	0.011	30.4
Treibstoffe	**fossil**	Diesel in Lastwagen	MJ	1.22	1.21	0.01	0.00	-	0.085	0.081	111.1
		Diesel in Baumaschine	MJ	1.24	1.23	0.01	0.00	-	0.086	0.082	99.2
		Diesel in Personenwagen	MJ	1.21	1.20	0.01	0.00	-	0.084	0.081	81.2
		Benzin in Personenwagen	MJ	1.28	1.26	0.02	0.00	-	0.089	0.083	85.7
		Erdgas in Personenwagen	MJ	1.13	1.09	0.04	0.01	-	0.064	0.059	55.5
		Strom in Personenwagen	MJ	3.00	0.35	2.17	0.49	-	0.028	0.025	121.7
		Benzin in Scooter	MJ	1.28	1.26	0.02	0.00	-	0.107	0.084	246.1
		Kerosin in Flugzeug	MJ	1.21	1.19	0.01	0.00	-	0.083	0.080	89.4
	Biomasse	Biogas in Personenwagen	MJ	0.35	0.17	0.14	0.04	1.00	0.032	0.011	44.7
Wärme	**Fernwärme**	Heizzentrale Oel	MJ	1.70	1.62	0.06	0.02	-	0.113	0.109	94.7
		Heizzentrale Gas	MJ	1.52	1.45	0.05	0.01	-	0.087	0.082	53.9
		Heizzentrale Holz	MJ	1.72	0.08	0.06	1.58	-	0.014	0.005	33.3
		Heizkraftwerk Holz	MJ	1.46	0.07	0.06	1.33	-	0.012	0.004	28.4
		Heizzentrale EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8)	MJ	2.13	0.17	0.97	0.99	-	0.022	0.012	51.6
		Heizzentrale EWP Erdsonde (JAZ 3.9)	MJ	1.90	0.14	0.71	1.05	-	0.016	0.010	38.6
		Heizzentrale EWP Abwasser (JAZ 3.4)	MJ	1.07	0.13	0.76	0.17	0.85	0.011	0.010	34.4
		Heizzentrale EWP Grundwasser (JAZ 3.4)	MJ	1.99	0.15	0.81	1.03	-	0.017	0.011	42.9
		Heizzentrale Geothermie	MJ	1.52	0.10	0.06	1.36	-	0.006	0.005	18.7
		Heizkraftwerk Geothermie	MJ	0.59	0.07	0.05	0.46	0.79	0.004	0.004	13.2
		Kehrichtverbrennung	MJ	0.06	0.01	0.04	0.01	1.20	0.001	0.001	2.0
		Blockheizkraftwerk Diesel	MJ	0.63	0.57	0.05	0.01	0.78	0.040	0.038	33.3
		Blockheizkraftwerk Gas	MJ	0.61	0.55	0.04	0.01	0.73	0.035	0.030	23.3
		Blockheizkraftwerk Biogas	MJ	0.23	0.10	0.10	0.03	1.20	0.022	0.007	20.2
		Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	MJ	0.08	0.02	0.05	0.01	1.20	0.006	0.001	7.8
		Fernwärme, Durchschnitt, CH	MJ	0.87	0.46	0.09	0.33	0.58	0.030	0.027	25.8
		Fernwärme, Durchschnitt, KVA-Netze	MJ	0.72	0.38	0.07	0.26	0.70	0.025	0.022	21.0
Elektrizität	**Bezug via Netz**	Atomkraftwerk	MJ	4.21	0.06	4.14	0.01	-	0.006	0.005	125.8
		Erdgaskombikraftwerk GuD	MJ	2.22	2.21	0.01	0.01	-	0.129	0.121	85.6
		Braunkohlekraftwerk (Dampf)	MJ	3.95	3.90	0.03	0.01	-	0.377	0.370	220.2
		Steinkohlekraftwerk (Dampf)	MJ	3.94	3.87	0.04	0.03	-	0.344	0.298	213.4
		Kraftwerk Schweröl	MJ	3.83	3.78	0.04	0.01	-	0.281	0.268	302.5
		Kehrichtverbrennung	MJ	0.02	0.01	0.00	0.00	1.11	0.002	0.001	8.9
		Heizkraftwerk Holz	MJ	3.88	0.19	0.05	3.64	-	0.033	0.012	81.9
		Blockheizkraftwerk Diesel	MJ	3.28	3.23	0.04	0.01	-	0.229	0.215	187.9
		Blockheizkraftwerk Gas	MJ	2.94	2.92	0.01	0.01	-	0.186	0.159	122.3
		Blockheizkraftwerk Biogas	MJ	0.91	0.50	0.32	0.09	1.11	0.112	0.032	103.8
		Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	MJ	0.19	0.09	0.06	0.04	1.11	0.049	0.006	63.8
		Fotovoltaik	MJ	1.56	0.28	0.05	1.22	-	0.027	0.022	48.4
		Fotovoltaik Schrägdach	MJ	1.54	0.27	0.05	1.22	-	0.025	0.021	46.9
		Fotovoltaik Flachdach	MJ	1.55	0.28	0.04	1.22	-	0.027	0.022	43.2
		Fotovoltaik Fassade	MJ	1.70	0.39	0.07	1.24	-	0.037	0.032	62.6
		Windkraft	MJ	1.29	0.08	0.01	1.20	-	0.007	0.006	20.5
		Wasserkraft	MJ	1.20	0.02	0.01	1.17	-	0.003	0.002	12.2
		Pumpspeicherung	MJ	3.90	0.46	2.81	0.63	-	0.039	0.034	125.3
		Heizkraftwerk Geothermie	MJ	3.36	0.16	0.03	3.17	-	0.009	0.008	28.6
		CH-Produktionsmix	MJ	2.50	0.07	1.78	0.66	-	0.007	0.005	63.5
		Mix zertifizierte Stromprodukte CH	MJ	1.21	0.03	0.01	1.17	0.01	0.004	0.003	13.3
		CH-Verbrauchermix	MJ	3.00	0.35	2.17	0.49	0.02	0.028	0.025	96.4
		ENTSO-E-Mix	MJ	3.18	1.80	1.09	0.30	-	0.146	0.136	152.2

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

Datenquelle: KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 und eigene Berechnungen

© treeze Ltd. 2012-2016

Tab. 2.2 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Energiesystemen AEW: 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 fossil [MJ-eq]	Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq]	Primärenergiefaktor total erneuerbar [MJ-eq]	Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq	CO2-Äquivalente [kg CO2-Eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [UBP'13]
Brennstoffe	**fossil**	Wärme Heizöl EL	MJ	1.31	1.28	0.03	0.01	-	0.090	0.086	69.8
		Wärme Erdgas	MJ	1.17	1.15	0.01	0.01	-	0.069	0.063	42.0
		Wärme Propan/Butan	MJ	1.26	1.22	0.03	0.01	-	0.082	0.079	60.7
		Wärme Kohle Koks	MJ	2.05	1.99	0.04	0.02	-	0.180	0.152	196.7
		Wärme Kohle Brikett	MJ	1.53	1.50	0.02	0.01	-	0.164	0.128	187.8
	Biomasse	Wärme Stückholz	MJ	1.77	0.15	0.04	1.58	-	0.013	0.010	42.2
		Wärme Stückholz mit Partikelfilter	MJ	1.78	0.16	0.04	1.58	-	0.013	0.010	40.1
		Wärme Holzschnitzel	MJ	1.52	0.05	0.04	1.42	-	0.006	0.004	32.2
		Wärme Holzschnitzel mit Partikelfilter	MJ	1.52	0.05	0.05	1.42	-	0.006	0.004	29.5
		Wärme Pellets	MJ	1.53	0.13	0.08	1.32	-	0.011	0.009	30.1
		Wärme Pellets mit Partikelfilter	MJ	1.54	0.13	0.08	1.32	-	0.011	0.009	28.6
		Wärme Biogas	MJ	0.37	0.20	0.13	0.04	1.11	0.039	0.013	33.7
Treibstoffe	**fossil**	Transport Diesel Lastwagen	tkm	2.27	2.12	0.12	0.03	-	0.135	0.127	191.5
		Aushub mit Baumaschine	m3	6.05	5.86	0.14	0.05	-	0.412	0.390	488.8
		Transport Diesel Personenwagen	pkm	3.03	2.58	0.36	0.09	-	0.176	0.167	197.8
		Transport Benzin Personenwagen	pkm	3.37	2.90	0.37	0.10	-	0.199	0.186	220.7
		Transport Erdgas Personenwagen	pkm	3.28	2.73	0.44	0.11	-	0.160	0.148	171.9
		Transport Personenwagen elektrisch	pkm	2.66	0.89	1.43	0.34	-	0.058	0.052	163.1
		Transport Scooter	pkm	1.56	1.50	0.04	0.02	-	0.122	0.098	271.0
		Transport Flugzeug	pkm	3.43	3.14	0.23	0.07	-	0.220	0.211	233.4
	Biomasse	Transport Biogas Personenwagen	pkm	1.72	0.87	0.68	0.17	3.39	0.098	0.050	154.4
Wärme	**am Gebäudestandort**	Klein-Blockheizkraftwerk, Erdgas	MJ	0.50	0.50	0.00	0.00	0.58	0.031	0.027	19.6
		Flachkollektor Warmwasser EFH	MJ	1.60	0.13	0.14	1.33	-	0.010	0.009	28.4
		Flachkollektor WW und RH EFH	MJ	1.83	0.12	0.10	1.61	-	0.009	0.009	25.0
		Flachkollektor Warmwasser MFH	MJ	1.23	0.05	0.03	1.14	-	0.004	0.004	11.3
		Röhrenkollektor WW und RH EFH	MJ	1.73	0.12	0.08	1.54	-	0.009	0.008	21.2
		EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8)	MJ	1.73	0.13	0.78	0.82	-	0.017	0.009	41.3
		EWP Erdsonde (JAZ 3.9)	MJ	1.53	0.11	0.56	0.87	-	0.013	0.008	30.5
		EWP Grundwasser (JAZ 3.4)	MJ	1.61	0.12	0.64	0.85	-	0.014	0.008	34.1
Elektrizität	**am Gebäudestandort**	Klein-Blockheizkraftwerk, Erdgas	MJ	3.40	3.38	0.01	0.01	-	0.208	0.184	124.1
		Fotovoltaik	MJ	1.40	0.25	0.04	1.11	-	0.023	0.019	35.9
		Fotovoltaik Schrägdach	MJ	1.38	0.23	0.04	1.11	-	0.021	0.018	34.5
		Fotovoltaik Flachdach	MJ	1.39	0.24	0.04	1.11	-	0.022	0.019	31.2
		Fotovoltaik Fassade	MJ	1.52	0.35	0.06	1.12	-	0.032	0.028	48.6
		Windkraft	MJ	1.16	0.06	0.01	1.09	-	0.005	0.004	10.6
		Biogas	MJ	0.81	0.44	0.29	0.08	1.00	0.100	0.028	85.8
		Biogas, Landwirtschaft	MJ	0.16	0.07	0.05	0.04	1.00	0.043	0.005	49.9

Bezugsgrösse: Brennstoffe: Nutzenergie; Treibstoffe: Transportdienstleistung beziehungsweise Aushubvolumen

Datenquelle: KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 und eigene Berechnungen

© treeze Ltd. 2012-2016

Tab. 2.3 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Kollektor-, Fotovoltaik- und Heizungsanlagen; für Kollektoren und Fotovoltaikanlagen: nur Aufwendungen für die Herstellung und Montage, ohne Aufwendungen für den Betrieb und die Entsorgung

Anlagentyp	Technologie	Bezuggrösse	Primärenergiefaktor total [MJ-eq]	Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq]	Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq]	Primärenergiefaktor total erneuerbar [MJ-eq]	Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq]	CO2-Äquivalente [kg CO2-Eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [UBP'13]
Kollektoranlage am Gebäudestandort	Cu-Kollektoranlage, EFH, für Warmwasser	m2	4'610	3'410	690	511		256	234	675'565
	Vakuumröhrenkollektor, EFH, für RH und WW	m2	3'688	2'823	502	363		208	191	464'867
	Cu-Kollektoranlage, EFH, für RH und WW	m2	3'335	2'468	499	369		184	169	452'485
	Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser	m2	2'786	2'082	420	284		155	142	393'962
	Al-Cu-KollektoranL, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser	m2	2'690	1'993	415	282		149	136	317'963
	Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Flachdach, für Warmwasser	m2	2'636	1'989	386	261		151	139	391'374
	Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser	m2	2'545	1'899	382	264		141	129	365'726
	Cu-Kollektor-Grossanlage, MFH, für Warmwasser	m2	2'257	1'685	341	231		125	115	409'065
Photovoltaikanlage in kWp am Gebäudestandort	Photovoltaik	kWp	29'875	22'671	3'945	3'259		2'078	1'786	3'173'582
	Photovoltaik Schrägdach	kWp	29'471	22'277	3'965	3'229		2'035	1'748	3'189'799
	Photovoltaik Flachdach	kWp	32'306	24'952	3'902	3'451		2'316	1'984	3'074'876
	Photovoltaik Fassade	kWp	30'098	23'024	3'818	3'256		2'139	1'845	3'166'239
Heizungsanlagen	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m2	m2	9.0	6.7	1.5	0.8		0.50	0.45	1'187
	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m2	m2	26.9	20.0	4.4	2.5		1.50	1.36	3'560
	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 50 W/m2	m2	44.9	33.4	7.3	4.2		2.50	2.27	5'933
	Erdsonden, für Sole-Wasser-Wärmepumpe	m	473	432	32	9		25.3	23.2	30'531
	Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Stk	21'526	14'955	4'761	1'809		1'474	993.3	3'856'263
	Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	kg	115	80	25	10		7.9	5.3	20'578
	Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Stk	25'318	17'684	5'344	2'290		1'859	1'167	4'914'782
	Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	kg	104	73	22	9		7.62	4.78	20'155
	Verteilung Wohngebäude	m2	47	35	8	4		2.39	2.15	4'674
	Verteilung Bürogebäude	m2	116	93	14	8		6.56	5.84	13'904
	Abgabe über Heizkörper	m2	88	69	13	6		5.44	4.96	10'175
	Abgabe über Fussbodenheizung	m2	85	69	11	5		3.02	2.58	3'040
	Abgabe über Heizkühldecke (ohne Gips- oder Metalldecke)	m2	111	73	22	16		5.64	5.12	39'371
	Wärmeverteilung, Luftheizung	m2	30	26	3	1		1.63	1.46	2'907
	Entsorgung, Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m2	m2	0.066	0.061	0.004	0.001		0.011	0.011	10.6
	Entsorgung, Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m2	m2	0.199	0.184	0.012	0.003		0.033	0.032	31.8
	Entsorgung, Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 50 W/m2	m2	0.332	0.306	0.020	0.006		0.054	0.053	53.0
	Entsorgung, Erdsonden, für Sole-Wasser-Wärmepumpe	m	6.25	1.27	4.07	0.92		2.73	2.52	4'101
	Entsorgung, Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Stk	177	121	41	14		706	59	367'066
	Entsorgung, Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	kg	0.942	0.648	0.221	0.073		3.768	0.314	1'959
	Entsorgung, Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Stk	235	163	54	18		1'054	77	545'920
	Entsorgung, Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	kg	0.965	0.668	0.223	0.074		4.330	0.318	2'243
	Entsorgung, Verteilung Wohngebäude	m2	9.7	6.5	1.9	1.3		0.67	0.63	807
	Entsorgung, Verteilung Bürogebäude	m2	11.6	7.8	2.2	1.6		1.06	0.97	1'094
	Entsorgung, Abgabe über Heizkörper	m2	0.13	0.10	0.03	0.01		0.023	0.022	18
	Entsorgung, Abgabe über Fussbodenheizung	m2	0.336	0.311	0.019	0.006		2.04	2.03	997
	Entsorgung, Abgabe über Heizkühldecke (ohne Gips- oder Metalldecke)	m2	0.12	0.09	0.02	0.01		0.134	0.133	70
	Entsorgung, Wärmeverteilung, Luftheizung	m2	0.024	0.022	0.001	0.000		0.067	0.067	34

Datenquelle: ecoinvent Datenbestand v2.2:2016 und eigene Berechnungen

© treeze Ltd. 2012-2016

Tab. 2.4 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Lüftungs-, Sanitär- und Elektroanlagen

Anlagentyp	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 [UBP'13]
Lüftungsanlagen	Einzelraumlüfer Fenstermodell 10-30 m3/h, ohne Montage	Stk	1'177	691	96	391		38	32.8	59'943
	Lüftungsanlage Wohnen, Blechkanäle, inkl. Küchenabluft	m2	206	164	28	14		11.7	10.6	44'994
	Lüftungsanlage Wohnen, PE-Kanäle, inkl. Küchenabluft	m2	126	101	17	8		6.6	5.9	21'587
	Abluftanlage Küche und Bad	m2	58.0	47.1	7.4	3.5		3.3	2.9	13'266
	Erdregister zu Lüftungsanlage Wohnen	m2	55.1	47.6	5.7	1.8		2.9	2.6	3'223
	Erdregister kurz zu Lüftungsanlage Büro (0.27 m/m2 EBF)	m2	95.6	82.5	9.9	3.1		5.1	4.6	5'586
	Erdregister lang zu Lüftungsanlage Büro (0.67 m/m2 EBF)	m2	239	206	25	8		12.7	11.4	13'965
	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m3/(h m2)	m2	211	164	31	16		12.3	11.2	31'435
	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m3/(h m2)	m2	285	222	42	21		16.6	15.0	42'397
	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m3/(h m2)	m2	433	337	64	32		25.2	22.8	64'322
	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m3/(h m2)	m2	580	452	86	43		33.7	30.5	86'247
	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m3/(h m2)	m2	728	567	107	53		42.3	38.3	108'172
	Entsorgung, Einzelraumlüfer Fenstermodell 10-30 m3/h, ohne Montage	Stk	5.34	4.26	0.81	0.27		5.48	5.40	3'264
	Entsorgung, Lüftungsanlage Wohnen, Blechkanäle, inkl. Küchenabluft	m2	0.313	0.244	0.056	0.014		0.299	0.297	182
	Entsorgung, Lüftungsanlage Wohnen, PE-Kanäle, inkl. Küchenabluft	m2	0.277	0.234	0.033	0.009		0.724	0.721	371
	Entsorgung, Abluftanlage Küche und Bad	m2	0.060	0.057	0.003	0.001		0.126	0.125	66
	Entsorgung, Erdregister zu Lüftungsanlage Wohnen	m2	4.79	3.81	0.80	0.19		1.63	1.61	1'328
	Entsorgung, Erdregister kurz zu Lüftungsanlage Büro (0.27 m/m2 EBF)	m2	8.30	6.60	1.38	0.32		2.82	2.79	2'303
	Entsorgung, Erdregister lang zu Lüftungsanlage Büro (0.67 m/m2 EBF)	m2	20.8	16.5	3.4	0.8		7.05	6.98	5'757
	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m3/(h m2)	m2	0.774	0.649	0.099	0.025		0.345	0.338	222
	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m3/(h m2)	m2	1.07	0.90	0.14	0.03		0.485	0.474	311
	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m3/(h m2)	m2	1.65	1.39	0.21	0.05		0.763	0.746	488
	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m3/(h m2)	m3	2.23	1.89	0.28	0.07		1.04	1.02	666
	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m3/(h m2)	m2	2.82	2.38	0.35	0.09		1.32	1.29	843
Sanitäranlagen	Büro, einfache Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	m2	74.3	62.1	7.9	4.3		3.33	2.92	6'391
	Büro, einfache Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	m2	0.509	0.440	0.052	0.016		1.15	1.13	587
	Büro, aufwändige Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	m2	178	146	21	12		8.05	7.03	16'678
	Büro, aufwändige Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	m2	1.78	1.56	0.16	0.05		3.76	3.68	1'950
	Wohnen, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	m2	187	149	24	14		9.81	8.79	23'219
	Wohnen, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	m2	1.28	0.99	0.22	0.07		1.55	1.51	833
Elektroanlagen	Büro, Erstellung	m2	682	334	74	274		22.4	20.2	116'453
	Büro, Rückbau	m2	3.17	2.53	0.46	0.17		1.45	1.44	900
	Wohnen, Erstellung	m2	214	164	32	17		9.30	8.31	45'356
	Wohnen, Rückbau	m2	2.94	2.17	0.56	0.21		3.40	3.39	1'820

Datenquelle: ecoinvent Datenbestand v2.2:2016 und eigene Berechnungen

© treeze Ltd. 2012-2016

3 Aktualisierungen der Hintergrunddaten

Der KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 bildet die Datenbasis für die Auswertungen (KBOB et al. 2016a). Dieser setzt sich aus dem ecoinvent Datenbestand v2.2 (ecoinvent Centre 2010), Anpassungen nach LC-inventories (2014) und weiteren Aktualisierungen zusammen. Tab. 3.1 zeigt eine Übersicht der aktualisierten Sachbilanzdaten mit einer kurzen Beschreibung des Umfangs der Aktualisierung. Für weitergehende Informationen verweisen wir auf die entsprechenden Berichte.

Die Sachbilanzdaten der Aktualisierungen der Erdgasversorgungskette (Schori et al. 2012), der Fotovoltaik (Frischknecht et al. 2015; Jungbluth et al. 2012), der Wasserkraft (Flury & Frischknecht 2012) und der Stromproduktion, -übertragung und -verteilung (Itten et al. 2014) sind über die Website www.lc-inventories.ch frei verfügbar. Die Dokumentationen der aktualisierten Sachbilanzdaten der Schweizer Strommixe (Stolz & Frischknecht 2015) und von Erdölprodukten (Stolz & Frischknecht 2016b; Stolz et al. 2016a) sind auf der Website http://treeze.ch/ abrufbar. Die aktualisierten Sachbilanzen von Holzprodukten sind im ecoinvent-Datenbestand v3.2 verfügbar (ecoinvent Centre 2015).

treeze stellt interessierten Nutzern eine SimaPro-Datenbank mit den aktualisierten Hintergrunddaten und den Datensätzen der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (teilweise zu Systemprozessen aggregiert) zur Verfügung.

Tab. 3.1 Übersicht über die im Vergleich zum ecoinvent Datenbestand v2.2 aktualisierten Sachbilanzdaten im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016

Aktualisierte Hintergrunddaten	Umfang der Aktualisierung	Quelle
Erdgas	Versorgungsmix Flüssiggas Versorgungskette ab Produktion Russland Regionales Verteilnetz GuD-Kombikraftwerk WKK Anlagen	Bauer et al. 2012 Schori et al. 2012
Fotovoltaik	Polysiliziumherstellung Sägespalt und Waferdicke Cadmium-Tellurid Technologie Moduleffizienz Entsorgung Spezifischer Energieertrag und Degradationsrate von Fotovoltaik-Anlagen	Frischknecht et al. 2015 Jungbluth et al. 2012
Kernkraft	Uranförderung und –aufbereitung Brennstoffkette Betrieb der Kernkraftwerke Geologische Tiefenlagerung	Bauer et al. 2012
Wasserkraft	Laufwasserkraft Speicherwasserkraft Kleinwasserkraft Pumpspeicherung	Flury & Frischknecht 2012
Stromproduktion, -übertragung und -verteilung	Stromproduktion (Europa und übrige Welt) Europäischer Strommix (Verbund ENTSO) Stromverluste und -verteilung Stromnetzinfrastruktur	Itten et al. 2014
Strommix Schweiz	Strommixe für das Jahr 2011	Stolz & Frischknecht 2015
Korrekturen von Fehlern	Diverse	LC-inventories 2014
KVA	aktualisierte Stoff- und Energieflüsse, aktualisierte Emissionsfaktoren (insbesondere Dioxine)	Doka 2013
Erdölprodukte (z.B. Benzin, Diesel, Heizöl EL)	Herkunftsmix von Rohöl Anteil von schweizerischen und europäischen Raffinerien an der Bereitstellung von Erdölprodukten in der Schweiz Transportdistanzen von Rohöl und importierten Erdölprodukten	Stolz & Frischknecht 2016b Stolz et al. 2016a
Holzprodukte	Waldbewirtschaftung Herstellung von Holzprodukten	Werner et al. 2014 ecoinvent Centre 2015
Aluminium	Herstellung von Primär- und Sekundäraluminium Aluminium-Produktionsmixe	Stolz & Frischknecht 2016a

In einzelnen Fällen wurden bestimmte Elemente der Sachbilanzen abgeändert, da teilweise andere Systemgrenzen gelten. Beispielsweise dient im gesamten KBOB-

Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 der untere Heizwert als Bezugsgrösse. In diesem Bericht werden die Primärenergiefaktoren „Eingang Gebäude / Tank“ auf den oberen Heizwert bezogen und die Aufwendungen zur Herstellung der im Haus liegenden Infrastruktur, wie z. B. des Heizkessels, werden nicht einberechnet (da zum Gebäude zählend und deshalb bei dessen Erstellung bilanziert). Diese Anpassungen sind in den Kapiteln 4 und 5 beschrieben.

Die Auswertung erfolgt mit der Software SimaPro 8.0.6 (PRé Consultants 2015).

4 Sachbilanzen Energie am Eingang Gebäude oder Tank

4.1 Brennstoffe fossil

4.1.1 Übersicht

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von fossilen Brennstoffen am Eingang Gebäude oder Tank verwendeten Datensätze sind in Tab. 4.1 aufgelistet.

Tab. 4.1 Übersicht der Sachbilanzdatensätze für fossile Brennstoffe; CH: Schweiz; RER: Europa

Brennstoff	Name des 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 4.1.3	CH
Kohle Koks	hard coal coke, burned in stove 5-15kW	RER
Kohle Brikett	hard coal briquette, burned in stove 5-15kW	RER

Gemäss der in Unterkapitel 1.2 beschriebenen Methodik sind die Brennvorrichtungen wie Ofen oder Heizkessel nicht Teil der Bilanz. So wurde im Vergleich zum KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 der Bezug der Heizungsinfrastruktur in den Sachbilanzen auf null gesetzt. Die verwendeten Datensätze beziehen sich auf den unteren Heizwert. Um die Umweltauswirkungen von fossilen Brennstoffen am Eingang Gebäude oder Tank auf den oberen Heizwert zu beziehen, wurden die Ergebnisse mit dem Verhältnis von oberem zu unterem Heizwert dividiert (siehe Tab. 4.2).

Tab. 4.2 Faktoren zur Umrechnung vom unteren auf den oberen Heizwert

Energieträger	Unterer Heizwert	Oberer Heizwert	Faktor
Heizöl EL	42.6 MJ/kg	45.2 MJ/kg	1.07
Erdgas	45.4 MJ/kg	50.4 MJ/kg	1.11
Propan / Butan	46.1 MJ/kg	49.9 MJ/kg	1.08
Kohle Koks	31.4 MJ/kg	32.4 MJ/kg	1.03
Kohle Brikett	31.4 MJ/kg	32.4 MJ/kg	1.03

4.1.2 Heizöl EL

Die Sachbilanzen von schweizerischen und europäischen Raffinerieprodukten (Heizöl EL, Propan / Butan etc.) wurden mit Daten zum aktuellen Herkunftsmix des verarbeiteten Rohöls angepasst. Zudem wurden der Anteil von importiertem Heizöl EL sowie die Herkunftsländer und Transportdistanzen ins Schweizer Regionallager neu ermittelt. Die Datengrundlagen und Berechnungen sind in Stolz und Frischknecht (2016b) be-

schrieben. Die Sachbilanzen der Herstellung von Heizöl EL in Raffinerien in der Schweiz und in Europa werden in Tab. 4.3 und Tab. 4.4 gezeigt. Die Sachbilanz der Bereitstellung von Heizöl EL im Schweizer Regionallager ist in Tab. 4.5 dargestellt.

Tab. 4.3 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Heizöl EL in Schweizer Raffinerien

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	light fuel oil, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	tap water, at user	CH	0	kg	1.50E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	calcium chloride, CaCl2, at plant	RER	0	kg	1.60E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	8.78E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	iron sulphate, at plant	RER	0	kg	4.93E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	3.45E-5	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Estimation based on literature
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	2.45E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	8.13E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	soap, at plant	RER	0	kg	2.64E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant	RER	0	kg	4.93E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	1.17E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	1.32E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100km
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	7.94E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 600km
	crude oil, production RME, at long distance transport	CH	0	kg	5.70E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RAF, at long distance transport	CH	0	kg	3.57E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production NG, at long distance transport	CH	0	kg	2.19E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production KZ, at long distance transport	CH	0	kg	2.03E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production AZ, at long distance transport	CH	0	kg	8.75E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RU, at long distance transport	CH	0	kg	7.25E-3	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RLA, at long distance transport	CH	0	kg	6.77E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	1.25E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	refinery gas, burned in furnace	CH	0	MJ	1.28E+0	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); Swiss statistic
	heavy fuel oil, burned in refinery furnace	CH	0	MJ	2.97E-1	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); Swiss statistic
	refinery gas, burned in flare	GLO	0	MJ	4.68E-2	1	1.16	(2,4,1,3,1,4); Swiss plant
	refinery	RER	1	p	2.83E-11	1	3.03	(3,3,1,1,1,4); Estimation
	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	1.97E-6	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	4.24E-4	1	1.19	(3,4,2,1,1,4); IPPC European plant data
	propylene glycol, liquid, at plant	RER	0	kg	6.31E-7	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Literature
	zeolite, powder, at plant	RER	0	kg	3.85E-6	1	1.34	Range for RER refineries
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	4.16E-8	1	1.00	Range for RER refineries, Zn Catalyst
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.20E-4	1	1.09	(2,2,1,1,1,3); Average of plant data
	disposal, catalytic converter NOx reduction, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	3.89E-7	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation based on literature data
resource, in ground	Cobalt			kg	2.70E-8	1	2.00	Range for RER refineries, Co/Mo Catalyst
resource, in water	Water, river			m3	5.58E-4	1	1.16	(3,3,1,3,1,4); Average of plant data
	Water, cooling, unspecified natural origin/m3			m3	3.97E-3	1	1.12	(3,3,1,1,1,na); Average of plant data
air, high population density	Ammonia			kg	7.25E-8	1	1.54	(3,4,1,3,1,3); Plant data
	Dinitrogen monoxide			kg	8.35E-7	1	1.52	(3,na,na,na,1,na); Average of plant data
	Nitrogen oxides			kg	1.59E-5	1	1.51	(2,1,1,1,1,3); Swiss plants
	Benzene			kg	5.81E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	1.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butane			kg	5.81E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butene			kg	1.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethane			kg	1.45E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethene			kg	2.90E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heptane			kg	1.45E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hexane			kg	2.90E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified			kg	4.42E-11	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated			kg	2.43E-12	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aromatic			kg	6.63E-13	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Methane, fossil			kg	1.63E-5	1	1.23	(3,na,na,na,1,na); Average of plant data
	Particulates, > 10 um			kg	9.87E-6	1	2.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Pentane			kg	7.26E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propane			kg	5.81E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propene			kg	2.90E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature

Tab. 4.3 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Heizöl EL in Schweizer Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	light fuel oil, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
	Toluene			kg	8.71E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.81E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heat, waste			MJ	1.51E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Sulfur dioxide			kg	1.77E-5	1	1.51	(2,1,1,1,1,3); Swiss plants
water, river	Aluminium			kg	2.79E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	5.58E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	2.23E-7	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	2.79E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	4.44E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	9.66E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	2.49E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	4.01E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	2.79E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	1.39E-5	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	1.11E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	5.58E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	5.58E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	4.59E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	2.16E-7	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	5.58E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	8.37E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Silver			kg	2.79E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	1.68E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sulfide			kg	5.58E-8	1	10.00	Range for RER refineries
	Suspended solids, unspecified			kg	5.58E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	Toluene			kg	5.58E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.58E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ammonium, ion			kg	3.78E-6	1	6.32	Range for RER refineries
	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	9.00E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	1.28E-8	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	9.00E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfate			kg	1.14E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Arsenic			kg	5.54E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	5.54E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	1.24E-7	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	5.54E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	1.75E-7	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	7.31E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Strontium			kg	3.88E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Vanadium			kg	1.66E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	9.55E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Benzene, ethyl-			kg	1.10E-10	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	4.00E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	3.90E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	TOC, Total Organic Carbon			kg	1.58E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Estimation
	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	4.09E-5	1	2.04	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, unspecified			kg	5.64E-8	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	2.72E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	1.44E-7	1	14.00	Range for RER refineries
	Phenol			kg	9.93E-8	1	5.77	Range for RER refineries
Outputs	light fuel oil, at refinery	CH	0	kg	1.00E+0			

Tab. 4.4 Sachbilanzdata zur Herstellung von Heizöl EL in europäischen Raffinerien

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	light fuel oil, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	tap water, at user	RER	0	kg	1.45E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	calcium chloride, CaCl2, at plant	RER	0	kg	1.55E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	8.51E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	iron sulphate, at plant	RER	0	kg	4.78E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	3.35E-5	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Estimation based on literature
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	2.37E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	7.88E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	soap, at plant	RER	0	kg	2.56E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant	RER	0	kg	4.78E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	1.14E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	6.76E-4	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100km
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	4.06E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 600km
	crude oil, production RU, at long distance transport	RER	0	kg	2.70E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production KZ, at long distance transport	RER	0	kg	5.19E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production AZ, at long distance transport	RER	0	kg	2.74E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production RLA, at long distance transport	RER	0	kg	5.12E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production RME, at long distance transport	RER	0	kg	1.76E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production RAF, at long distance transport	RER	0	kg	7.57E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production NG, at long distance transport	RER	0	kg	1.45E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production NO, at long distance transport	RER	0	kg	1.04E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production GB, at long distance transport	RER	0	kg	5.78E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production NL, at long distance transport	RER	0	kg	7.46E-3	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	2.44E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	refinery gas, burned in furnace	RER	0	MJ	1.97E+0	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); IPPC European plant data
	heavy fuel oil, burned in refinery furnace	RER	0	MJ	6.78E-1	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); IPPC European plant data
	refinery gas, burned in flare	GLO	0	MJ	8.33E-2	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	refinery	RER	1	p	2.75E-11	1	3.03	(3,3,1,1,1,4); Estimation
	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	1.92E-6	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	naphtha, at regional storage	RER	0	kg	3.83E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Calculation as input-output balance, not considered for transports
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	4.46E-4	1	1.19	(3,4,2,1,1,4); IPPC European plant data
	propylene glycol, liquid, at plant	RER	0	kg	5.49E-7	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Literature
	zeolite, powder, at plant	RER	0	kg	3.36E-6	1	1.34	Range for RER refineries
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	3.63E-8	1	1.00	Range for RER refineries, Zn Catalyst
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	1.80E-4	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.91E-4	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation
	disposal, catalytic converter NOx reduction, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	3.39E-7	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation based on literature data
resource, in ground	Cobalt			kg	2.90E-8	1	2.00	Range for RER refineries, Co/Mo Catalyst
resource, in water	Water, river			m3	6.70E-4	1	1.16	(3,3,1,3,1,4); Average of plant data
	Water, cooling, unspecified natural origin/m3			m3	3.83E-3	1	1.12	(3,3,1,1,1,na); Average of plant data
air, high population density	Ammonia			kg	7.03E-8	1	1.54	(3,4,1,3,1,3); Plant data
	Dinitrogen monoxide			kg	9.40E-7	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Nitrogen oxides			kg	2.20E-5	1	2.89	11% of Range for RER refineries
	Benzene			kg	5.15E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	1.29E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butane			kg	5.15E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butene			kg	1.29E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethane			kg	1.29E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethene			kg	2.58E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heptane			kg	1.29E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hexane			kg	2.58E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified			kg	4.31E-11	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated			kg	2.37E-12	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aromatic			kg	6.46E-13	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Methane, fossil			kg	3.85E-5	1	1.41	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Particulates, > 10 um			kg	9.62E-6	1	2.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Pentane			kg	6.44E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propane			kg	5.15E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propene			kg	2.58E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature

Tab. 4.4 Sachbilanzdata zur Herstellung von Heizöl EL in europäischen Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	light fuel oil, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
	Toluene			kg	7.73E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.15E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heat, waste			MJ	5.16E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Sulfur dioxide			kg	1.67E-4	1	14.10	Range for RER refineries, Share for sulphur recovery and FCC
water, river	Aluminium			kg	1.22E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	2.45E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	9.76E-8	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	1.22E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	1.94E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	4.24E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	1.09E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	1.76E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	1.22E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	6.11E-6	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	4.89E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	2.45E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	2.45E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	2.01E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	9.47E-8	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	2.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	3.66E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Silver			kg	1.22E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	7.34E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sulfide			kg	2.45E-8	1	10.00	Range for RER refineries
	Suspended solids, unspecified			kg	2.45E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	Toluene			kg	2.44E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	2.45E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	Aluminium			kg	2.12E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	4.25E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	1.70E-7	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	2.12E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	3.39E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	7.37E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	1.90E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	3.06E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	2.12E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	1.06E-5	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	8.51E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	4.25E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	4.26E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	3.49E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	1.65E-7	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	4.25E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	6.38E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	1.27E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Strontium			kg	2.98E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Suspended solids, unspecified			kg	4.25E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	t-Butyl methyl ether			kg	1.35E-7	1	3.16	Range for RER refineries
	Vanadium			kg	1.27E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	7.33E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
water, river	Ammonium, ion			kg	1.63E-6	1	6.32	Range for RER refineries
water, ocean	Ammonium, ion			kg	2.84E-6	1	6.32	Range for RER refineries
water, river	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	3.93E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	5.56E-9	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	3.93E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfate			kg	4.97E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	6.84E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	9.68E-9	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	6.84E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfide			kg	4.32E-8	1	10.00	Range for RER refineries
water, river	Arsenic			kg	2.42E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	2.42E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	5.41E-8	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	2.42E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	7.65E-8	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	3.19E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Strontium			kg	1.69E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Vanadium			kg	7.25E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	4.17E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant

Tab. 4.4 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Heizöl EL in europäischen Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	light fuel oil, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
water, ocean	Arsenic			kg	4.21E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	4.21E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	9.41E-8	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	4.21E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	1.33E-7	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	5.56E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Sulfate			kg	8.42E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	4.20E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, river	Benzene, ethyl-			kg	4.84E-11	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	Benzene, ethyl-			kg	8.41E-11	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, river	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	1.73E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	1.68E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	TOC, Total Organic Carbon			kg	6.80E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Estimation
water, ocean	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	2.99E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	2.92E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Toluene			kg	4.73E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, river	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	1.74E-5	1	2.04	Range for RER refineries
water, ocean	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	3.03E-5	1	2.04	Range for RER refineries
water, river	Hydrocarbons, unspecified			kg	2.31E-8	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	1.11E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	2.24E-7	1	14.00	Range for RER refineries
water, ocean	Hydrocarbons, unspecified			kg	4.02E-8	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	1.94E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	3.89E-7	1	14.00	Range for RER refineries
water, river	Phenol			kg	3.74E-8	1	5.77	Range for RER refineries
water, ocean	Phenol			kg	6.51E-8	1	5.77	Range for RER refineries
Outputs	light fuel oil, at refinery	RER	0	kg	1.00E+0			

Tab. 4.5 Sachbilanzdaten zur Bereitstellung von Heizöl EL im Schweizer Regionallager

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	light fuel oil, at regional storage	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	light fuel oil, at refinery	CH	0	kg	3.75E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); Statistics
	light fuel oil, at refinery	RER	0	kg	6.25E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); Statistics
	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	6.70E-3	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Environmental report
	tap water, at user	RER	0	kg	6.89E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Environmental report
	transport, lorry 20-28t, fleet average	CH	0	tkm	1.50E-1	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	4.88E-2	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	9.12E-2	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, barge tanker	RER	0	tkm	2.07E-1	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, crude oil pipeline, onshore	RER	0	tkm	3.48E-2	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, aircraft, freight, Europe	RER	0	tkm	5.42E-5	1	2.02	(1,1,1,1,1,1); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	regional distribution, oil products	RER	1	p	1.04E-10	1	3.01	(3,na,1,3,1,na); Calculation
	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	6.89E-7	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Used water
	treatment, rainwater mineral oil storage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	5.00E-5	1	1.32	(4,5,3,3,1,na); Rainwater with pollutants
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	6.27E-6	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Environmental report
	disposal, separator sludge, 90% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.85E-5	1	2.03	(2,4,3,3,1,3); Environmental report and literature
air, high population density	Heat, waste			MJ	2.41E-2	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Calculation
Outputs	light fuel oil, at regional storage	CH	0	kg	1.00E+0			

4.1.3 Propan / Butan

Die Sachbilanzen der Herstellung von Propan / Butan wurden mit Daten zum aktuellen Herkunftsmix des verarbeiteten Rohöls angepasst. Die Datengrundlagen und Berech-

nungen sind in Stolz und Frischknecht (2016b) beschrieben. Die aktualisierten Sachbilanzen der Herstellung von Propan / Butan in Raffinerien in der Schweiz und in Europa werden in Tab. 4.6 und Tab. 4.7 gezeigt.

Tab. 4.6 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Propan / Butan in Schweizer Raffinerien

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	propane/ butane, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	5.92E-3	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	tap water, at user	CH	0	kg	1.50E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	1.98E-6	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	calcium chloride, CaCl2, at plant	RER	0	kg	1.60E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	8.79E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	iron sulphate, at plant	RER	0	kg	4.94E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	3.46E-5	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Estimation based on literature
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	2.45E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	8.14E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	soap, at plant	RER	0	kg	2.65E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant	RER	0	kg	4.94E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	1.18E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	1.32E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100km
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	7.95E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 600km
	crude oil, production RME, at long distance transport	CH	0	kg	5.71E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RAF, at long distance transport	CH	0	kg	3.57E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production NG, at long distance transport	CH	0	kg	2.20E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production KZ, at long distance transport	CH	0	kg	2.03E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production AZ, at long distance transport	CH	0	kg	8.76E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RU, at long distance transport	CH	0	kg	7.26E-3	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RLA, at long distance transport	CH	0	kg	6.78E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	2.53E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	refinery gas, burned in furnace	CH	0	MJ	1.93E+0	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); Swiss statistic
	heavy fuel oil, burned in refinery furnace	CH	0	MJ	4.45E-1	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); Swiss statistic
	refinery gas, burned in flare	GLO	0	MJ	7.04E-2	1	1.16	(2,4,1,3,1,4); Swiss plant
	refinery	RER	1	p	4.25E-11	1	3.03	(3,3,1,1,1,4); Estimation
	chlorine, liquid, production mix, at plant	RER	0	kg	8.62E-6	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	1.74E-4	1	1.19	(3,4,2,1,1,4); IPPC European plant data
	propylene glycol, liquid, at plant	RER	0	kg	6.38E-7	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Literature
	molybdenum, at regional storage	RER	0	kg	9.39E-8	1	2.83	Range for RER refineries, Co/Mo Catalyst
	nickel, 99.5%, at plant	GLO	0	kg	1.46E-8	1	4.18	Range for RER refineries, Ni/Mo Catalyst
	palladium, at regional storage	RER	0	kg	2.10E-8	1	1.41	Range for RER refineries, Vanadium Catalyst
	platinum, at regional storage	RER	0	kg	6.66E-10	1	1.12	Range for RER refineries, Reformer Catalyst
	rhodium, at regional storage	RER	0	kg	6.66E-10	1	1.12	Range for RER refineries, Reformer Catalyst
	zeolite, powder, at plant	RER	0	kg	1.26E-5	1	1.34	Range for RER refineries
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	1.35E-7	1	1.00	Range for RER refineries, Zn Catalyst
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.21E-4	1	1.09	(2,2,1,1,1,3); Average of plant data
	disposal, catalytic converter NOx reduction, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	1.27E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation based on literature data
resource, in ground	Rhenium			kg	1.70E-10	1	1.12	Range for RER refineries, Reformer Catalyst
resource, in water	Water, river			m3	5.59E-4	1	1.16	(3,3,1,3,1,4); Average of plant data
	Water, cooling, unspecified natural origin/m3			m3	3.98E-3	1	1.12	(3,3,1,1,1,na); Average of plant data

Tab. 4.6 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Propan / Butan in Schweizer Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	propane/ butane, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
air, high population density	Ammonia			kg	7.26E-8	1	1.54	(3,4,1,3,1,3); Plant data
	Benzene			kg	5.82E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	1.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butane			kg	5.82E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butene			kg	1.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethane			kg	1.45E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethene			kg	2.90E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heptane			kg	1.45E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hexane			kg	2.90E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified			kg	4.43E-11	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated			kg	2.43E-12	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aromatic			kg	6.64E-13	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Methane, fossil			kg	1.63E-5	1	1.23	(3,na,na,na,1,na); Average of plant data
	Particulates, > 10 um			kg	9.88E-6	1	2.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Pentane			kg	7.27E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propane			kg	5.82E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propene			kg	2.90E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Toluene			kg	8.72E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.82E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Dinitrogen monoxide			kg	1.25E-6	1	1.52	(3,na,na,na,1,na); Average of plant data
	Nitrogen oxides			kg	2.38E-5	1	1.51	(2,1,1,1,1,3); Swiss plants
	Heat, waste			MJ	2.26E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Sulfur dioxide			kg	2.65E-5	1	1.51	(2,1,1,1,1,3); Swiss plants
water, river	Aluminium			kg	2.80E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	5.59E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	2.23E-7	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	2.80E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	4.45E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	9.68E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	2.50E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	4.02E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	2.80E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	1.39E-5	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	1.12E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	5.59E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	5.59E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	4.59E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	2.16E-7	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	5.59E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	8.39E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Silver			kg	2.80E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	1.68E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sulfide			kg	5.59E-8	1	10.00	Range for RER refineries
	Suspended solids, unspecified			kg	5.59E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	Toluene			kg	5.59E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.59E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ammonium, ion			kg	3.78E-6	1	6.32	Range for RER refineries
	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	9.01E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	1.28E-8	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	9.01E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfate			kg	1.14E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Arsenic			kg	5.55E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	5.55E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	1.25E-7	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	5.55E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	1.76E-7	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	7.33E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Strontium			kg	3.88E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Vanadium			kg	1.67E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	9.56E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Benzene, ethyl-			kg	1.11E-10	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	4.01E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	3.91E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	TOC, Total Organic Carbon			kg	1.58E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Estimation
	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	4.10E-5	1	2.04	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, unspecified			kg	2.26E-7	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	1.09E-5	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	5.77E-7	1	14.00	Range for RER refineries
	Phenol			kg	9.94E-8	1	5.77	Range for RER refineries
Outputs	propane/ butane, at refinery	CH	0	kg	1.00E+0			

Tab. 4.7 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Propan / Butan in europäischen Raffinerien

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	propane/ butane, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	8.66E-3	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	tap water, at user	RER	0	kg	1.45E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	calcium chloride, CaCl2, at plant	RER	0	kg	1.55E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	8.49E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	iron sulphate, at plant	RER	0	kg	4.77E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	3.34E-5	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Estimation based on literature
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	2.37E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	7.86E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	soap, at plant	RER	0	kg	2.56E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant	RER	0	kg	4.77E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	1.14E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	6.75E-4	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100km
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	4.05E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 600km
	crude oil, production RU, at long distance transport	RER	0	kg	2.70E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production KZ, at long distance transport	RER	0	kg	5.18E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production AZ, at long distance transport	RER	0	kg	2.74E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production RLA, at long distance transport	RER	0	kg	5.11E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production RME, at long distance transport	RER	0	kg	1.75E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production RAF, at long distance transport	RER	0	kg	7.55E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production NG, at long distance transport	RER	0	kg	1.44E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production NO, at long distance transport	RER	0	kg	1.04E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production GB, at long distance transport	RER	0	kg	5.77E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	crude oil, production NL, at long distance transport	RER	0	kg	7.44E-3	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA Monthly Oil Statistics (2015), Tab. 3.4
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	4.92E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	refinery gas, burned in furnace	RER	0	MJ	2.96E+0	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); IPPC European plant data
	heavy fuel oil, burned in refinery furnace	RER	0	MJ	1.02E+0	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); IPPC European plant data
	refinery gas, burned in flare	GLO	0	MJ	1.25E-1	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	refinery	RER	1	p	4.12E-11	1	3.03	(3,3,1,1,1,4); Estimation
	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	1.92E-6	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	naphtha, at regional storage	RER	0	kg	3.83E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Calculation as input-output balance, not considered for transports
	chlorine, liquid, production mix, at plant	RER	0	kg	6.83E-6	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	1.82E-4	1	1.19	(3,4,2,1,1,4); IPPC European plant data
	propylene glycol, liquid, at plant	RER	0	kg	5.51E-7	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Literature
	molybdenum, at regional storage	RER	0	kg	7.87E-8	1	2.83	Range for RER refineries, Co/Mo Catalyst
	nickel, 99.5%, at plant	GLO	0	kg	1.23E-8	1	4.18	Range for RER refineries, Ni/Mo Catalyst
	palladium, at regional storage	RER	0	kg	1.73E-8	1	1.41	Range for RER refineries, Vanadium Catalyst
	platinum, at regional storage	RER	0	kg	5.46E-10	1	1.12	Range for RER refineries, Reformer Catalyst
	rhodium, at regional storage	RER	0	kg	5.46E-10	1	1.12	Range for RER refineries, Reformer Catalyst
	zeolite, powder, at plant	RER	0	kg	1.09E-5	1	1.34	Range for RER refineries
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	1.18E-7	1	1.00	Range for RER refineries, Zn Catalyst
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	1.79E-4	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.91E-4	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation
	disposal, catalytic converter NOx reduction, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	1.10E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation based on literature data
resource, in ground	Rhenium			kg	1.67E-10	1	1.12	Range for RER refineries, Reformer Catalyst
resource, in water	Water, river			m3	6.68E-4	1	1.16	(3,3,1,3,1,4); Average of plant data
	Water, cooling, unspecified natural origin/m3			m3	3.82E-3	1	1.12	(3,3,1,1,1,na); Average of plant data
air, high population density	Ammonia			kg	7.01E-8	1	1.54	(3,4,1,3,1,3); Plant data
	Dinitrogen monoxide			kg	1.41E-6	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Nitrogen oxides			kg	3.30E-5	1	2.89	11% of Range for RER refineries
	Benzene			kg	5.15E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	1.29E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature

Tab. 4.7 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Propan / Butan in europäischen Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	propane/ butane, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
	Butane			kg	5.15E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butene			kg	1.29E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethane			kg	1.29E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethene			kg	2.58E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heptane			kg	1.29E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hexane			kg	2.58E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified			kg	4.31E-11	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated			kg	2.36E-12	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aromatic			kg	6.46E-13	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Methane, fossil			kg	3.84E-5	1	1.41	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Particulates, > 10 um			kg	9.61E-6	1	2.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Pentane			kg	6.44E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propane			kg	5.15E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propene			kg	2.58E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Toluene			kg	7.73E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.15E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heat, waste			MJ	7.74E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Sulfur dioxide			kg	2.50E-4	1	14.10	Range for RER refineries, Share for sulphur recovery and FCC
water, river	Aluminium			kg	1.22E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	2.44E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	9.73E-8	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	1.22E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	1.94E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	4.23E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	1.09E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	1.76E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	1.22E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	6.10E-6	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	4.88E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	2.44E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	2.44E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	2.00E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	9.45E-8	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	2.44E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	3.65E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Silver			kg	1.22E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	7.32E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sulfide			kg	2.44E-8	1	10.00	Range for RER refineries
	Suspended solids, unspecified			kg	2.44E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	Toluene			kg	2.43E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	2.44E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	Aluminium			kg	2.12E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	4.24E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	1.70E-7	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	2.12E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	3.38E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	7.35E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	1.90E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	3.05E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	2.12E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	1.06E-5	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	8.48E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	4.24E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	4.25E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	3.48E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	1.64E-7	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	4.24E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	6.36E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	1.27E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Strontium			kg	2.97E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Suspended solids, unspecified			kg	4.24E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	t-Butyl methyl ether			kg	1.35E-7	1	3.16	Range for RER refineries
	Vanadium			kg	1.27E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	7.31E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
water, river	Ammonium, ion			kg	1.63E-6	1	6.32	Range for RER refineries
	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	1.72E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	1.68E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	TOC, Total Organic Carbon			kg	6.80E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Estimation
water, ocean	Ammonium, ion			kg	2.84E-6	1	6.32	Range for RER refineries
	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	2.99E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	2.91E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Toluene			kg	4.72E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature

Tab. 4.7 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Propan / Butan in europäischen Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	propane/ butane, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
water, river	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	3.93E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	5.55E-9	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	3.93E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfate			kg	4.97E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	6.83E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	9.66E-9	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	6.83E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfide			kg	4.31E-8	1	10.00	Range for RER refineries
water, river	Arsenic			kg	2.42E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	4.82E-11	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	2.42E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	5.39E-8	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	2.42E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	7.62E-8	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	3.18E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Strontium			kg	1.69E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Vanadium			kg	7.23E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	4.16E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
water, ocean	Arsenic			kg	4.20E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	8.39E-11	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	4.20E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	9.38E-8	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	4.20E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	1.33E-7	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	5.54E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Sulfate			kg	8.39E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	4.19E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, river	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	1.74E-5	1	2.04	Range for RER refineries
water, ocean	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	3.03E-5	1	2.04	Range for RER refineries
water, river	Hydrocarbons, unspecified			kg	9.23E-8	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	4.45E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	8.95E-7	1	14.00	Range for RER refineries
water, ocean	Hydrocarbons, unspecified			kg	1.61E-7	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	7.75E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	1.56E-6	1	14.00	Range for RER refineries
water, river	Phenol			kg	3.74E-8	1	5.77	Range for RER refineries
water, ocean	Phenol			kg	6.50E-8	1	5.77	Range for RER refineries
Outputs	propane/ butane, at refinery	RER	0	kg	1.00E+0			

Die Wärmeerzeugung mittels Propan/Butanfeuerung wurde basierend auf der Erdgasfeuerung „natural gas, burned in boiler atm. low-NOx cond. non-modul. <100kW“ modelliert. Der Brennstoff-Input wurde mit dem Datensatz „propane/butane, at refinery, CH” abgebildet und die CO_2-Emissionen wurden anhand der Stöchiometrie bestimmt (siehe Tab. 4.8).

Tab. 4.8 Berechnung der CO_2 Emissionen bei der Verbrennung von Propan / Butan

Name	**oberer Heizwert**	**unterer Heizwert**	**C-Gehalt**	**CO_2-Emissionen**	**Annahme Mischung Flüssiggas Schweiz**
Propan (C_3H_8)	50.4 MJ/kg	46.5 MJ/kg	81.8%	64.6 g/MJ	50%
Butan (C_4H_{10})	49.6 MJ/kg	45.8 MJ/kg	82.8%	66.2 g/MJ	50%
Mischung CH	50.0 MJ/kg	46.1 MJ/kg	82.3 %	65.4 g/MJ	-

4.1.4 Kohle Koks und Kohle Brikett

In den Steinkohledatensätzen sind regionenspezifische Unterschiede des Heizwerts abgebildet. Da diese in der Bewertungsmethode nicht berücksichtigt werden, wurde eine

Korrektur des fossilen Primärenergiebedarfs für „Kohle Koks“ und „Kohle Brikett“ vorgenommen. Die originalen Werte für den fossilen Primärenergiebedarf sind gemäss dem Autor der Datensätze[1] mit den Faktoren 1.0637 für Koks und 1.1678 für Briketts zu multiplizieren.

4.2 Brennstoffe Biomasse

4.2.1 Übersicht

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von biogenen Brennstoffen am Eingang Gebäude oder Tank verwendeten Datensätze sind in Tab. 4.9 aufgelistet.

Tab. 4.9 Übersicht der Sachbilanzdatensätze für Brennstoffe auf Basis von Biomasse; CH: Schweiz

Brennstoff	Name des Datensatzes	Lokalität
Stückholz	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „logs, mixed, burned in furnace 30 kW“, siehe Abschnitt 4.2.2	CH
Stückholz mit Partikelfilter	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „logs, mixed, burned in furnace 30 kW“ , siehe Abschnitt 4.2.2	CH
Holzschnitzel	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50 kW“ , siehe Abschnitt 4.2.2	CH
Holzschnitzel mit Partikelfilter	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50 kW“ , siehe Abschnitt 4.2.2	CH
Pellets	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „pellets, mixed, burned in furnace 50 kW“ , siehe Abschnitt 4.2.2	CH
Pellets mit Partikelfilter	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „pellets, mixed, burned in furnace 50 kW“ , siehe Abschnitt 4.2.2	CH
Biogas	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „natural gas, burned in boiler condensing modulating. <100 kW“, siehe Abschnitt 4.2.5	CH

Gemäss der in Unterkapitel 1.2 beschriebenen Methodik ist die Herstellung der Heizkessel kommerzieller Energieträger nicht Teil der hier bilanzierten Systeme. So wurde im Vergleich zum KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 bei den Datensätzen jeweils der Bezug der Heizungsinfrastruktur auf null gesetzt. Die verwendeten Datensätze beziehen sich auf den unteren Heizwert. Um die Umweltauswirkungen von biogenen Brennstoffen am Eingang Gebäude oder Tank auf den oberen Heizwert zu beziehen, wurden die Ergebnisse durch das Verhältnis von oberem zu unterem Heizwert dividiert (siehe Tab. 4.10).

[1] Email von Christian Bauer, PSI, vom 25. Februar 2008.

Tab. 4.10 Faktoren zur Umrechnung vom unteren auf den oberen 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

4.2.2 Holzfeuerungen

Die Datensätze zur Wärmebereitstellung mittels Stückholz, Holzpellets und Holzschnitzeln wurden aktualisiert. Die Sachbilanzen von Holzprodukten wurden im ecoinvent Datenbestand v3.2 überarbeitet (ecoinvent Centre 2015; Werner et al. 2014) und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Die Holzfeuerungen wurden mit den aktualisierten Sachbilanzen der Bereitstellung von Stückholz, Holzpellets und Holzschnitzeln verknüpft. Die entsprechenden Datensätze und Umrechnungsfaktoren wurden von Frank Werner zur Verfügung gestellt[2] und sind in einem separaten Bericht dokumentiert (Werner 2017).

Die Emissionen von biogenem Kohlenmonoxid und Methan sowie von Stickoxiden, NMVOC und Partikeln wurden basierend auf den in Frischknecht et al. (2010) ausgewerteten Messresultaten modelliert. Zusätzlich wurden Sachbilanzdaten zur Wärmebereitstellung mittels Stückholz-, Holzpellets- und Holzschnitzel-Heizungen erstellt, die mit einem Partikelfilter ausgerüstet sind. Als Partikelfilter wird ein Elektrofilter mit einem Abscheidegrad von 75 % bei einem Stromverbrauch von 50 W im Betrieb und 2 W im Stand-By eingesetzt[3]. Die Sachbilanzen der Holzfeuerungen wurden entsprechend ergänzt beziehungsweise angepasst. Der Stromverbrauch des Partikelfilters beträgt somit (gerundet) ca. 0.1 % der bereitgestellten Nutzwärme.

Die Sachbilanzdaten zur Wärmebereitstellung mittels Stückholz, Holzpellets und Holzschnitzeln mit und ohne Partikelfilter (PF) am Eingang Gebäude oder Tank sind in Tab. 4.11 (bezogen auf den unteren Heizwert) und Tab. 4.12 (bezogen auf den oberen Heizwert, ohne Boilerinfrastruktur) gezeigt. Tab. 4.13 enthält die Sachbilanz daten der Wärmeerzeugung mit Stückholz, Holzpellets und Holzschnitzeln in Feuerungen mit und ohne Partikelfilter am Ausgang Energiewandler (bezogen auf den unteren Heizwert).

---

[2] Persönliche Mitteilung, Frank Werner, Werner Umwelt & Entwicklung, 24.06.2016

[3] Persönliche Mitteilung, Daniel Jud, Oekosolve AG, 15.08.2013

Tab. 4.11 Sachbilanzdaten zur Verbrennung von Stückholz, Holzpellets und Holzschnitzeln in Feuerungen mit und ohne Partikelfilter; am Eingang Gebäude oder Tank, bezogen auf den unteren Heizwert

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	logs, mixed, burned in furnace 30kW , adjusted PM, without PF	logs, mixed, burned in furnace 30kW , adjusted PM, with PF	pellets, mixed, burned in furnace 50kW , adjusted PM, without PF	pellets, mixed, burned in furnace 50kW , adjusted PM, with PF	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW , adjusted PM, without PF	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW , adjusted PM, with PF	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0	0	0	0			
	Unit				MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ			
	logs, mixed, burned in furnace 30kW , adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	logs, mixed, burned in furnace 30kW , adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	pellets, mixed, burned in furnace 50kW , adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00			
	pellets, mixed, burned in furnace 50kW , adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00			
	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW , adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00			
	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW , adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			
technosphere	furnace, wood chips, hardwood, 50kW	CH	1	unit	0	0	0	0	1.06E-7	1.06E-7	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	furnace, pellets, 50kW	CH	1	unit	0	0	1.50E-7	1.50E-7	0	0	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	furnace, logs, mixed, 30kW	CH	1	unit	2.89E-7	2.89E-7	0	0	0	0	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	2.78E-3	3.06E-3	4.17E-3	4.44E-3	4.17E-3	4.44E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	cleft timber, measured as dry mass//[CH] hardwood forestry, mixed species, sustainable forest management	CH	0	kg	3.83E-2	3.83E-2	0	0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	cleft timber, measured as dry mass//[CH] softwood forestry, mixed species, sustainable forest management	CH	0	kg	1.55E-2	1.55E-2	0	0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood pellet, measured as dry mass//[RER] wood pellet production	RER	0	kg	0	0	5.32E-2	5.32E-2	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood chips, wet, measured as dry mass//[CH] hardwood forestry, mixed species, sustainable forest management	CH	0	kg	0	0	0	0	5.7471E-2	5.7471E-2	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	transport, tractor and trailer	CH	0	tkm	6.44E-4	6.44E-4	0	0	0	0	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2);
	transport, lorry 20-28t, fleet average	CH	0	tkm	0	0	5.87E-3	5.87E-3	2.13E-3	2.13E-3	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2);
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.80E-4	2.80E-4	1.19E-4	1.19E-4	2.50E-4	2.50E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming	CH	0	kg	2.80E-4	2.80E-4	1.19E-4	1.19E-4	2.50E-4	2.50E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
emission air, high population density	Acetaldehyde	-	-	kg	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Ammonia	-	-	kg	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1	1.20	(1,1,2,1,1,1,BU:1.2);
	Arsenic	-	-	kg	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Benzene	-	-	kg	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Benzene, ethyl-	-	-	kg	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Benzene, hexachloro-	-	-	kg	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Benzo(a)pyrene	-	-	kg	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Bromine	-	-	kg	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Cadmium	-	-	kg	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Calcium	-	-	kg	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	9.66E-2	9.66E-2	9.65E-2	9.65E-2	1.07E-1	1.07E-1	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	9.57E-5	9.57E-5	9.80E-5	9.80E-5	3.71E-5	3.71E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); Prüfberichte
	Chlorine	-	-	kg	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Chromium	-	-	kg	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Chromium VI	-	-	kg	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Copper	-	-	kg	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	4.00E-6	4.00E-6	2.50E-6	2.50E-6	3.00E-6	3.00E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	-	-	kg	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Fluorine	-	-	kg	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Formaldehyde	-	-	kg	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Heat, waste	-	-	MJ	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	-	-	kg	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	-	-	kg	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Lead	-	-	kg	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Magnesium	-	-	kg	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Manganese	-	-	kg	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Mercury	-	-	kg	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Methane, biogenic	-	-	kg	3.94E-6	3.94E-6	1.79E-7	1.79E-7	5.08E-7	5.08E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); Prüfberichte, scaled from ecoinvent
	m-Xylene	-	-	kg	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Nickel	-	-	kg	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Nitrogen oxides	-	-	kg	8.44E-5	8.44E-5	8.32E-5	8.32E-5	9.45E-5	9.45E-5	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); Prüfberichte
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	1.92E-6	1.92E-6	8.97E-7	8.97E-7	6.53E-7	6.53E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); Prüfberichte, scaled from ecoinvent
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	-	kg	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Particulates, < 2.5 um	-	-	kg	1.49E-5	3.71E-6	1.32E-5	3.29E-6	2.11E-5	5.27E-6	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); Prüfberichte
	Phenol, pentachloro-	-	-	kg	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Phosphorus	-	-	kg	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Potassium	-	-	kg	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Sodium	-	-	kg	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Sulfur dioxide	-	-	kg	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	Toluene	-	-	kg	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Zinc	-	-	kg	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);

Tab. 4.12 Sachbilanzdaten zur Verbrennung von Stückholz, Holzpellets und Holzschnitzeln in Feuerungen mit und ohne Partikelfilter (PF); am Eingang Gebäude oder Tank, bezogen auf den oberen Heizwert, ohne Boilerinfrastruktur

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	logs, mixed, burned in furnace 30kW (proj. 210), adjusted PM, without PF	logs, mixed, burned in furnace 30kW (proj. 210), adjusted PM, with PF	pellets, mixed, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, without PF	pellets, mixed, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, with PF	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, without PF	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, with PF	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0	0	0	0			
	Unit				MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ			
	logs, mixed, burned in furnace 30kW (proj. 210), adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	logs, mixed, burned in furnace 30kW (proj. 210), adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00			
	pellets, mixed, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00			
	pellets, mixed, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00			
	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00			
	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08			
technosphere	furnace, wood chips, hardwood, 50kW	CH	1	unit	0	0	0	0	0	0	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	furnace, pellets, 50kW	CH	1	unit	0	0	0	0	0	0	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	furnace, logs, mixed, 30kW	CH	1	unit	0	0	0	0	0	0	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	2.78E-3	3.06E-3	4.17E-3	4.44E-3	4.17E-3	4.44E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	cleft timber, measured as dry mass//[CH] hardwood forestry, mixed species, sustainable forest management	CH	0	kg	3.83E-2	3.83E-2	0	0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	cleft timber, measured as dry mass//[CH] softwood forestry, mixed species, sustainable forest management	CH	0	kg	1.55E-2	1.55E-2	0	0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood pellet, measured as dry mass//[RER] wood pellet production	RER	0	kg	0	0	5.32E-2	5.32E-2	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood chips, wet, measured as dry mass//[CH] hardwood forestry, mixed species, sustainable forest management	CH	0	kg	0	0	0	0	5.7471E-2	5.7471E-2	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	transport, tractor and trailer	CH	0	tkm	6.44E-4	6.44E-4	0	0	0	0	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2);
	transport, lorry 20-28t, fleet average	CH	0	tkm	0	0	5.87E-3	5.87E-3	2.13E-3	2.13E-3	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2);
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.80E-4	2.80E-4	1.19E-4	1.19E-4	2.50E-4	2.50E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming	CH	0	kg	2.80E-4	2.80E-4	1.19E-4	1.19E-4	2.50E-4	2.50E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
emission air, high population density	Acetaldehyde	-	-	kg	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	6.10E-8	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Ammonia	-	-	kg	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1.73E-6	1	1.20	(1,1,2,1,1,1,BU:1.2);
	Arsenic	-	-	kg	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1.00E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Benzene	-	-	kg	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Benzene, ethyl-	-	-	kg	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	3.00E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Benzene, hexachloro-	-	-	kg	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	7.20E-15	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Benzo(a)pyrene	-	-	kg	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	5.00E-10	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Bromine	-	-	kg	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	6.00E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Cadmium	-	-	kg	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	7.00E-10	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Calcium	-	-	kg	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	5.85E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	9.66E-2	9.66E-2	9.65E-2	9.65E-2	1.07E-1	1.07E-1	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	9.57E-5	9.57E-5	9.80E-5	9.80E-5	3.71E-5	3.71E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); Prüfberichte
	Chlorine	-	-	kg	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1.80E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Chromium	-	-	kg	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	3.96E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Chromium VI	-	-	kg	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	4.00E-11	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Copper	-	-	kg	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	2.20E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	4.00E-6	4.00E-6	2.50E-6	2.50E-6	3.00E-6	3.00E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	-	-	kg	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	3.10E-14	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Fluorine	-	-	kg	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	5.00E-8	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Formaldehyde	-	-	kg	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1.30E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Heat, waste	-	-	MJ	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1.08E+0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	-	-	kg	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	9.10E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	-	-	kg	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	3.10E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Lead	-	-	kg	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	2.50E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Magnesium	-	-	kg	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	3.60E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Manganese	-	-	kg	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1.70E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Mercury	-	-	kg	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	3.00E-10	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Methane, biogenic	-	-	kg	3.94E-6	3.94E-6	1.79E-7	1.79E-7	5.08E-7	5.08E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); Prüfberichte, scaled from ecoinvent
	m-Xylene	-	-	kg	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1.20E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Nickel	-	-	kg	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	6.00E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Nitrogen oxides	-	-	kg	8.44E-5	8.44E-5	8.32E-5	8.32E-5	9.45E-5	9.45E-5	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); Prüfberichte
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	1.92E-6	1.92E-6	8.97E-7	8.97E-7	6.53E-7	6.53E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); Prüfberichte, scaled from ecoinvent
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	-	kg	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1.11E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	Particulates, < 2.5 um	-	-	kg	1.49E-5	3.71E-6	1.32E-5	3.29E-6	2.11E-5	5.27E-6	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); Prüfberichte
	Phenol, pentachloro-	-	-	kg	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	8.10E-12	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Phosphorus	-	-	kg	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Potassium	-	-	kg	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	2.34E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Sodium	-	-	kg	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1.30E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);
	Sulfur dioxide	-	-	kg	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	2.50E-6	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
	Toluene	-	-	kg	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5);
	Zinc	-	-	kg	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	3.00E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5);

Tab. 4.13 Sachbilanzdaten zur Wärmeerzeugung mit Stückholz, Holzpellets und Holzschnitzeln in Feuerungen mit und ohne Partikelfilter; am Ausgang Energiewandler, bezogen auf den unteren Heizwert

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	heat, mixed logs, at furnace 30kW, adjusted PM, without PF	heat, mixed logs, at furnace 30kW, adjusted PM, with PF	heat, wood pellets, at furnace 50kW, adjusted PM, without PF	heat, wood pellets, at furnace 50kW, adjusted PM, with PF	heat, hardwood chips, at furnace 50kW, adjusted PM, without PF	heat, hardwood chips, at furnace 50kW, adjusted PM, with PF	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0	0	0	0			
	Unit				MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ			
	heat, mixed logs, at furnace 30kW, adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	heat, mixed logs, at furnace 30kW, adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	heat, wood pellets, at furnace 50kW, adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00			
	heat, wood pellets, at furnace 50kW, adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00			
	heat, hardwood chips, at furnace 50kW, adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00			
	heat, hardwood chips, at furnace 50kW, adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			
	heat, biogas, at boiler condensing modulating <100kW	RER	0	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
technosphere	logs, mixed, burned in furnace 30kW , adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	1.47E+0	0	0	0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); logs, mixed, burned in furnace 30kW
	logs, mixed, burned in furnace 30kW , adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0	1.47E+0	0	0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); logs, mixed, burned in furnace 30kW
	pellets, mixed, burned in furnace 50kW , adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0	0	1.18E+0	0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); pellets, mixed, burned in furnace 50kW
	pellets, mixed, burned in furnace 50kW , adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0	0	0	1.18E+0	0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); pellets, mixed, burned in furnace 50kW
	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW , adjusted PM, without PF	CH	0	MJ	0	0	0	0	1.25E+0	0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW
	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW , adjusted PM, with PF	CH	0	MJ	0	0	0	0	0	1.25E+0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW

4.2.3 Grüngutvergärung

Die KBOB-Ökobilanzdaten zur Grüngutvergärung (Jungbluth et al. 2007) wurden mit neuen Daten zu den Emissionen von Luftschadstoffen aktualisiert. Tab. 4.14 stellt die angewendeten Emissionsfaktoren aus Cuhls et al. (2008) dar.

Tab. 4.14 Emissionsfaktoren der Grüngutvergärung[4] gemäss Cuhls et al. (2008). Allokationsfaktoren gemäss Jungbluth et al. (2007)

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

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

4.2.4 Biogasmix und -aufbereitung

Für die Biogasaufbereitung zu Biomethan stehen Sachbilanzdaten von Stucki et al. (2011) zu den Technologien Druckwechseladsorption (PSA), Aminwäsche und Glykolwäsche zur Verfügung. Basierend auf der Jahresproduktion der Aufbereitungsanlagen, welche im Jahr 2012 Biomethan ins Erdgasnetz einspeisten, ergibt sich ein Technologiemix mit 47.9 % Druckwechseladsorption, 43.3 % Aminwäsche und 8.9 % Glykolwäsche (siehe Tab. 4.15 und Tab. 4.16). Für die Anteile der Biogassubstrate wurden die in Tab. 4.15 gezeigten Daten verwendet. 46.6 % des aufbereiteten Biogases wird demnach aus Grüngut gewonnen, 33.3 % aus Klärschlamm und 20.0 % aus

[4] Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte

landwirtschaftlichen Biogasanlagen (siehe Tab. 4.17). Da Biogas aus biogenen Abfällen gewonnen wird, wird der Energieinput unter der pro-memoria-Grösse „Abwärme / Abfall“ verbucht.

Tab. 4.15 Übersicht über die Schweizer Biogasanlagen, welche im Jahr 2012 ins Erdgasnetz einspeisen[5]

Ort / Name	Art / Substrat	Jahresproduktion 2011 (kWh)	System Aufbereitungsverfahren
Otelfingen, Kompogas	Grüngut, Speiseresten, Industrieabfälle	700'000	PSA
Pratteln, Bio Power	Bioabfall kommunal und gewerblich	6'694'409	Genosorb
Emmen, GALU	Klärschlamm	5'000'000	PSA
Romanshorn	Klärschlamm und Co-Substrate	1'100'000	Genosorb
Bern	Klärschlamm und Co-Substrate	17'000'000	PSA
Widnau, Rhy Biogas	Gülle und Co-Substrate	7'734'425	PSA
Inwil, Swiss Farmer Power	Hofdünger, Grüngut, Co-Substrate	13'360'200	Aminwäsche
Meilen	Klärschlamm und Co-Substrate	600'000	Aminwäsche
Lavigny, Germanier	Grüngut und Co-Substrate	6'000'000	PSA
Utzenstorf, Kompogas*	Biogene Abfälle und Rückstände	2'318'190	keine CO_2-Abtrennung (eingeschränkte Einspeisung)
Roche, STEP	Klärschlamm	5'550'000	PSA
Volketswil, Kompogas	Grüngut und Co-Substrate	9'000'000	Aminwäsche
Münchwilen, BioRender	Abfälle aus tierischen Nebenprodukten	15'000'000	Aminwäsche
* nicht berücksichtigt, da keine Aufbereitung stattfindet			

Tab. 4.16 Sachbilanz der Anteile verschiedener Biogas-Aufbereitungstechnologien in der Schweiz

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

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

Tab. 4.17 Sachbilanz der Anteile verschiedener Biogastypen in der Schweiz

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

4.2.5 Biogasfeuerung

Da für die Wärmeerzeugung mit Biogas kein Datensatz vorliegt, wurde aufgrund des Emissionsprofils der Erdgasfeuerung ein Datensatz mit dem Biogas-Input „Methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer“ erstellt. Dabei wird Biogas ab Niederdrucknetz als Input eingesetzt, welches aus verschiedenen Substraten gewonnen und ins Erdgasnetz eingespeist wird (siehe Tab. 4.17). Die Kohlenmonoxid-, Kohlendioxid- und Methan-Emissionen aus der Verbrennung wurden als biogen (statt fossil) verbucht.

Die angepassten Sachbilanzdaten für die Wärmebereitstellung mittels Biogas am Eingang Gebäude oder Tank bezogen auf den unteren Heizwert und den oberen Heizwert ohne Boilerinfrastruktur werden in Tab. 4.18 gezeigt. Tab. 4.19 enthält die Sachbilanzdaten der Wärmeerzeugung mit Biogas in einer Heizung am Ausgang Energiewandler (bezogen auf den unteren Heizwert).

Tab. 4.18 Sachbilanzdaten zur Verbrennung von Biogas in einer Heizung; am Eingang Gebäude oder Tank, bezogen auf den unteren Heizwert (links) und den oberen Heizwert (rechts), ohne Boilerinfrastruktur

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	biogas, burned in boiler condensing modulating <100kW	biogas, burned in boiler condensing modulating <100kW (Proj. 210)	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER	RER			
	InfrastructureProcess				0	0			
	Unit				MJ	MJ			
	biogas, burned in boiler condensing modulating <100kW	RER	0	MJ	1.00	0.00			
	biogas, burned in boiler condensing modulating <100kW (Proj. 210)	RER	0	MJ	0.00	1.11			
technosphere	methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer	CH	0	MJ	1.00E+0	1.00E+0	1	1.20	CH module used for RER
	electricity, low voltage, production UCTE, at grid	UCTE	0	kWh	2.78E-3	2.78E-3	1	2.00	range of electricity for pumps etc., different literature
	gas boiler	RER	1	unit	6.60E-7	0	1	1.50	uncertainty of life time and extrapolation to range of capacity
emission air, high population density	Heat, waste			MJ	1.11E+0	1.11E+0	1	1.00	uncertainty of operation supply energy and heating value
	Acetaldehyde			kg	1.00E-9	1.00E-9	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Benzo(a)pyrene			kg	1.00E-11	1.00E-11	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Benzene			kg	4.00E-7	4.00E-7	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Butane			kg	7.00E-7	7.00E-7	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Methane, fossil			kg	2.00E-6	2.00E-6	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
emission air, high population density	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	5.90E-6	5.90E-6	1	7.40	calculated based on (SVGW 2002)
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	5.60E-2	5.60E-2	1	1.10	composition of natural gas
emission air, high population density	Acetic acid			kg	1.50E-7	1.50E-7	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Formaldehyde			kg	1.00E-7	1.00E-7	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Mercury			kg	3.00E-11	3.00E-11	1	5.00	trace element in natural gas
	Dinitrogen monoxide			kg	5.00E-7	5.00E-7	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Nitrogen oxides			kg	9.90E-6	9.90E-6	1	3.60	calculated based on (SVGW 2002)
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	1.00E-8	1.00E-8	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Particulates, < 2.5 um			kg	1.00E-7	1.00E-7	1	2.00	literature
	Pentane			kg	1.20E-6	1.20E-6	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Propane			kg	2.00E-7	2.00E-7	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Propionic acid			kg	2.00E-8	2.00E-8	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Sulfur dioxide			kg	5.00E-7	5.00E-7	1	1.10	composition of natural gas
	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin			kg	3.00E-17	3.00E-17	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
	Toluene			kg	2.00E-7	2.00E-7	1	8.00	rough estimate, high uncertainty
emission water, river	Nitrate			kg	1.30E-7	1.30E-7	1	3.00	literature, range of values
	Nitrite			kg	3.00E-9	3.00E-9	1	3.00	literature, range of values
	Sulfate			kg	5.00E-8	5.00E-8	1	3.00	literature, range of values
	Sulfite			kg	5.00E-8	5.00E-8	1	3.00	literature, range of values

Tab. 4.19 Sachbilanzdaten zur Wärmeerzeugung mit Biogas in einer Heizung; am Ausgang Energiewandler, bezogen auf den unteren Heizwert

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	heat, biogas, at boiler condensing modulating <100kW	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				MJ			
	heat, biogas, at boiler condensing modulating <100kW	RER	0	MJ	1.00			
	biogas, burned in boiler condensing modulating <100kW	RER	0	MJ	9.80E-1	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW

4.3 Treibstoffe fossil und Biomasse

4.3.1 Übersicht

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von fossilen und biogenen Treibstoffen am Eingang Tank verwendeten Datensätze sind in Tab. 4.20 aufgelistet. Für Gütertransporte mit Lastwagen und für Baumaschinen wurden die aktualisierten Sachbilanzen aus mobitool v2.0 verwendet. Diese Sachbilanzen sind in Stolz et al. (2016a) im Detail beschrieben.

Tab. 4.20 Übersicht der Sachbilanzdatensätze für Treibstoffe; CH: Schweiz; RER: Europa

Energieträger	**Name des Datensatzes**	**Lokalität**
Diesel in Lastwagen	Neuer Datensatz aus der Aktualisierung und Erweiterung der mobitool-Faktoren v2.0 (Stolz et al. 2016a): transport, freight, lorry, fleet average/CH U	CH
Diesel in Baumaschine	Neuer Datensatz aus der Aktualisierung und Erweiterung der mobitool-Faktoren v2.0 (Stolz et al. 2016a): excavation, hydraulic digger, average/CH U	CH
Diesel in Personenwagen	Operation, passenger car, diesel, fleet average/CH U	CH
Benzin in Personenwagen	Operation, passenger car, petrol, fleet average/CH U	CH
Erdgas in Personenwagen	Operation, passenger car, natural gas/CH U	CH
Biogas in Personenwagen	Operation, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas/CH U	CH
Strom in Personenwagen	Operation, passenger car, electric, LiMn2O4 (proj. 500)/km/CH U	CH
Benzin in Scooter	Operation, scooter/CH U	CH
Kerosin in Flugzeug	Operation, aircraft, passenger, Europe /CH U	CH

4.3.2 Treibstoffbereitstellung

Die Sachbilanzen von schweizerischen und europäischen Raffinerieprodukten (Benzin, Diesel, Kerosin etc.) wurden mit Daten zum aktuellen Herkunftsmix des verarbeiteten Rohöls angepasst. Zudem wurden der Anteil der importierten Treibstoffe sowie deren Herkunft und Transportdistanzen ins Schweizer Regionallager neu ermittelt. Die aktualisierten Sachbilanzen von Benzin und Diesel sind in den Berichten von Stolz und Frischknecht (2016b) und Stolz et al. (2016a) ausführlich dokumentiert. Die Sachbilanzen der Produktion und Bereitstellung von Kerosin sind in Tab. 4.21, Tab. 4.22 und Tab. 4.23 aufgelistet.

Tab. 4.21 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Kerosin in Schweizer Raffinerien

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	kerosene, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	tap water, at user	CH	0	kg	1.50E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	calcium chloride, CaCl2, at plant	RER	0	kg	1.60E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	8.78E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	iron sulphate, at plant	RER	0	kg	4.93E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	3.45E-5	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Estimation based on literature
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	2.45E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	8.13E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	soap, at plant	RER	0	kg	2.64E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant	RER	0	kg	4.93E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	1.17E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	1.32E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100km
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	7.94E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 600km
	crude oil, production RME, at long distance transport	CH	0	kg	5.71E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RAF, at long distance transport	CH	0	kg	3.57E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production NG, at long distance transport	CH	0	kg	2.20E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production KZ, at long distance transport	CH	0	kg	2.03E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production AZ, at long distance transport	CH	0	kg	8.76E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RU, at long distance transport	CH	0	kg	7.26E-3	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	crude oil, production RLA, at long distance transport	CH	0	kg	6.78E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	1.07E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	refinery gas, burned in furnace	CH	0	MJ	1.29E+0	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); Swiss statistic
	heavy fuel oil, burned in refinery furnace	CH	0	MJ	2.97E-1	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); Swiss statistic
	refinery gas, burned in flare	GLO	0	MJ	4.69E-2	1	1.16	(2,4,1,3,1,4); Swiss plant
	refinery	RER	1	p	2.83E-11	1	3.03	(3,3,1,1,1,4); Estimation
	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	1.98E-6	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	1.86E-4	1	1.19	(3,4,2,1,1,4); IPPC European plant data
	propylene glycol, liquid, at plant	RER	0	kg	6.34E-7	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Literature
	molybdenum, at regional storage	RER	0	kg	8.45E-8	1	2.83	Range for RER refineries, Co/Mo Catalyst
	nickel, 99.5%, at plant	GLO	0	kg	1.34E-8	1	4.18	Range for RER refineries, Ni/Mo Catalyst
	zeolite, powder, at plant	RER	0	kg	6.76E-6	1	1.34	Range for RER refineries
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	7.29E-8	1	1.00	Range for RER refineries, Zn Catalyst
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.20E-4	1	1.09	(2,2,1,1,1,3); Average of plant data
	disposal, catalytic converter NOx reduction, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	6.81E-7	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation based on literature data
resource, in water	Water, river			m3	5.59E-4	1	1.16	(3,3,1,3,1,4); Average of plant data
	Water, cooling, unspecified natural origin/m3			m3	3.98E-3	1	1.12	(3,3,1,1,1,na); Average of plant data
air, high population density	Ammonia			kg	7.25E-8	1	1.54	(3,4,1,3,1,3); Plant data
	Dinitrogen monoxide			kg	8.36E-7	1	1.52	(3,na,na,na,1,na); Average of plant data
	Nitrogen oxides			kg	1.59E-5	1	1.51	(2,1,1,1,1,3); Swiss plants
	Benzene			kg	5.82E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	1.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butane			kg	5.82E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butene			kg	1.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethane			kg	1.45E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethene			kg	2.90E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heptane			kg	1.45E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hexane			kg	2.90E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified			kg	4.43E-11	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated			kg	2.43E-12	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aromatic			kg	6.64E-13	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Methane, fossil			kg	1.63E-5	1	1.23	(3,na,na,na,1,na); Average of plant data
	Particulates, > 10 um			kg	9.88E-6	1	2.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Pentane			kg	7.27E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propane			kg	5.82E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propene			kg	2.90E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature

Tab. 4.21 Sachbilanzdata zur Herstellung von Kerosin in Schweizer Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	kerosene, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
	Toluene			kg	8.72E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.82E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heat, waste			MJ	1.51E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Sulfur dioxide			kg	1.77E-5	1	1.51	(2,1,1,1,1,3); Swiss plants
water, river	Benzene			kg	1.28E-8	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	9.01E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfate			kg	1.14E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Arsenic			kg	4.99E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	4.99E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	1.12E-7	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	4.99E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	1.58E-7	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	6.59E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Strontium			kg	3.49E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Vanadium			kg	1.50E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	8.60E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Benzene, ethyl-			kg	9.95E-11	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	3.65E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	3.55E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	TOC, Total Organic Carbon			kg	1.44E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Estimation
	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	3.41E-5	1	2.04	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, unspecified			kg	2.07E-7	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	9.99E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	5.29E-7	1	14.00	Range for RER refineries
	Phenol			kg	6.63E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Aluminium			kg	2.79E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	5.59E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	2.23E-7	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	2.79E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	4.44E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	9.67E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	2.50E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	4.02E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	2.79E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	1.39E-5	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	1.12E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	5.59E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	5.59E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	4.59E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	2.16E-7	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	5.59E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	8.38E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Silver			kg	2.79E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	1.68E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sulfide			kg	5.59E-8	1	10.00	Range for RER refineries
	Suspended solids, unspecified			kg	5.59E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	Toluene			kg	5.59E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.59E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ammonium, ion			kg	3.44E-6	1	6.32	Range for RER refineries
	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	9.01E-9	1	3.16	Range for RER refineries
Outputs	kerosene, at refinery	CH	0	kg	1.00E+0			

Tab. 4.22 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Kerosin in europäischen Raffinerien

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	kerosene, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	tap water, at user	RER	0	kg	1.45E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	calcium chloride, CaCl2, at plant	RER	0	kg	1.55E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	0	kg	8.50E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	iron sulphate, at plant	RER	0	kg	4.78E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	3.34E-5	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Estimation based on literature
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	2.37E-5	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	nitrogen, liquid, at plant	RER	0	kg	7.87E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Env. reports DE
	soap, at plant	RER	0	kg	2.56E-6	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant	RER	0	kg	4.78E-5	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature, waste water treatment
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	1.14E-5	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	6.75E-4	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100km
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	4.05E-3	1	2.10	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 600km
	crude oil, production RU, at long distance transport	RER	0	kg	2.70E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production KZ, at long distance transport	RER	0	kg	5.18E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production AZ, at long distance transport	RER	0	kg	2.74E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production RLA, at long distance transport	RER	0	kg	5.11E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production RME, at long distance transport	RER	0	kg	1.75E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production RAF, at long distance transport	RER	0	kg	7.56E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production NG, at long distance transport	RER	0	kg	1.44E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production NO, at long distance transport	RER	0	kg	1.04E-1	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production GB, at long distance transport	RER	0	kg	5.77E-2	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	crude oil, production NL, at long distance transport	RER	0	kg	7.45E-3	1	1.07	(1,1,1,1,1,3); IEA statistics
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	2.09E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	refinery gas, burned in furnace	RER	0	MJ	1.97E+0	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); IPPC European plant data
	heavy fuel oil, burned in refinery furnace	RER	0	MJ	6.77E-1	1	1.09	(2,1,1,1,1,3); IPPC European plant data
	refinery gas, burned in flare	GLO	0	MJ	8.33E-2	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	refinery	RER	1	p	2.75E-11	1	3.03	(3,3,1,1,1,4); Estimation
	ammonia, liquid, at regional storehouse	RER	0	kg	1.92E-6	1	1.34	(3,4,4,3,3,na); Literature
	naphtha, at regional storage	RER	0	kg	3.83E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Calculation as input-output balance, not considered for transports
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	1.95E-4	1	1.19	(3,4,2,1,1,4); IPPC European plant data
	propylene glycol, liquid, at plant	RER	0	kg	5.48E-7	1	1.26	(3,4,1,3,3,na); Literature
	molybdenum, at regional storage	RER	0	kg	7.09E-8	1	2.83	Range for RER refineries, Co/Mo Catalyst
	nickel, 99.5%, at plant	GLO	0	kg	1.12E-8	1	4.18	Range for RER refineries, Ni/Mo Catalyst
	zeolite, powder, at plant	RER	0	kg	5.88E-6	1	1.34	Range for RER refineries
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	6.34E-8	1	1.00	Range for RER refineries, Zn Catalyst
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	1.80E-4	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	disposal, refinery sludge, 89.5% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.91E-4	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation
	disposal, catalytic converter NOx reduction, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	5.93E-7	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Estimation based on literature data
resource, in water	Water, river			m3	6.69E-4	1	1.16	(3,3,1,3,1,4); Average of plant data
	Water, cooling, unspecified natural origin/m3			m3	3.82E-3	1	1.12	(3,3,1,1,1,na); Average of plant data
air, high population density	Ammonia			kg	7.02E-8	1	1.54	(3,4,1,3,1,3); Plant data
	Dinitrogen monoxide			kg	9.39E-7	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Nitrogen oxides			kg	2.20E-5	1	2.89	11% of Range for RER refineries
	Benzene			kg	5.15E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Benzene, ethyl-			kg	1.29E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butane			kg	5.15E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Butene			kg	1.29E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethane			kg	1.29E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Ethene			kg	2.58E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heptane			kg	1.29E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hexane			kg	2.58E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified			kg	4.31E-11	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated			kg	2.36E-12	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Hydrocarbons, aromatic			kg	6.46E-13	1	1.51	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Methane, fossil			kg	3.84E-5	1	1.41	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Particulates, > 10 um			kg	9.61E-6	1	2.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Pentane			kg	6.44E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propane			kg	5.15E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Propene			kg	2.58E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Toluene			kg	7.73E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	5.15E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Heat, waste			MJ	5.16E-2	1	1.10	(2,3,1,3,1,3); Average of plant data
	Sulfur dioxide			kg	1.67E-4	1	14.10	Range for RER refineries, Share for sulphur recovery and FCC

Tab. 4.22 Sachbilanzdata zur Herstellung von Kerosin in europäischen Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	kerosene, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
water, river	Aluminium			kg	1.22E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	2.45E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	9.74E-8	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	1.22E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	1.94E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	4.23E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	1.09E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	1.76E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	1.22E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	6.10E-6	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	4.88E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	2.45E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	2.45E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	2.01E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	9.46E-8	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	2.45E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	3.66E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Silver			kg	1.22E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	7.33E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sulfide			kg	2.45E-8	1	10.00	Range for RER refineries
	Suspended solids, unspecified			kg	2.45E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	Toluene			kg	2.44E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	2.45E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	Aluminium			kg	2.12E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Barium			kg	4.24E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Boron			kg	1.70E-7	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Calcium			kg	2.12E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chloride			kg	3.38E-5	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant, basic uncertainity = 5 estimated based on range
	Cyanide			kg	7.35E-8	1	5.77	Range for RER refineries
	Fluoride			kg	1.90E-6	1	4.47	Range for RER refineries
	Hydrocarbons, aromatic			kg	3.06E-7	1	3.01	(2,3,1,1,1,3); Average of plant data
	Iron			kg	2.12E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Magnesium			kg	1.06E-5	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Manganese			kg	8.49E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Mercury			kg	4.24E-11	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Molybdenum			kg	4.25E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Nitrate			kg	3.49E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Phosphorus			kg	1.64E-7	1	3.87	Range for RER refineries
	Potassium			kg	4.24E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Selenium			kg	6.37E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Sodium			kg	1.27E-4	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Strontium			kg	2.97E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Suspended solids, unspecified			kg	4.24E-6	1	5.00	Range for RER refineries
	t-Butyl methyl ether			kg	1.35E-7	1	3.16	Range for RER refineries
	Vanadium			kg	1.27E-8	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	7.32E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
water, river	Ammonium, ion			kg	1.48E-6	1	6.32	Range for RER refineries
	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	1.57E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	1.53E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	TOC, Total Organic Carbon			kg	6.18E-6	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Estimation
water, ocean	Ammonium, ion			kg	2.58E-6	1	6.32	Range for RER refineries
	BOD5, Biological Oxygen Demand			kg	2.72E-6	1	3.16	Range for RER refineries
	DOC, Dissolved Organic Carbon			kg	2.65E-8	1	1.53	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Toluene			kg	4.29E-7	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, river	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	3.93E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	5.56E-9	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	3.93E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfate			kg	4.97E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl			kg	6.84E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Benzene			kg	9.67E-9	1	44.70	Range for RER refineries
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons			kg	6.84E-9	1	3.16	Range for RER refineries
	Sulfide			kg	4.32E-8	1	10.00	Range for RER refineries
water, river	Arsenic			kg	2.18E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	2.18E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	4.86E-8	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	2.18E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	6.88E-8	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	2.87E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Strontium			kg	1.52E-7	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Vanadium			kg	6.52E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Zinc			kg	3.76E-8	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant

Tab. 4.22 Sachbilanzdaten zur Herstellung von Kerosin in europäischen Raffinerien (Fortsetzung)

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	kerosene, at refinery	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				RER			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
water, ocean	Arsenic			kg	3.79E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Cadmium			kg	3.79E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Chromium			kg	8.47E-8	1	2.24	Range for RER refineries
	Copper			kg	3.79E-9	1	5.13	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Lead			kg	1.20E-7	1	5.02	(2,3,1,1,1,4); Range for RER refineries
	Nickel			kg	5.00E-9	1	5.02	(2,4,1,2,1,3); Average of CH plant
	Sulfate			kg	7.57E-5	1	1.65	(3,5,4,3,1,4); Literature
	Xylene			kg	3.78E-8	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, river	Benzene, ethyl-			kg	4.35E-11	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, ocean	Benzene, ethyl-			kg	7.56E-11	1	3.12	(3,5,4,3,1,4); Literature
water, river	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	1.45E-5	1	2.04	Range for RER refineries
water, ocean	COD, Chemical Oxygen Demand			kg	2.52E-5	1	2.04	Range for RER refineries
water, river	Hydrocarbons, unspecified			kg	8.46E-8	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	4.08E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	8.20E-7	1	14.00	Range for RER refineries
water, ocean	Hydrocarbons, unspecified			kg	1.47E-7	1	5.48	Range for RER refineries
	Nitrogen, organic bound			kg	7.10E-6	1	2.65	Range for RER refineries
	Oils, unspecified			kg	1.43E-6	1	14.00	Range for RER refineries
water, river	Phenol			kg	2.49E-8	1	5.77	Range for RER refineries
water, ocean	Phenol			kg	4.33E-8	1	5.77	Range for RER refineries
Outputs	kerosene, at refinery	RER	0	kg	1.00E+0			

Tab. 4.23 Sachbilanzdaten der Bereitstellung von Kerosin im Schweizer Regionallager

	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	kerosene, at regional storage	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kg			
Technosphere	kerosene, at refinery	CH	0	kg	1.52E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	kerosene, at refinery	RER	0	kg	9.85E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	6.70E-3	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Environmental report
	light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating	CH	0	MJ	6.21E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Environmental report
	tap water, at user	RER	0	kg	6.89E-4	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Environmental report
	transport, lorry 20-28t, fleet average	CH	0	tkm	1.50E-1	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	3.07E-2	1	2.02	(1,1,1,1,1,1); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.35E-1	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, barge tanker	RER	0	tkm	1.40E-1	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, crude oil pipeline, onshore	RER	0	tkm	1.28E-1	1	2.02	(3,2,1,1,1,3); Estimation based on statistics
	transport, aircraft, freight, Europe	RER	0	tkm	1.99E-4	1	2.02	(1,1,1,1,1,1); Swiss Petroleum Association (Erdölvereinigung): Annual Report 2014
	regional distribution, oil products	RER	1	p	1.04E-10	1	3.01	(3,na,1,3,1,na); Calculation
	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	6.89E-7	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Used water
	treatment, rainwater mineral oil storage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	5.00E-5	1	1.32	(4,5,3,3,1,na); Rainwater with pollutants
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	6.27E-6	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Environmental report
	disposal, separator sludge, 90% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	1.85E-5	1	2.03	(2,4,3,3,1,3); Environmental report and literature
air, high population density	Heat, waste			MJ	2.41E-2	1	1.14	(2,4,1,3,1,3); Calculation
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin			kg	1.00E-5	1	3.15	(4,4,4,3,1,5); Literature
Outputs	kerosene, at regional storage	CH	0	kg	1.00E+0			

4.3.3 Treibstoffnutzung

Die Nutzung von 1 MJ Treibstoff wurde für jedes Verkehrsmittel in die Einheit Fahrzeugkilometer umgerechnet. Damit werden die Treibstoffbereitstellung und der Einsatz

im Fahrzeug berücksichtigt. Die weiteren, mit dem Transport verbundenen Umweltauswirkungen, beispielsweise durch Fahrzeugherstellung und -entsorgung sowie Strassenbau und -unterhalt, werden nicht berücksichtigt.

Für die Umrechnung von Fahrzeugkilometer (beispielsweise eines Lastwagens) auf MJ Treibstoff wurde in einem ersten Schritt der obere Heizwert des Brennstoffs erfasst, z.B. 45.4 MJ pro Kilogramm Diesel. In einem zweiten Schritt wurde aus den bestehenden Daten errechnet, wie viel Treibstoff pro Kilometer Fahrt verbraucht wird (in diesem Beispiel braucht ein durchschnittlicher Lastwagen in der Schweiz für einen Kilometer Fahrt 0.25 kg Diesel; Stolz et al. 2016a). Diese Treibstoffmenge wurde dann mit dem oberen Heizwert von Diesel multipliziert, woraus ein Energieverbrauch von 10.9 MJ pro Fahrzeugkilometer resultiert. Der Kehrwert entspricht der Bezugsmenge von Fahrzeugkilometern eines durchschnittlichen Lastwagens pro MJ Treibstoff.

Bei Biogas wird pro MJ im Treibstoff enthaltener Energie 1 MJ des pro memoria Primärenergiefaktors „Abwärme / Abfall“ einberechnet, da Biogas aus biogenen Abfällen erzeugt wird und dessen Energieinhalt ansonsten nirgendwo verbucht werden würde.

In den nachstehenden Tabellen Tab. 4.24 bis Tab. 4.32 werden die Umrechnungen für die in Tab. 4.20 aufgeführten Treibstoffe gezeigt.

Tab. 4.24 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in einem durchschnittlichen Lastwagen in der Schweiz (Stolz et al. 2016a)

	Name	Location	InfrastructurePr	Unit	fuel in transport, freight, lorry, fleet average	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				MJ			
product	fuel in transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	MJ	1			
technosphere	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 3, without infrastructure	RER	0	tkm	9.04E-5	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 4, without infrastructure	RER	0	tkm	6.71E-5	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, without infrastructure	RER	0	tkm	2.87E-4	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 6, without infrastructure	RER	0	tkm	1.00E-4	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 3, without infrastructure	RER	0	tkm	3.20E-3	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 4, without infrastructure	RER	0	tkm	7.46E-4	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, without infrastructure	RER	0	tkm	7.92E-3	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 6, without infrastructure	RER	0	tkm	2.82E-3	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3, without infrastructure	RER	0	tkm	2.38E-2	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 4, without infrastructure	RER	0	tkm	5.26E-3	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, without infrastructure	RER	0	tkm	1.29E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, without infrastructure	RER	0	tkm	3.51E-2	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 3, without infrastructure	RER	0	tkm	2.33E-2	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 4, without infrastructure	RER	0	tkm	8.43E-3	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 5, without infrastructure	RER	0	tkm	3.91E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)
	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6, without infrastructure	RER	0	tkm	1.96E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)

				Energy	
	1tkm Transport	0.027	kg Diesel	1.209	MJ
	1kg Diesel	45.4	MJ / kg	45.4	MJ
	1 MJ of fuel in Transport	**0.827**	**tkm**		

Tab. 4.25 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Baumaschine (durchschnittlicher Bagger in der Schweiz; Stolz et al. 2016a)

	Name	Location	InfrastructurePr	Unit	fuel in building machine, hydraulic digger, average	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				m3			
product	fuel in building machine, hydraulic digger, average	CH	0	MJ	1			
technosphere	excavation, hydraulic digger, average, without infrastructure	CH	0	m3	2.33E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on fuel demand; Stolz et al. (2016)

				Energy	
	1 m3	0.095	kg Diesel	4.3	MJ
	1kg Diesel	45.4	MJ / kg	45.4	MJ
	1 MJ of fuel in building machine	**0.233**	**m3**		

Tab. 4.26 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Diesel, genutzt in Personenwagen

	Name	Location	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, diesel, fleet average (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				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. 4.27 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Benzin, genutzt in Personenwagen

	Name	Location	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, petrol, fleet average (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				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. 4.28 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Erdgas, genutzt in Personenwagen

	Name	Location	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, natural gas (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				MJ			
product	fuel in transport, passenger car, natural gas (proj. 210)	CH	0	MJ	1			
technosphere	operation, passenger car, natural gas	CH	0	km	3.10E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports

				Energy	
	1vkm operation	0.064	kg natural gas	3.2301	MJ
	1kg Natural gas	50.4	MJ / kg	50.4	MJ
	1 MJ of fuel in Transport	**0.31**	**pkm**		

Tab. 4.29 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Biogas, genutzt in Personenwagen

	Name	Location	InfrastructureP	Unit	fuel in transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				MJ			
product	fuel in transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas (proj. 210)	CH	0	MJ	1			
technosphere	operation, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas	CH	0	km	2.95E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports

				Energy	
	1vkm operation	0.067	kg biogas	3.3929	MJ
	1kg biogas	50.4	MJ / kg	50.4	MJ
	1 MJ of fuel in Transport	**0.295**	**pkm**		

Tab. 4.30 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Strom, genutzt in Personenwagen

	Name	Location	InfrastructurePr	Unit	fuel in transport, passenger car, electric (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				MJ			
product	fuel in transport, passenger car, electric (proj. 210)	CH	0	MJ	1			
technosphere	operation, passenger car, electric, LiMn2O4 (proj. 500)	CH	0	km	1.39E+0	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports

				Energy	
	1 vkm operation	0.2	kWh electricity	0.72	MJ
	1 kWh electricity	3.6	MJ / kWh	3.6	MJ
	1 MJ of fuel in Transport	**1.389**	**pkm**		

Tab. 4.31 Sachbilanz und Umrechnungsfaktor von 1 MJ Benzin, genutzt in Scooter

	Name	Location	InfrastructurePr	Unit	fuel in transport, scooter,petrol (proj. 210)	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				MJ			
product	fuel in transport, scooter,petrol (proj. 210)	CH	0	MJ	1			
technosphere	operation, scooter	CH	0	km	8.80E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports

				Energy	
	1vkm operation	0.025	kg Petrol	1.137	MJ
	1kg Petrol	45.1	MJ / kg	45.1	MJ
	1 MJ of fuel in Transport	**0.88**	**pkm**		

Tab. 4.32 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				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				MJ			
product	fuel in transport, aircraft, passenger, Europe (proj. 210)	CH	0	MJ	1			
technosphere	transport, aircraft, passenger, Europe	RER	0	pkm	4.84E-1	1	2.00	(1,1,1,1,1,1); calculation based on ecoinvent reports

				Energy	
	1pkm	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**		

4.4 Fernwärme

4.4.1 Übersicht

Alle Fernwärmedatensätze bestehen aus der Wärmeerzeugung einerseits und aus den Aufwendungen für den Wärmetransport und den Verlusten im Leitungsnetz anderseits. Mangels genauer Angaben wird der Transport im Fernwärmenetz mit einem Wärmeverlust von 20 %[6] bilanziert. Die Aufwendungen für den Transport der Fern- und Nahwärme sind im Abschnitt 4.4.6 beschrieben. Als Referenzgrösse für den Infrastrukturbezug dient die an den Verbraucher gelieferte Energie.

[6] Angabe von M. Lenzlinger, Januar 2008

Tab. 4.33 Übersicht der Sachbilanzdatensätze für Fern- und Nahwärme; CH: Schweiz; RER: Europa

Energieträger	Name des Datensatzes	Lokalität
Heizzentrale Oel	Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW	CH
Heizzentrale Gas	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	RER
Heizzentrale Holz	Heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation energy	CH
Heizkraftwerk Holz	Heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation exergy	CH
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	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.4.2	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 500kWe lean burn, allocation exergy	CH
Blockheizkraftwerk Biogas	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.4.4	CH
Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	Heat, at cogen with biogas engine, agricultural covered, allocation exergy	CH

In einigen Anlagen werden die Energie von Abfällen oder Abwärme genutzt. Letztere stammt entweder aus der Abwärme von Abwasser oder aus der gekoppelt erfolgenden Stromerzeugung. Die folgende Tab. 4.34 gibt einen Überblick über die verwendeten Werte. Die Differenz zu 1 MJ 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. 4.34 Bestimmung des Primärenergiefaktors „Abwärme / Abfall“; H_O: oberer Heizwert

Energieträger	Input Brennstoff	H_O 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
Blockheizkraftwerk Diesel	0.0081628 kg	45.4 MJ/kg	0.371 MJ	0.629 MJ	Abwärme
Blockheizkraftwerk Erdgas	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
Kleinblockheizkraftwerk, Erdgas	0.41538 MJ	-	0.415 MJ	0.585 MJ	Abwärme
Kehrichtverbrennung	0	0	0 MJ	1 MJ	Abfall
Heizkraftwerk Geothermie	0.340 MJ	-	0.340 MJ	0.660 MJ	Abwärme

In Schweizer Fernwärmenetzen wurde im Jahr 2012 etwa die Hälfte der Energie aus Kehrichtverbrennungsanlagen gewonnen (siehe Tab. 4.35). Erdgas, Holz und Wärme-

pumpen waren in dieser Reihenfolge die weiteren wesentlichen Energieträger beziehungsweise Technologien. Der Schweizer Durchschnitt wurde aus 35 grossen Wärmeverbunden aus der ganzen Schweiz basierend auf Angaben der Fernwärmestatistik des Jahres 2012 (VFS 2012) berechnet. In kleineren Wärmeverbunden, die nicht Mitglieder des Verbandes Fernwärme Schweiz sind, werden oft Holzschnitzel als Energieträger eingesetzt. Diese sind in der in Tab. 4.35 gezeigten Statistik nicht enthalten. Die gesamte durch die berücksichtigten Wärmeverbunde gelieferte Energie beträgt 4‘620 GWh. Für mehrere Fernwärmelieferanten konnte die Herkunft der Wärme nicht abschliessend bestimmt werden. Eine Energiemenge von 600 GWh konnte keinem Energieträger zugeordnet werden und wurde deshalb zur Berechnung des Schweizer Durchschnitts nicht verwendet.

Tab. 4.35 Eingesetzte Energieträger in Fernwärmeverbunden; Durchschnitt basierend auf 35 grossen Wärmeverbunden des VFS (2012)

Eingesetzter Energieträger	**VFS 2012**	
	CH Durchschnitt	**Durchschnitt KVA-Netze**
Heizöl	3.1 %	1.4 %
Erdgas	26.3 %	23.1 %
Holz	15.9 %	13.7 %
Wärmepumpe	6.2 %	3.7 %
Kehrichtverbrennung	48.5 %	58.1 %
Total	100.0 %	100.0 %

4.4.2 Abwasserwärmepumpe

In einer Ökobilanz-Fallstudie von Faist Emmenegger und Frischknecht (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, in der Propan als Kältemittel eingesetzt wird. Auch die Verringerung der Reinigungsleistung der Abwasserreinigungsanlage (Stickstoffeliminierung), die durch die Abkühlung des Abwassers verursacht wird, wurde berücksichtigt. Die zugrundeliegenden Daten wurden weitgehend beim Auftraggeber und beim Hersteller des Wärmetauschers erhoben.

4.4.3 Heizzentrale und Heizkraftwerk Holz

Die Sachbilanzen der Erzeugung von Wärme und Strom in Heizzentralen und Heizkraftwerken wurden mit den aktualisierten Sachbilanzen von Holzprodukten verknüpft. Die überarbeiteten Sachbilanzen der Herstellung von Holzschnitzeln wurden aus dem ecoinvent-Datenbestand v3.2 übernommen (ecoinvent Centre 2015; Werner et al. 2014) und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Der Holzschnitzelbedarf von Heizzentralen und Heizkraftwerken wurde mit Informationen

von Frank Werner ermittelt.[7] Die Sachbilanzen von Holzprodukten im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 sind in einem separaten Bericht dokumentiert (Werner 2017).

Der Wirkungsgrad der Anlagen, der Bedarf an Infrastruktur und Hilfsmaterialien, die Menge der zu entsorgenden Abfälle sowie die Emissionen von Luftschadstoffen wurden nicht angepasst. Die aktualisierten Sachbilanzen von Strom und Wärme aus einer Holzheizzentralen mit Emissionskontrolle und Allokation nach Energie sind in Tab. 4.36 dokumentiert. Die Sachbilanzen der Strom- und Wärmeerzeugung in einem Holzheizkraftwerk mit beziehungsweise ohne Emissionskontrolle und Allokation nach Exergie werden in Tab. 4.37 gezeigt.

[7] Persönliche Mitteilung, Frank Werner, Werner Umwelt & Entwicklung, 24.06.2016

Tab. 4.36 Sachbilanzen der Strom- und Wärmeproduktion in einem Holzheizzentrale mit Emissionskontrolle, Allokation nach Energie

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation energy	electricity, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation energy	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0			
	Unit				MJ	kWh			
	heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation energy	CH	0	MJ	1.00	0.00			
	electricity, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation energy	CH	0	kWh	0.00	1.00			
technosphere	cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only	CH	1	unit	0	4.40E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	3.88E-6	1.39E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	ammonia, liquid, at regional storehouse	CH	0	kg	9.70E-9	3.47E-8	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	6.79E-6	2.43E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	chlorine, liquid, production mix, at plant	RER	0	kg	3.88E-7	1.39E-6	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	sodium chloride, powder, at plant	RER	0	kg	4.85E-6	1.73E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	water, decarbonised, at plant	RER	0	kg	9.31E-4	3.33E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity	CH	1	unit	1.14E-9	4.09E-9	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); uncertainty on lifetime and material
	cogen unit 6400kWth, wood burning, building	CH	1	unit	2.86E-10	1.02E-9	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); uncertainty on lifetime and material
	transport, lorry 20-28t, fleet average	CH	0	tkm	5.66E-3	2.02E-2	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); general assumption
	wood chips, wet, measured as dry mass//[CH] wood chips production, hardwood, at sawmill	CH	0	kg	3.64E-3	1.30E-2	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood chips, wet, measured as dry mass//[RER] wood chips production, hardwood, at sawmill	RER	0	kg	4.96E-4	1.77E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood chips, wet, measured as dry mass//[CH] wood chips production, softwood, at sawmill	CH	0	kg	5.28E-2	1.89E-1	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal
	wood chips, wet, measured as dry mass//[RER] wood chips production, softwood, at sawmill	RER	0	kg	7.20E-3	2.57E-2	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	3.88E-6	1.39E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.88E-6	1.39E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	9.31E-7	3.33E-6	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.56E-4	5.58E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); homogeneous fuel
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming	CH	0	kg	1.56E-4	5.58E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); homogeneous fuel
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	3.13E-4	1.12E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); homogeneous fuel
	urea, as N, at regional storehouse	RER	0	kg	3.17E-5	1.13E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
emission air, high	Bromine	-	-	kg	7.10E-8	2.54E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Calcium	-	-	kg	6.92E-6	2.47E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Cadmium	-	-	kg	8.28E-10	2.96E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Chlorine	-	-	kg	2.13E-7	7.61E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Chromium	-	-	kg	4.68E-9	1.67E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Chromium VI	-	-	kg	4.73E-11	1.69E-10	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); range of data
	Copper	-	-	kg	2.60E-8	9.30E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	-	-	kg	3.67E-14	1.31E-13	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Benzene, ethyl-	-	-	kg	3.55E-8	1.27E-7	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Fluorine	-	-	kg	5.91E-8	2.11E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Formaldehyde	-	-	kg	1.54E-7	5.50E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Benzene, hexachloro-	-	-	kg	8.51E-15	3.04E-14	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Mercury	-	-	kg	3.55E-10	1.27E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Potassium	-	-	kg	2.77E-5	9.89E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Magnesium	-	-	kg	4.27E-7	1.53E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Manganese	-	-	kg	2.02E-7	7.23E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Sodium	-	-	kg	1.54E-6	5.50E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Ammonia	-	-	kg	2.01E-5	7.19E-5	1	1.20	(1,1,2,1,1,1,BU:1.2); extrapolation
	Nickel	-	-	kg	7.10E-9	2.54E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Phosphorus	-	-	kg	3.55E-7	1.27E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	-	kg	1.30E-8	4.65E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Lead	-	-	kg	2.94E-8	1.05E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Phenol, pentachloro-	-	-	kg	9.58E-12	3.42E-11	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Toluene	-	-	kg	3.55E-7	1.27E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	m-Xylene	-	-	kg	1.42E-7	5.07E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Zinc	-	-	kg	3.55E-7	1.27E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Heat, waste	-	-	MJ	1.17E+0	4.19E+0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); own estimation, based on uncertainty of upper heating value and electricity production
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	1.16E-1	4.16E-1	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); uncertainty of carbon content in the wood
	Nitrogen oxides	-	-	kg	5.20E-5	1.86E-4	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); measurements
	Particulates, < 2.5 um	-	-	kg	5.91E-6	2.11E-5	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); measurements
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	8.28E-6	2.96E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); measurements
	Methane, biogenic	-	-	kg	5.13E-7	1.83E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	7.21E-7	2.58E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Sulfur dioxide	-	-	kg	2.94E-6	1.05E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); extrapolation
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	2.60E-5	9.30E-5	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Acetaldehyde	-	-	kg	7.21E-8	2.58E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	-	-	kg	1.08E-6	3.85E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	-	-	kg	3.67E-6	1.31E-5	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Arsenic	-	-	kg	1.18E-9	4.23E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Benzo(a)pyrene	-	-	kg	5.91E-10	2.11E-9	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Benzene	-	-	kg	1.08E-6	3.85E-6	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation

Tab. 4.37 Sachbilanzen der Strom- und Wärmeproduktion in einem Holzheizkraftwerk mit beziehungsweise ohne Emissionskontrolle, Allokation nach Exergie

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	heat, at cogen 6400kWth, wood, allocation exergy	electricity, at cogen 6400kWth, wood, allocation exergy	heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation exergy	electricity, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation exergy	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0	0			
	Unit				MJ	kWh	MJ	kWh			
	heat, at cogen 6400kWth, wood, allocation exergy	CH	0	MJ	1.00	0.00	0.00	0.00			
	electricity, at cogen 6400kWth, wood, allocation exergy	CH	0	kWh	0.00	1.00	0.00	0.00			
	heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation exergy	CH	0	MJ	0.00	0.00	1.00	0.00			
	electricity, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation exergy	CH	0	kWh	0.00	0.00	0.00	1.00			
technosphere	cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only	CH	1	unit		4.20E-8		4.40E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3);
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	3.24E-6	3.47E-5	3.27E-6	3.50E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	ammonia, liquid, at regional storehouse	CH	0	kg	8.09E-9	8.66E-8	8.18E-9	8.76E-8	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	5.67E-6	6.06E-5	5.73E-6	6.13E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	chlorine, liquid, production mix, at plant	RER	0	kg	3.24E-7	3.47E-6	3.27E-7	3.50E-6	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	sodium chloride, powder, at plant	RER	0	kg	4.05E-6	4.33E-5	4.09E-6	4.38E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	water, decarbonised, at plant	RER	0	kg	7.77E-4	8.31E-3	7.85E-4	8.41E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity	CH	1	unit	9.52E-10	1.02E-8	9.65E-10	1.03E-8	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); uncertainty on lifetime and material
	cogen unit 6400kWth, wood burning, building	CH	1	unit	2.38E-10	2.55E-9	2.41E-10	2.59E-9	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); uncertainty on lifetime and material
	transport, lorry 20-28t, fleet average	CH	0	tkm	4.73E-3	5.06E-2	4.78E-3	5.12E-2	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); general assumption
	wood chips, wet, measured as dry mass//[CH] wood chips production, hardwood, at sawmill	CH	0	kg	3.04E-3	3.25E-2	3.07E-3	3.29E-2	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood chips, wet, measured as dry mass//[RER] wood chips production, hardwood, at sawmill	RER	0	kg	4.14E-4	4.43E-3	4.18E-4	4.48E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood chips, wet, measured as dry mass//[CH] wood chips production, softwood, at sawmill	CH	0	kg	4.40E-2	4.72E-1	4.45E-2	4.77E-1	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	wood chips, wet, measured as dry mass//[RER] wood chips production, softwood, at sawmill	RER	0	kg	6.01E-3	6.43E-2	6.07E-3	6.50E-2	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); Wood input adjusted to updated supply chain in ecoinvent v3.2; Personal communication Frank Werner, June 2016
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	3.24E-6	3.47E-5	3.27E-6	3.50E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.24E-6	3.47E-5	3.27E-6	3.50E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	7.77E-7	8.31E-6	7.85E-7	8.41E-6	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); general assumption
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.30E-4	1.39E-3	1.32E-4	1.41E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); homogeneous fuel
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming	CH	0	kg	1.30E-4	1.39E-3	1.32E-4	1.41E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); homogeneous fuel
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	2.62E-4	2.80E-3	2.64E-4	2.83E-3	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); homogeneous fuel
	urea, as N, at regional storehouse	RER	0	kg			2.67E-5	2.86E-4	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05);
emission air, high population density	Bromine	-	-	kg	5.92E-8	6.34E-7	5.98E-8	6.41E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Calcium	-	-	kg	5.77E-6	6.18E-5	5.83E-6	6.25E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Cadmium	-	-	kg	6.91E-10	7.40E-9	6.98E-10	7.48E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Chlorine	-	-	kg	1.78E-7	1.90E-6	1.80E-7	1.92E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Chromium	-	-	kg	3.91E-9	4.18E-8	3.95E-9	4.23E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Chromium VI	-	-	kg	3.95E-11	4.23E-10	3.99E-11	4.27E-10	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); range of data
	Copper	-	-	kg	2.17E-8	2.32E-7	2.19E-8	2.35E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	-	-	kg	3.06E-14	3.28E-13	3.09E-14	3.31E-13	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Benzene, ethyl-	-	-	kg	2.96E-8	3.17E-7	2.99E-8	3.20E-7	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Fluorine	-	-	kg	4.93E-8	5.28E-7	4.99E-8	5.34E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Formaldehyde	-	-	kg	1.28E-7	1.37E-6	1.30E-7	1.39E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Benzene, hexachloro-	-	-	kg	7.11E-15	7.61E-14	7.18E-15	7.69E-14	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Mercury	-	-	kg	2.96E-10	3.17E-9	2.99E-10	3.20E-9	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Potassium	-	-	kg	2.31E-5	2.47E-4	2.33E-5	2.50E-4	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Magnesium	-	-	kg	3.56E-7	3.81E-6	3.60E-7	3.86E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Manganese	-	-	kg	1.69E-7	1.81E-6	1.71E-7	1.83E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Sodium	-	-	kg	1.28E-6	1.37E-5	1.30E-6	1.39E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Ammonia	-	-	kg	1.72E-6	1.84E-5	1.70E-5	1.82E-4	1	1.20	(1,1,2,1,1,1,BU:1.2); extrapolation
	Nickel	-	-	kg	5.92E-9	6.34E-8	5.98E-9	6.41E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Phosphorus	-	-	kg	2.96E-7	3.17E-6	2.99E-7	3.20E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	-	kg	1.09E-8	1.16E-7	1.10E-8	1.18E-7	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Lead	-	-	kg	2.46E-8	2.63E-7	2.48E-8	2.66E-7	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Phenol, pentachloro-	-	-	kg	7.99E-12	8.56E-11	8.08E-12	8.65E-11	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Toluene	-	-	kg	2.96E-7	3.17E-6	2.99E-7	3.20E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	m-Xylene	-	-	kg	1.18E-7	1.27E-6	1.20E-7	1.28E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Zinc	-	-	kg	2.96E-7	3.17E-6	2.99E-7	3.20E-6	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Heat, waste	-	-	MJ	9.74E-1	1.04E+1	9.88E-1	1.06E+1	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); own estimation, based on uncertainty of upper heating value and electricity production
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	9.71E-2	1.04E+0	9.81E-2	1.05E+0	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); uncertainty of carbon content in the wood
	Nitrogen oxides	-	-	kg	8.69E-5	9.30E-4	4.39E-5	4.70E-4	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); measurements
	Particulates, < 2.5 um	-	-	kg	4.43E-5	4.74E-4	4.99E-6	5.34E-5	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); measurements
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	6.91E-6	7.40E-5	6.98E-6	7.48E-5	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); measurements
	Methane, biogenic	-	-	kg	4.28E-7	4.59E-6	4.33E-7	4.64E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	6.02E-7	6.44E-6	6.08E-7	6.52E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Sulfur dioxide	-	-	kg	2.46E-6	2.63E-5	2.48E-6	2.66E-5	1	1.06	(1,1,2,1,1,1,BU:1.05); extrapolation
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	2.27E-6	2.43E-5	2.19E-5	2.35E-4	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Acetaldehyde	-	-	kg	6.02E-8	6.44E-7	6.08E-8	6.52E-7	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	-	-	kg	8.98E-7	9.61E-6	9.08E-7	9.72E-6	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	-	-	kg	3.06E-6	3.28E-5	3.09E-6	3.31E-5	1	1.50	(1,1,2,1,1,1,BU:1.5); extrapolation
	Arsenic	-	-	kg	9.87E-10	1.06E-8	9.97E-10	1.07E-8	1	5.00	(1,1,2,1,1,1,BU:5); extrapolation
	Benzo(a)pyrene	-	-	kg	4.93E-10	5.28E-9	4.99E-10	5.34E-9	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation
	Benzene	-	-	kg	8.98E-7	9.61E-6	9.08E-7	9.72E-6	1	3.00	(1,1,2,1,1,1,BU:3); extrapolation

4.4.4 Blockheizkraftwerk Biogas

Die Strom- und Wärmeerzeugung mittels Blockheizkraftwerk Biogas wurde auf Basis des Datensatzes „natural gas, burned in cogen 200kWe lean burn, CH“ modelliert. Der Brennstoff-Input wurde mit dem Datensatz „methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer, CH“ abgebildet. Dieser repräsentiert den Bezug von Biogas aus dem Erdgasnetz, welches aus den Substraten gemäss Tab. 4.17 gewonnen wird. Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Methan aus der Verbrennung wurden als biogene Emissionen verbucht. Da Biogas aus biogenen Abfällen gewonnen wird, wird der Energieinput unter der pro-memoria-Grösse „Abwärme / Abfall“ verbucht.

Tab. 4.38 Sachbilanz der Strom- und Wärmeproduktion in einem mit Biogas betriebenen Blockheizkraftwerk

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	biogas, burned in cogen with gas engine, methane 96 %-vol	UncertaintyType	StandardDeviation95 %	GeneralComment	heat, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy	electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy
	Location				CH				CH	CH
	InfrastructureProcess				0				0	0
	Unit				MJ				MJ	kWh
allocated products	heat, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy	CH	0	MJ	5.50E-1				100	0
	electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy	CH	0	kWh	9.17E-2				0	100
technosphere	methane, 96 vol-%, from biogas, low pressure, at consumer	CH	0	MJ	1.00E+0	1	1.26	(1,4,2,1,3,4); own calculations based onlower heating value of biogas	22.6	77.4
	cogen unit 200kWe, common components for heat+electricity	RER	1	unit	4.58E-9	1	3.07	(1,4,2,1,3,4); ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas.	22.6	77.4
	cogen unit 200kWe, components for electricity only	RER	1	unit	4.58E-9	1	3.07	(1,4,2,1,3,4); ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas.	-	100.0
	cogen unit 200kWe, components for heat only	RER	1	unit	4.58E-9	1	3.07	(1,4,2,1,3,4); ecoinvent V1.1. cogeneration of natural gas.	100.0	-
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	3.00E-5	1	1.26	(1,4,2,1,3,4); value of cogeneration of natural gas used as approximination	22.6	77.4
	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	3.00E-5	1	1.26	(1,4,2,1,3,4); value for cogeneration of natural gas used as approximination	22.6	77.4
emission air, high population density	Nitrogen oxides	-	-	kg	7.00E-5	1	1.26	(1,4,2,1,3,4); own calculations	22.6	77.4
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	1.60E-4	1	2.07	(1,4,2,1,3,4); value for cogeneration of natural gas used as approximination	22.6	77.4
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	5.60E-2	1	2.07	(1,4,2,1,3,4); value for cogeneration of natural gas used as approximination	22.6	77.4
	Methane, biogenic	-	-	kg	8.00E-5	1	1.26	(1,4,2,1,3,4); own calculations based on carbon content in biogas	22.6	77.4
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	1.00E-5	1	3.07	(1,4,1,1,3,4); value for cogeneration of natural gas used as approximination	22.6	77.4
	Sulfur dioxide	-	-	kg	5.50E-7	1	3.07	(1,4,2,1,3,4); value for cogeneration of natural gas used as approximination	22.6	77.4
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	5.00E-6	1	3.07	(1,4,2,1,3,4); value for cogeneration of natural gas used as approximination	22.6	77.4
	Particulates, < 2.5 um	-	-	kg	1.50E-7	1	1.26	(1,4,2,1,3,4); own calculations based on sulphur content in biogas	22.6	77.4
	Heat, waste	-	-	MJ	7.70E-1	1	5.08	(1,4,2,1,3,4); value for cogeneration of natural gas used as approximination	85.2	14.8

4.4.5 Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft

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

4.4.6 Transport von Fernwärme

Der Transport von Wärme in Fernwärmenetzen wurd 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 Fernwärme sind in Tab. 4.39 aufgeführt. Die Sachbilanzdaten des Wärmetransports sind in Tab. 4.40 zusammengefasst. Die Faktoren beinhalten die Bauaufwendungen und die Hilfsenergiebedarfe, jedoch nicht den Primärenergiebedarf und die Umweltbelastungen der Energiequelle(n).

Tab. 4.39 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen der Fernwärmeinfrastruktur, bezogen auf 1 MJ in das Gebäude gelieferte Fernwärme

Umweltauswirkungen pro geliefertes MJ Nutzwärme	**Einheit**	**Wert**
Primärenergiefaktor, total	kJ Öl-eq	59.7
Primärenergiefaktor, fossil	kJ Öl-eq	9.1
Primärenergiefaktor, nuklear	kJ Öl-eq	41.3
Primärenergiefaktor, total erneuerbar	kJ Öl-eq	9.3
Primärenergiefaktor, Abwärme / Abfall	kJ Öl-eq	0
Treibhausgasemissionen	g CO_2-eq	0.75
Kohlendioxid, fossil	g CO_2	0.67
Umweltbelastungspunkte 2013	UBP'13	2.0

Tab. 4.40 Sachbilanz des Wärmetransports in Fern- und Nahwärmenetzen, bezogen auf 1 MJ in das Gebäude gelieferte Fernwärme

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	transport, district heat, large area network, for warm water	GeneralComment
	Location	CH				
	InfrastructureProcess	1				
	Unit	MJ				
product	transport, district heat, large area network, for warm water	CH	1	MJ	1	
technsophere	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)						

4.5 Elektrizität

4.5.1 Übersicht

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen der Stromerzeugung und -verteilung verwendeten Datensätze sind in Tab. 4.20 aufgelistet.

Tab. 4.41 Übersicht der verschiedenen Technologien für die Elektrizitätserzeugung mit Bezug via Netz; CH: Schweiz; DE: Deutschland; IT: Italien; RER: Europa; ENTSO-E: European Network of Transmission System Operators for Electricity

Technologie	Name des Datensatzes	Lokalität
Atomkraftwerk	Aktualisierter Datensatz: electricity, nuclear, at power plant	CH
Erdgaskombikraftwerk GuD	Aktualisierter Datensatz: electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology	RER
Braunkohlekraftwerk (Dampf)	electricity, lignite, at power plant	DE
Steinkohlekraftwerk (Dampf)	electricity, hard coal, at power plant	DE
Kraftwerk Schweröl	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	Aktualisierter Datensatz: electricity, at cogen 500kWe lean burn, allocation exergy	CH
Blockheizkraftwerk Biogas	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.4.4	CH
Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	electricity, at cogen, biogas agricultural mix, allocation exergy	CH
Fotovoltaik	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.2	CH
Fotovoltaik Schrägdach	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.2	CH
Fotovoltaik Flachdach	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.2	CH
Fotovoltaik Fassade	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.2	CH
Windkraft	electricity, at wind power plant	CH
Wasserkraft	Aktualisierter Datensatz: electricity, hydropower, at power plant	CH
Pumpspeicherung	Aktualisierter Datensatz: electricity, hydropower, at pumped storage power plant	CH
Geothermie	Eigener Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.3	CH
CH-Produktionsmix	Aktualisierter Datensatz: Electricity, low voltage, production CH, at grid	CH
CH-Verbrauchermix	Aktualisierter Datensatz: Electricity, low voltage, at grid	CH
ENTSO-E-Mix	Aktualisierter Datensatz: Electricity, low voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO
Mix Stromprodukte aus erneuerbaren Energien	Aktualisierter Datensatz: electricity, low voltage, certified electricity, at grid	CH

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 Abfalls und des aus biogenen Abfällen beziehungsweise aus Gülle gewonnenen Biogases weder im Primärenergieverbrauch erneuerbar noch im Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar berücksichtigt ist.

4.5.2 Fotovoltaik

Aus Frischknecht et al. (2015) und Jungbluth et al. (2012) stehen aktuelle Sachbilanzdaten zu Fotovoltaik-Strom zur Verfügung. Die Produktionskette von Fotovoltaik-Modulen auf der Basis von kristallinem Silizium wurde von Itten und Frischknecht (2014) mit Daten für das Jahr 2011 aktualisiert. Die in Europa installierten Silizium-Module werden hauptsächlich in China produziert (79.6 %). Europäische Hersteller haben einen Anteil von 14.5 % am Versorgungsmix. Die restlichen 5.9 % der in Europa installierten Silizium-Module werden im asiatisch-pazifischen Raum hergestellt. Der europäische Versorgungsmix für Cadmium-Tellurid-Module (CdTe) wurde basierend auf Stolz et al. (2016b) aktualisiert. CdTe-Module werden zu 84.5 % in Malaysia und zu 15.5 % in den USA produziert.

Die Sachbilanzen der Fotovoltaik-Anlagen wurden an die aktuelle Effizienz von kommerziellen Modulen angepasst. Für monokristalline Silizium-Module wird ein Wirkungsgrad von 15.1 % (bisher 14.0 %) verwendet, während Module auf der Basis von multikristallinem Silizium eine Effizienz von 14.7 % (bisher 13.6 %) haben. Der Wirkungsgrad von Cadmium-Tellurid-Modulen hat sich von 11.7 % auf 14.0 % erhöht (Stolz et al. 2016b). Die Effizienz der übrigen Fotovoltaik-Technologien wurde nicht angepasst. Der Wirkungsgrad der Fotovoltaik-Module erhöht sich wegen technischen Verbesserungen ständig. Die Effizienz von heute erhältlichen Fotovoltaik-Modulen kann darum höher liegen als in den Sachbilanzen angenommen. Die Sachbilanzen von Fotovoltaik-Anlagen mit einer Spitzenleistung von 3 kWp mit Modulen aus monokristallinem Silizium, multikristallinem Silizium und Cadmium-Tellurid werden in Tab. 4.42, Tab. 4.43 und Tab. 4.44.

Tab. 4.42 Sachbilanzen von 3 kWp Fotovoltaik-Anlagen mit monokristallinen Silizium-Modulen

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building	3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building	3kWp flat roof installation, single-Si, on roof	3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof	3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				1	1	1	1	1			
	Unit				unit	unit	unit	unit	unit			
technosphere	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	4.00E-2	4.00E-2	1.02E+0	2.30E-1	2.30E-1	1	1.28	(3,4,3,1,1,5); Energy use for erection of 3kWp plant
	inverter, 2500W, at plant	RER	1	unit	2.40E+0	2.40E+0	2.40E+0	2.40E+0	2.40E+0	1	1.24	(2,4,1,1,1,na); Literature, 1 repair in the life time
	electric installation, photovoltaic plant, at plant	CH	1	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); Literature
	facade construction, mounted, at building	RER	1	m2	-	1.99E+1	-	-	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	facade construction, integrated, at building	RER	1	m2	1.99E+1	-	-	-	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	flat roof construction, on roof	RER	1	m2	-	-	1.99E+1	-	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	slanted-roof construction, mounted, on roof	RER	1	m2	-	-	-	-	1.99E+1	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	slanted-roof construction, integrated, on roof	RER	1	m2	-	-	-	1.99E+1	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	photovoltaic laminate, single-Si, at regional storage	RER	1	m2	2.05E+1	-	-	2.05E+1	-	1	1.36	(3,4,3,1,1,5); Calculation, 2% of modules repaired in the life time, 1% rejects
	photovoltaic panel, single-Si, at regional storage	RER	1	m2	-	2.05E+1	2.05E+1	-	2.05E+1	1	1.36	(3,4,3,1,1,5); Calculation, 2% of modules repaired in the life time, 1% rejects
	operation, lorry 20-28t, empty, fleet average	CH	0	vkm	-	-	8.00E+1	-	-	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); crane 80km to construction place
	transport, lorry 3.5-16t, fleet average	RER	0	tkm	3.80E+1	4.48E+1	4.53E+1	3.92E+1	4.48E+1	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); transport of inverter, electric installation, mounting structure and module 100km to construction site
emission air	Heat, waste	-	-	MJ	1.44E-1	1.44E-1	3.67E+0	8.28E-1	8.28E-1	1	1.28	(3,4,3,1,1,5); calculated with electricity use
product	3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building	CH	1	unit	1.00E+0	0	0	0	0			
	3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building	CH	1	unit	0	1.00E+0	0	0	0			
	3kWp flat roof installation, single-Si, on roof	CH	1	unit	0	0	1.00E+0	0	0			
	3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof	CH	1	unit	0	0	0	1.00E+0	0			
	3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof	CH	1	unit	0	0	0	0	1.00E+0			

Tab. 4.43 Sachbilanzen von 3 kWp Fotovoltaik-Anlagen mit multikristallinen Silizium-Modulen

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building	3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building	3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				1	1	1	1	1			
	Unit				unit	unit	unit	unit	unit			
technosphere	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	4.00E-2	4.00E-2	1.02E+0	2.30E-1	2.30E-1	1	1.28	(3,4,3,1,1,5); Energy use for erection of 3kWp plant
	inverter, 2500W, at plant	RER	1	unit	2.40E+0	2.40E+0	2.40E+0	2.40E+0	2.40E+0	1	1.24	(2,4,1,1,1,na); Literature, 1 repair in the life time
	electric installation, photovoltaic plant, at plant	CH	1	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); Literature
	facade construction, mounted, at building	RER	1	m2	-	2.04E+1	-	-	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	facade construction, integrated, at building	RER	1	m2	2.04E+1	-	-	-	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	flat roof construction, on roof	RER	1	m2	-	-	2.04E+1	-	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	slanted-roof construction, mounted, on roof	RER	1	m2	-	-	-	-	2.04E+1	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	slanted-roof construction, integrated, on roof	RER	1	m2	-	-	-	2.04E+1	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); calculation with m2 panel
	photovoltaic laminate, multi-Si, at regional storage	RER	1	m2	2.10E+1	-	-	2.10E+1	-	1	1.36	(3,4,3,1,1,5); Calculation, 2% of modules repaired in the life time, 1% rejects
	photovoltaic panel, multi-Si, at regional storage	RER	1	m2	-	2.10E+1	2.10E+1	-	2.10E+1	1	1.36	(3,4,3,1,1,5); Calculation, 2% of modules repaired in the life time, 1% rejects
	operation, lorry 20-28t, empty, fleet average	CH	0	vkm	-	-	8.00E+1	-	-	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); crane 80km to construction place
	transport, lorry 3.5-16t, fleet average	RER	0	tkm	3.78E+1	4.48E+1	4.53E+1	3.90E+1	4.48E+1	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); transport of inverter, electric installation, mounting structure and module 100km to construction site
emission air	Heat, waste	-	-	MJ	1.44E-1	1.44E-1	3.67E+0	8.28E-1	8.28E-1	1	1.28	(3,4,3,1,1,5); calculated with electricity use
product	3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building	CH	1	unit	1.00E+0	0	0	0	0			
	3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building	CH	1	unit	0	1.00E+0	0	0	0			
	3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof	CH	1	unit	0	0	1.00E+0	0	0			
	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof	CH	1	unit	0	0	0	1.00E+0	0			
	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof	CH	1	unit	0	0	0	0	1.00E+0			

Tab. 4.44 Sachbilanzen von 3 kWp Fotovoltaik-Anlagen mit Cadmium-Tellurid-Modulen

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof	3kWp slanted-roof installation, CdTe, panel, mounted, on roof	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH			
	InfrastructureProcess				1	1			
	Unit				unit	unit			
technosphere	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	4.00E-2	4.00E-2	1	1.28	(3,4,3,1,1,5); Energy use for erection of 3kWp plant
	inverter, 2500W, at plant	RER	1	unit	2.40E+0	2.40E+0	1	1.24	(2,4,1,1,1,na); Literature, 1 repair in the life time
	electric installation, photovoltaic plant, at plant	CH	1	unit	1.00E+0	1.00E+0	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); Literature
	slanted-roof construction, mounted, on roof	RER	1	m2	-	2.14E+1	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); New estimation with mean value of frame weights, correction for panel area
	slanted-roof construction, integrated, on roof	RER	1	m2	2.14E+1	-	1	1.23	(3,1,1,1,1,na); New estimation with mean value of frame weights, correction for panel area
	photovoltaic laminate, CdTe, mix, at regional storage	RER	1	m2	2.21E+1	2.21E+1	1	1.36	(3,4,3,1,1,5); Calculation, 2% of modules repaired in the life time, 1% rejects
	transport, lorry 3.5-16t, fleet average	RER	0	tkm	5.38E+1	5.51E+1	1	2.09	(3,4,3,1,1,5); transport of inverter, electric installation, mounting structure and module 100km to construction site
emission air	Heat, waste	-	-	MJ	1.44E-1	1.44E-1	1	1.28	(3,4,3,1,1,5); calculated with electricity use
	3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof	CH	1	unit	1.00E+0	0			
	3kWp slanted-roof installation, CdTe, panel, mounted, on roof	CH	1	unit	0	1.00E+0			

Der durchschnittliche Ertrag von Fotovoltaik-Anlagen in der Schweiz wurde neu bestimmt. Als Grundlage für die Berechnungen wurden die Markterhebungen der Jahre 2012 bis 2014 von Swissolar verwendet (Hostettler 2014, 2015). Der spezifische Energieertrag von Fotovoltaik-Anlagen weist in dieser Periode deutliche Schwankungen auf (2012: 975 kWh/kWp, 2013: 915 kWh/kWp, 2014: 995 kWh/kWp,), obwohl die Abweichung der Globalstrahlung vom langjährigen Mittel nur 1-3 % betrug (MeteoSchweiz 2014, 2015). Aus diesem Grund wurde ein durchschnittlicher Ertrag aller Fotovoltaik-Anlagen in der Schweiz für die Jahre 2012 bis 2014 berechnet. Der spezifische Energieertrag von Dach- und Fassadenanlagen wurde dann mit dem Anteil von Fassadenanlagen am Schweizer Produktionsmix (8.1 %) und der Annahme eines um 30 % geringeren Ertrags von Fassadenanlagen gegenüber Dachanlagen ermittelt. Damit ergeben sich durchschnittliche Erträge von Dach- beziehungsweise Fassadenanlagen von 986 kWh/kWp respektive 690 kWh/kWp.

Zusätzlich wurde die Degradation der Fotovoltaik-Module berücksichtigt. Gemäss Stolz et al. (2016b) verringert sich die Moduleffizienz pro Jahr um rund 0.7 % der anfänglichen Effizienz. Über eine angenommene Lebensdauer von 30 Jahren beträgt die Reduktion des Ertrags wegen der Degradation der Fotovoltaik-Module durchschnittlich 10.5 %. Die Energieerträge von Dach- und Fassadenanlagen verringern sich durch die Berücksichtigung der Degradation auf durchschnittlich 882 kWh/kWp respektive 618 kWh/kWp.[8]

[8] Die Berücksichtigung der Degradation und die Verwendung von Messdaten zum spezifischen Energieertrag führen zusammen zu einer Unterschätzung des durchschnittlichen Ertrags von Fotovoltaik-Modulen. Aufgrund der hohen Zubauraten in den letzten Jahren ist diese Unterschätzung aber gering.

Die Sachbilanzen der Stromerzeugung von Fotovoltaik-Anlagen in der Schweiz werden in Tab. 4.45 gezeigt.

Gemäss Hostettler (2015) wurden 79 % der gesamten Fotovoltaik-Leistung in der Schweiz in den Jahren 2011 bis 2014 installiert.

Tab. 4.45 Sachbilanzen von Strom ab 3 kWp Fotovoltaik-Anlagen und von durchschnittlichem Fotovoltaik-Strom in der Schweiz

	Name	Location	Unit	electricity, PV, at 3kWp facade, single-Si, laminated, integrated	electricity, PV, at 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted	electricity, PV, at 3kWp facade, multi-Si, laminated, integrated	electricity, PV, at 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted	electricity, PV, at 3kWp flat roof installation, single-Si	electricity, PV, at 3kWp flat roof installation, multi-Si	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, laminated, integrated	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, panel, mounted	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, laminated, integrated	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, panel, mounted	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, ribbon-Si, panel, mounted	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, ribbon-Si, lam., integrated	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CdTe, laminated, integrated	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CdTe, panel, mounted	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CIS, panel, mounted	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, a-Si, lam., integrated	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, a-Si, panel, mounted	electricity, production mix photovoltaic, at plant	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location			CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Unit			kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh			
resource, in air	Energy, solar, converted	-	MJ	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	3.85E+0	1	1.09	(2,2,1,1,1,3); Energy loss in the system is included
technosphere	tap water, at user	CH	kg	7.15E-3	7.15E-3	7.34E-3	7.34E-3	5.00E-3	5.14E-3	5.00E-3	5.00E-3	5.14E-3	5.14E-3	6.03E-3	6.03E-3	9.18E-3	9.18E-3	6.97E-3	1.17E-2	1.17E-2	5.81E-3	1	1.09	(2,2,1,1,1,3); Estimation 20l/m2 panel
	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	7.15E-6	7.15E-6	7.34E-6	7.34E-6	5.00E-6	5.14E-6	5.00E-6	5.00E-6	5.14E-6	5.14E-6	6.03E-6	6.03E-6	9.18E-6	9.18E-6	6.97E-6	1.172E-05	1.172E-05	5.81E-6	1	1.09	(2,2,1,1,1,3); Estimation 20l/m2 panel
	560 kWp open ground installation, single-Si, on open ground	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.98E-10	1	1.24	(3,2,1,1,1,3);
	93 kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.86E-9	1	1.24	(3,2,1,1,1,3);
	156 kWp flat-roof installation, multi-Si, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.07E-8	1	1.24	(3,2,1,1,1,3);
	280 kWp flat-roof installation, single-Si, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.12E-9	1	1.24	(3,2,1,1,1,3);
	1.3 MWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.98E-10	1	1.24	(3,2,1,1,1,3);
	3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building	CH	unit	1.80E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.95E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building	CH	unit	-	1.80E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.95E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building	CH	unit	-	-	1.80E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.37E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building	CH	unit	-	-	-	1.80E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.37E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp flat roof installation, single-Si, on roof	CH	unit	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.39E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.54E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.95E-8	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.89E-6	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	-	-	-	3.06E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	-	-	4.28E-6	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, panel, mounted, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	-	3.52E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, laminated, integrated, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	-	2.51E-8	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	-	3.93E-8	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, CdTe, panel, mounted, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	-	5.50E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	-	7.18E-8	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, a-Si, laminated, integrated, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	-	3.93E-8	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
	3kWp slanted-roof installation, a-Si, panel, mounted, on roof	CH	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26E-5	5.50E-7	1	1.24	(3,2,1,1,1,3); Average yield in Switzerland based on Swissolar statistics 2012-2014; Average degradation of 10.5% included
emission air	Heat, waste	-	MJ	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	1	1.05	(1,na,na,na,na,na); Calculation
product	electricity, PV, at 3kWp facade, single-Si, laminated, integrated	CH	kWh	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted	CH	kWh	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp facade, multi-Si, laminated, integrated	CH	kWh	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted	CH	kWh	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp flat roof installation, single-Si	CH	kWh	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp flat roof installation, multi-Si	CH	kWh	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, laminated, integrated	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, panel, mounted	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, laminated, integrated	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, panel, mounted	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, ribbon-Si, panel, mounted	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, ribbon-Si, lam., integrated	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CdTe, laminated, integrated	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CdTe, panel, mounted	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CIS, panel, mounted	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, a-Si, lam., integrated	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	0			
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, a-Si, panel, mounted	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0			
	electricity, production mix photovoltaic, at plant	CH	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0			

Für Fotovoltaik-Anlagen auf Schrägdächern, Flachdächern und an Fassaden wurden Technologiemixe erstellt, die in Tab. 4.46, Tab. 4.47 und Tab. 4.48 dokumentiert sind.

Tab. 4.46 Technologiemix der Fotovoltaik Schrägdach-Anlagen

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	electricity, photovoltaic mix slanted-roof, at plant	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kWh			
product	electricity, photovoltaic mix slanted-roof, at plant	CH	0	kWh	1			
technosphere	electricity, PV, at 93 kWp slanted-roof, single-Si, laminated, integrated	CH	0	kWh	1.29E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 1.3 MWp slanted-roof, multi-Si, panel, mounted	CH	0	kWh	4.99E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, laminated, integrated	CH	0	kWh	8.10E-3	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, panel, mounted	CH	0	kWh	2.94E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, laminated, integrated	CH	0	kWh	3.12E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, panel, mounted	CH	0	kWh	4.36E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, ribbon-Si, panel, mounted	CH	0	kWh	3.58E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, ribbon-Si, lam., integrated	CH	0	kWh	2.56E-3	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CdTe, laminated, integrated	CH	0	kWh	6.17E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, CIS, panel, mounted	CH	0	kWh	7.31E-3	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, a-Si, lam., integrated	CH	0	kWh	4.00E-3	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, a-Si, panel, mounted	CH	0	kWh	5.60E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010

Tab. 4.47 Technologiemix der Fotovoltaik Flachdach-Anlagen

	Name	Location	InfrastructureProce	Unit	electricity, photovoltaic mix flat-roof, at plant	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kWh			
product	electricity, photovoltaic mix flat-roof, at plant	CH	0	kWh	1			
technosphere	electricity, PV, at 156 kWp flat-roof, multi-Si	CH	0	kWh	3.67E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 280 kWp flat-roof, single-Si	CH	0	kWh	2.48E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp flat roof installation, single-Si	CH	0	kWh	1.55E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp flat roof installation, multi-Si	CH	0	kWh	2.30E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010

Tab. 4.48 Technologiemix der Fotovoltaik Fassaden-Anlagen

	Name	Location	InfrastructurePro	Unit	electricity, photovoltaic mix facade, at plant	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				kWh			
product	electricity, photovoltaic mix facade, at plant	CH	0	kWh	1			
technosphere	electricity, PV, at 3kWp facade, single-Si, laminated, integrated	CH	0	kWh	2.01E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted	CH	0	kWh	2.01E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2010
	electricity, PV, at 3kWp facade, multi-Si, laminated, integrated	CH	0	kWh	2.99E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2012
	electricity, PV, at 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted	CH	0	kWh	2.99E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); Swiss photovoltaic electricity mix, Jungbluth et al., 2012

4.5.3 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 nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 0.254 MJ Öl-eq pro MJ aus. Zusätzlich werden 1.128 MJ Öl-eq an erneuerbarer Energie benötigt. Die ausgewiesene nicht erneuerbare Energie wurde gemäss den Anteilen von fossiler und nuklearer Primärenergie am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Windkraftwerken auf die Indikatoren „fossil" und „nuklear" aufgeteilt.

Die Gesamtumweltbelastung gemäss der Methode der ökologischen Knappheit wurde bestimmt, indem der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf von Geothermiestrom mit dem Verhältnis von Umweltbelastungspunkten zu nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf von Windkraftstrom multipliziert wurde.

Die Angaben zu den Treibhausgasemissionen 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 einen deutlich anderen Primärenergiebedarf und insbesondere andere spezifische Treibhausgasemissionen aufweisen. Auch die Höhe der Gesamtumweltbelastung 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 Vorbehalten für einen Energieträgervergleich benützt werden.

Tab. 4.49 Datenquellen und Indikatoren für Strom und Wärme aus Geothermie; PE: Primärenergie; ne: nicht erneuerbar; f: fossil; n: nuklear; e: erneuerbar; tot: Total; THG: Treibhausgasemissionen; Werte sind noch nicht auf Strom und Wärme aufgeteilt.

Indikator	Wert pro MJ	Quelle
Primärenergie total	1.38 MJ Öl-eq	$PE_f + PE_n + PE_e$
Primärenergie fossil	0.22 MJ Öl-eq	Spahr (1999), PE_{tot} Geothermie * PE_f Wind / PE_{tot} Wind
Primärenergie nuklear	0.04 MJ Öl-eq.	Spahr (1999), PE_{tot} Geothermie * PE_n Wind / PE_{tot} Wind
Primärenergie erneuerbar	1.13 MJ Öl-eq.	Spahr (1999)
Umweltbelastungspunkte	38 UBP'13	UBP Wind * PE_{ne} Geothermie / PE_{ne} Wind
Treibhausgasemissionen	0.0114 kg CO_2-eq	Pehnt (2006)
Kohlendioxid, fossil	0.0105 kg	Pehnt (2006), THG Geothermie * (CO_2 Wind / THG Wind)

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 4'950 MWh eine mögliche Wärmeproduktion von 13'500 MWh mit einer Vorlauftemperatur von 70°C (Pehnt, 2006). Somit resultieren die in Tab. 4.50 augewiesenen 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. 4.50 Allokationsfaktoren für Wärme und Strom aus der Geothermie

Technologie	Produkt	Allokationsfaktor
Heizkraftwerk Geothermie	Strom Geothermie	0.754
Heizkraftwerk Geothermie	Wärme Geothermie	0.246
Heizzentrale Geothermie	Wärme Geothermie	1 (keine Stromproduktion)

4.5.4 Verluste der verschiedenen Spannungsebenen

Die Übertragungs-, Verteilungs- und Transformationsverluste auf den verschiedenen Spannungsebenen bis und mit Niederspannung wurden für alle Datensätze gemäss der Situation im Jahr 2009 entsprechend Itten et al. (2014) bilanziert. Die Sachbilanzen der schweizerischen Stromnetzinfrastruktur basieren ebenfalls auf Itten et al. (2014).

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

Tab. 4.51 Eingabedaten der Strombereitstellung mittels Wasserkraft auf verschiedenen Spannungsebenen

	Name	Location	InfrastructurePro	Unit	electricity, high voltage, production from hydro power, at grid	electricity, medium voltage, production from hydro power, at grid	electricity, low voltage, production from hydro power, at grid	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0			
	Unit				kWh	kWh	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, production from hydro power, at plant	CH	0	kWh	1.03E+0			1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); specific losses of network estimated based on statistics
	electricity, high voltage, production from hydro power, at grid	CH	0	kWh		1.01E+0		1	1.05	(1,2,1,1,1,1,BU:1.05); specific losses of network estimated based on statistics
	electricity, medium voltage, production from hydro power, at grid	CH	0	kWh			1.06E+0	1	1.31	(2,3,1,1,3,5,BU:1.05); specific losses of network estimated based on statistics
	sulphur hexafluoride, liquid, at plant	RER	0	kg		5.06E-8	2.80E-9	1	1.31	(2,3,1,1,3,5,BU:1.05); based on emission data
	transmission network, electricity, high voltage	CH	1	km	6.82E-9			1	3.09	(4,5,na,na,na,na,BU:3); based on consumption statistics
technosphere	transmission network, electricity, medium voltage	CH	1	km		1.86E-8		1	3.09	(4,5,na,na,na,na,BU:3); based on consumption
technosphere	distribution network, electricity, low voltage	CH	1	km			8.74E-8	1	3.06	(2,4,1,1,1,5,BU:3); based on consumption statistics
emission soil,	Heat, waste	-	-	MJ	5.94E-3	1.59E-2	1.63E-1	1	1.24	(2,4,1,1,1,5,BU:1.05); estimations based on losses
emission air,	Heat, waste	-	-	MJ	1.13E-1	1.94E-2	5.43E-2	1	1.24	(2,4,1,1,1,5,BU:1.05); estimations based on losses
	Ozone	-	-	kg	4.50E-6			1	5.00	(2,4,1,1,1,5,BU:1.5); standard deviation based on
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	5.00E-6			1	4.60	(2,3,1,1,3,5,BU:1.5); standard deviation based on
emission air, unspecified	Sulfur hexafluoride	-	-	kg		5.06E-8	2.80E-9	1	1.62	(2,3,1,1,3,5,BU:1.5); national statistics

4.5.5 Schweizer Strommix

Die Sachbilanzen der Schweizer Strommixe für das Jahr 2011 wurden von Stolz und Frischknecht (2015) modelliert und sind in Tab. 4.52 zusammengefasst. Es werden vier verschiedene Strommixe unterschieden, die für unterschiedliche Fragestellungen relevant sind. Der Produktionsstrommix enthält die Anteile der verschiedenen Stromerzeugungstechnologien an der gesamten Stromproduktion in der Schweiz. Der Lieferantenstrommix berücksichtigt neben der Stromproduktion auch die Stromimporte und –exporte und kann sich deutlich vom Produktionsstrommix unterscheiden. Im zertifizierten Strommix wird die Strommenge zusammengefasst, die in Stromprodukten aus erneuerbaren Energien separat verkauft wird. Der Verbrauchermix (Egalstrommix) wird berechnet, indem die in Stromprodukten aus erneuerbaren Energien verkaufte Strommenge vom Lieferantenstrommix abgezogen wird. Darum weist der Verbrauchermix einen höheren Anteil an nicht erneuerbaren und nicht überprüfbaren Energieträgern auf als der Lieferantenstrommix. Der Schweizer Verbrauchermix repräsentiert den unspezifischen Strommix. Dieser Strommix soll verwendet werden, falls keine näheren Informationen zur technologischen Zusammensetzung des Stroms verfügbar sind.

Für Stromimporte aus Kernkraftwerken wurde der entsprechende französische Datensatz eingesetzt und für ausländischen Fotovoltaik-Strom wird der entsprechende Datensatz für Deutschland verwendet. Der Strom aus ausländischen Erdgaskraftwerken wurde mit dem europäischen Datensatz angenähert, während Stromimporte aus Kohle- und Ölkraftwerken mit dem deutschen beziehungsweise italienischen Datensatz modelliert wurden. Die Importe von Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern wurden mit dem ENTSO-E-Strommix bilanziert (Stolz & Frischknecht 2015).

Seit Januar 2017 ist zudem die Ökobilanz des Schweizer Strommixes 2014 publiziert (Messmer & Frischknecht 2016). Im Online Rechner stehen dessen Umweltkennwerte bereits zur Verfügung (siehe Unterkapitel 8.1).

Tab. 4.52 Produktions-, Lieferanten-, zertifizierter und Verbraucherstrommix (Egal-Strommix) in der Schweiz im Jahr 2011 gemäss Stolz und Frischknecht (2015)

Technologie	Produktions-Strommix	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Einheit	GWh	%	%	%	%
Inlandproduktion	**62'881.0**	**100.000%**	**66.133%**	**100.000%**	**61.640%**
Erneuerbare Energien	**35'088.7**	**55.802%**	**35.481%**	**100.000%**	**26.899%**
Wasserkraft	**33'795.0**	**53.744%**	**34.471%**	**97.433%**	**26.096%**
Laufwasserkraft	*11'333.0*	*18.023%*	*12.469%*	*32.674%*	*9.782%*
Speicherwasserkraft	*17'740.3*	*28.213%*	*18.260%*	*54.957%*	*13.380%*
Kleinwasserkraft	*3'400.0*	*5.407%*	*3.741%*	*9.802%*	*2.935%*
Pumpspeicherkraft	*1'321.7*	*2.102%*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*
Andere erneuerbare Energien	**1'293.7**	**2.057%**	**1.010%**	**2.567%**	**0.803%**
Sonne	*259.2*	*0.412%*	*0.202%*	*0.468%*	*0.167%*
Wind	*154.6*	*0.246%*	*0.121%*	*1.018%*	*0.001%*
Holz	*404.1*	*0.643%*	*0.316%*	*0.497%*	*0.291%*
Biogas Landwirtschaft	*107.9*	*0.172%*	*0.084%*	*0.133%*	*0.078%*
Biogas Industrie	*366.4*	*0.583%*	*0.286%*	*0.451%*	*0.264%*
Geothermie	*1.4*	*0.002%*	*0.001%*	*0.000%*	*0.001%*
Nicht erneuerbare Energien	**25'800.3**	**41.030%**	**33.012%**	**0.000%**	**37.392%**
Kernenergie	**25'560.0**	**40.648%**	**32.824%**	**0.000%**	**37.179%**
Druckwasserreaktor	*13'596.0*	*21.622%*	*17.460%*	*0.000%*	*19.777%*
Siedewasserreaktor	*11'964.0*	*19.026%*	*15.364%*	*0.000%*	*17.403%*
Fossile Energieträger	**240.3**	**0.382%**	**0.188%**	**0.000%**	**0.213%**
Erdöl	*32.4*	*0.051%*	*0.025%*	*0.000%*	*0.029%*
Erdgas	*194.8*	*0.310%*	*0.152%*	*0.000%*	*0.172%*
Steinkohle	*13.1*	*0.021%*	*0.010%*	*0.000%*	*0.012%*
Braunkohle	*0.0*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*
Abfälle	**1'991.9**	**3.168%**	**1.555%**	**0.000%**	**1.761%**
Nicht überprüfbare Energieträger	**0.0**	**0.000%**	**0.000%**	**0.000%**	**0.000%**
Pumpenstrombedarf	**0.0**	**0.000%**	**-3.914%**	**0.000%**	**-4.412%**
Importe	**0.0**	**0.000%**	**33.867%**	**0.000%**	**38.360%**
Erneuerbare Energien	**0.0**	**0.000%**	**9.496%**	**0.000%**	**10.756%**
Wasserkraft	**0.0**	**0.000%**	**8.881%**	**0.000%**	**10.060%**
Laufwasserkraft	*0.0*	*0.000%*	*7.460%*	*0.000%*	*8.450%*
Speicherwasserkraft	*0.0*	*0.000%*	*1.421%*	*0.000%*	*1.610%*
Kleinwasserkraft	*0.0*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*
Andere erneuerbare Energien	**0.0**	**0.000%**	**0.615%**	**0.000%**	**0.697%**
Sonne	*0.0*	*0.000%*	*0.057%*	*0.000%*	*0.065%*
Wind	*0.0*	*0.000%*	*0.539%*	*0.000%*	*0.611%*
Holz	*0.0*	*0.000%*	*0.009%*	*0.000%*	*0.010%*
Biogas Landwirtschaft	*0.0*	*0.000%*	*0.002%*	*0.000%*	*0.003%*
Biogas Industrie	*0.0*	*0.000%*	*0.008%*	*0.000%*	*0.009%*
Geothermie	*0.0*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*
Nicht erneuerbare Energien	**0.0**	**0.000%**	**12.044%**	**0.000%**	**13.642%**
Kernenergie	**0.0**	**0.000%**	**10.224%**	**0.000%**	**11.580%**
Druckwasserreaktor	*0.0*	*0.000%*	*10.224%*	*0.000%*	*11.580%*
Siedewasserreaktor	*0.0*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*
Fossile Energieträger	**0.0**	**0.000%**	**1.821%**	**0.000%**	**2.062%**
Erdöl	*0.0*	*0.000%*	*0.036%*	*0.000%*	*0.040%*
Erdgas	*0.0*	*0.000%*	*1.681%*	*0.000%*	*1.904%*
Steinkohle	*0.0*	*0.000%*	*0.104%*	*0.000%*	*0.118%*
Braunkohle	*0.0*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*	*0.000%*
Abfälle	**0.0**	**0.000%**	**0.019%**	**0.000%**	**0.021%**
Nicht überprüfbare Energieträger (ENTSO-E Mix)	**0.0**	**0.000%**	**12.307%**	**0.000%**	**13.940%**
Total	**62'881.0**	**100.000%**	**100.000%**	**100.000%**	**100.000%**

5 Sachbilanzen Energie am Ausgang Energiewandler

5.1 Brenn- und Treibstoffe

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Brenn- und Treibstoffen am Ausgang Energiewandler verwendeten Datensätze sind in Tab. 5.1 aufgelistet. Die Sachbilanzen von Holzfeuerungen wurden mit der aktualisierten Produktionskette aus dem ecoinvent-Datenbestand v3.2 verknüpft und sind in Abschnitt 4.2.2 dokumentiert. Die Sachbilanzen von Gütertransporten mit Lastwagen und von Baumaschinen wurden für die mobitool-Faktoren v2.0 aktualisiert und sind in Stolz et al. (2016a) beschrieben.

Tab. 5.1 Übersicht der Brenn- und Treibstoffe und der entsprechenden Sachbilanzdatensätze; CH: Schweiz; RER: Europa

Energieträger	**Name des 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 Abschnitt 4.1.3; die Brennerinfrastruktur wird berücksichtigt	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	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „Heat, Logs, mixed, burned in furnace 30kW“	CH
Stückholz mit Partikelfilter	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „Heat, Logs, mixed, burned in furnace 30kW“	CH
Holzschnitzel	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „Heat, Wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW“	CH
Holzschnitzel mit Partikel-filter	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „Heat, Wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW“	CH
Pellets	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „Heat, Pellets, mixed, burned in furnace 50kW“	CH
Pellets mit Partikelfilter	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf : „Heat, Pellets, mixed, burned in furnace 50kW“	CH
Biogas	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf „heat, natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW“, siehe Abschnitt 4.1.4	CH
Diesel in Lastwagen	Neuer Datensatz aus der Aktualisierung und Erweiterung der mobitool-Faktoren v2.0 (Stolz et al. 2016a): transport, freight, lorry, fleet average/CH U	CH
Diesel in Baumaschine	Neuer Datensatz aus der Aktualisierung und Erweiterung der mobitool-Faktoren v2.0 (Stolz et al. 2016a): excavation, hydraulic digger, average/CH U	CH
Diesel in Personenwagen	Transport, passenger car, diesel, fleet average/CH U	CH
Benzin in Personenwagen	Transport, passenger car, petrol, fleet average/CH U	CH
Erdgas in Personenwagen	Transport, passenger car, natural gas/CH U	CH
Biogas in Personenwagen	Transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas/CH U	CH
Kerosin in Flugzeug	Transport, aircraft, passenger, Europe /CH	CH

5.2 Wärme am Gebäudestandort

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Wärme am Gebäudestandort verwendeten Datensätze sind in Tab. 5.2 aufgelistet.

Tab. 5.2 Übersicht der Datensätze zu Wärme am Gebäudestandort; CH: Schweiz; RER: Europa; EFH: Einfamilienhaus; MFH: Mehrfamilienhaus; RH: Raumheizung; WW: Warmwasser; EWP: Elektrowärmepumpe

Energieträger	Name des Datensatzes	Lokalität
Kleinblockheizkraftwerk, Erdgas	Heat, at Mini CHP plant, allocation exergy	CH
Flachdachkollektor WW EFH	heat, at 5 m^2 Cu collector, one-family house, for hot water	CH
Flachdachkollektor WW und RH EFH	heat, at 12 m^2 Cu collector, one-family house, for combined system	CH
Flachdachkollektor WW MFH	heat, at 30 m^2 Cu collector, multiple dwelling, slanted roof, for hot water	CH
Röhrenkollektor WW und RH EFH	heat, at 10.5 m^2 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 Wärmpumpe beruht auf „borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW", mit spezifischer Jahresarbeitszahl von 3.4	CH

Für Sonnenkollektortechnologien wurden Datensätze aus Stucki und Jungbluth (2010) verwendet. Die Auswahl an Anlagetypen 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, wurde diese ergänzt: Pro MJ gelieferter Energie sind 0.643 MJ an Umgebungswärme notwendig. Alle Wärmepumpen werden mit elektrischem Strom gemäss dem Schweizer Verbrauchermix (siehe Abschnitt 4.5.5) betrieben.

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

5.3 Elektrizitätserzeugung am Gebäudestandort

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Strom, der am Gebäudestandort erzeugt wird, verwendeten Datensätze sind in Tab. 5.3 aufgelistet.

Tab. 5.3 Übersicht der verschiedenen Technologien für die Elektrizitätserzeugung am Standort; CH: Schweiz

Technologie	**Name des Datensatzes**	**Lokalität**
Kleinblockheizkraftwerk, Erdgas	Electricity, at Mini CHP plant, allocation exergy	CH
Fotovoltaik	Electricity, production mix photovoltaic, at plant	CH
Fotovoltaik Schrägdach	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.2	CH
Fotovoltaik Flachdach	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.2	CH
Fotovoltaik Fassade	für dieses Projekt erstellter Datensatz, siehe Abschnitt 4.5.2	CH
Windkraft	Electricity, at wind power plant Simplon 30kW	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

Strom am Gebäudestandort wird entweder mit einem Erdgas-Kleinblockheizkraftwerk, mit Fotovoltaik, Wind oder mit einem Biogas-Blockheizkraftwerk produziert. Für Fotovoltaik sind Sachbilanzen für den durchschnittlichen schweizerischen Mix ab Klemme Kraftwerk sowie drei anlagespezifische Datensätze verfügbar (siehe Abschnitt 4.5.2). Die drei Datensätze unterscheiden sich in der Installationsart der Fotovoltaikanlage und auch im Mix der eingesetzten Technologien. Bei Windkraft wurden 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 weder im Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar noch im Primärenergieverbrauch erneuerbar berücksichtigt wird.

6 Sachbilanzen Kollektor- und Fotovoltaikanlagen

6.1 Kollektoranlagen

Die Sachbilanzen zu Kollektoranlagen pro Quadratmeter Kollektor stammen aus den Stucki und Jungbluth (2010). Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Wärme aus Kollektoranlagen verwendeten Datensätze sind in Tab. 6.1 aufgelistet.

Tab. 6.1 Übersicht der verschiedenen Anlagen für die Wärmeerzeugung mit Solarkollektoren am Standort; CH: Schweiz; Al: Aluminium; Cu: Kupfer; EFH: Einfamilienhaus; MFH: Mehrfamilienhaus; RH: Raumheizung; WW: Warmwasser

Wärmeerzeugung	Name des Datensatzes	Lokalität
Cu-Kollektoranlage, EFH, für WW	solar system, 5 m^2 Cu flat plate collector, one-family house, hot water	CH
Vakuumröhrenkollektor, EFH, für RH und WW	solar system, 10.5 m^2 evacuated tube collector, one-family house, combined system	CH
Cu-Kollektoranlage, EFH, für RH und WW	solar system, 12 m^2 Cu flat plate collector, one-family house, combined system	CH
Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für WW	solar system, 20 m^2 Cu flat plate collector, on slanted roof, hot water	CH
Al-Cu-Kollektoranl., MFH, auf Schrägdach, für WW	solar system, 30 m^2 Al-Cu flat plate collector, on slanted roof, hot water	CH
Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Flachdach, für WW	solar system, 30 m^2 Cu flat plate collector, on flat roof, hot water	CH
Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für WW	solar system, 30 m^2 Cu flat plate collector, on slanted roof, hot water	CH
Cu-Kollektor-Grossanlage, MFH, für WW	solar system, 81 m^2 Cu flat plate collector, multiple dwelling, hot water	CH

Um den Primärenergiebedarf und die Umweltauswirkungen pro m^2 Kollektorfläche zu berechnen, wurden die Aufwendungen für die Herstellung eines Kollektors berechnet und durch die Kollektorfläche geteilt. Für die Berechnungen wurden nur Aufwendungen für die Herstellung und Montage, nicht aber für den Betrieb und die Entsorgung der Kollektoren berücksichtigt.

6.2 Fotovoltaikanlagen

Die Sachbilanzen von Fotovoltaikanlagen pro Kilowatt-Peak (kWp) installierte Leistung basieren auf Frischknecht et al. (2015) und Stolz et al. (2016b). Die wichtigsten Anpassungen der Sachbilanzen sind im Abschnitt 4.5.2 beschrieben. Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Strom aus Fotovoltaikanlagen verwendeten Datensätze sind in Tab. 6.2 aufgelistet.

Tab. 6.2 Übersicht der verschiedenen Anlagen für die Elektrizitätserzeugung mit Fotovoltaik am Standort; CH: Schweiz

Elektrizitätserzeugung	**Name des Datensatzes**	**Lokalität**
Schrägdachanlage, 93 kWp, single-Si, integriert	93 kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof	CH
Schrägdachanlage, 1.3 MWp, multi-Si, Paneel	1.3 MWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, single-Si, integriert	3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, single-Si, Paneel	3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, multi-Si, integriert	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, multi-Si, Paneel	3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, ribbon-Si, integriert	3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, laminated, integrated, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, ribbon-Si, Paneel	3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, panel, mounted, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, CdTe, integriert	3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, CIS, Paneel	3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, a-Si, integriert	3kWp slanted-roof installation, a-Si, laminated, integrated, on roof	CH
Schrägdachanlage, 3 kWp, a-Si, Paneel	3kWp slanted-roof installation, a-Si, panel, mounted, on roof	CH
Flachdachanlage, 280 kWp, single-Si	280 kWp flat-roof installation, single-Si, on roof	CH
Flachdachanlage, 156 kWp, multi-Si	156 kWp flat-roof installation, multi-Si, on roof	CH
Flachdachanlage, 3 kWp, single-Si	3kWp flat roof installation, single-Si, on roof	CH
Flachdachanlage, 3 kWp, multi-Si	3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof	CH
Fassadenanlage, 3 kWp, single-Si, integriert	3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building	CH
Fassadenanlage, 3 kWp, single-Si, Paneel	3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building	CH
Fassadenanlage, 3 kWp, multi-Si, integriert	3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building	CH
Fassadenanlage, 3 kWp, multi-Si, Paneel	3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building	CH
Freiflächenanlage, 560 kWp, single-Si	560 kWp open ground installation, single-Si, on open ground	CH

Um den Primärenergiebedarf und die Umweltauswirkungen pro m^2 Fläche der Fotovoltaikanlage zu berechnen, wurden die Aufwendungen für die Herstellung einer Fotovoltaikanlage berechnet und durch die Fläche der Fotovoltaikmodule geteilt. Für die Berechnungen wurden nur Aufwendungen für die Herstellung und Montage, nicht aber für den Betrieb und die Entsorgung der Fotovoltaikanlagen berücksichtigt.

Die Fotovoltaikanlagen wurden anschliessend in die vier Installationstypen Fotovoltaik, Fotovoltaik Schrägdach, Fotovoltaik Flachdach und Fotovoltaik Fassade gruppiert. Die einzelnen Technologien innerhalb eines Installationstyps werden entsprechend ihren Anteilen am Schweizer Fotovoltaikmix aggregiert (siehe Tab. 6.3).

Tab. 6.3 Modulfläche der Fotovoltaikanlagen und deren Anteile an den Mixen Fotovoltaik, Fotovoltaik Schrägdach, Fotovoltaik Flachdach und Fotovoltaik Fassade gemäss Jungbluth et al. (2012)

Anlagentyp	Lokalität	Anlagegrösse in m^2	Anteil Fotovoltaik-Mix	Anteil Installationstyp
Photovoltaik	CH		100.00%	
Photovoltaik Schrägdach	CH			100.00%
Schrägdachanlage, 93 kWp, single-Si, integriert	CH	684	1.01%	1.29%
Schrägdachanlage, 1.3 MWp, multi-Si, Paneel	CH	10126	3.89%	4.99%
Schrägdachanlage, 3 kWp, single-Si, integriert	CH	19.9	0.63%	0.81%
Schrägdachanlage, 3 kWp, single-Si, Paneel	CH	19.9	22.95%	29.43%
Schrägdachanlage, 3 kWp, multi-Si, integriert	CH	20.4	2.43%	3.12%
Schrägdachanlage, 3 kWp, multi-Si, Paneel	CH	20.4	34.02%	43.62%
Schrägdachanlage, 3 kWp, ribbon-Si, integriert	CH	24.0	0.20%	0.26%
Schrägdachanlage, 3 kWp, ribbon-Si, Paneel	CH	24.0	2.79%	3.58%
Schrägdachanlage, 3 kWp, CdTe, integriert	CH	21.4	4.81%	6.17%
Schrägdachanlage, 3 kWp, CIS, Paneel	CH	27.7	0.57%	0.73%
Schrägdachanlage, 3 kWp, a-Si, integriert	CH	46.5	0.31%	0.40%
Schrägdachanlage, 3 kWp, a-Si, Paneel	CH	46.5	4.37%	5.60%
Photovoltaik Flachdach	CH			100.00%
Flachdachanlage, 280 kWp, single-Si	CH	2077	3.02%	24.76%
Flachdachanlage, 156 kWp, multi-Si	CH	1170	4.48%	36.70%
Flachdachanlage, 3 kWp, single-Si	CH	19.9	1.89%	15.52%
Flachdachanlage, 3 kWp, multi-Si	CH	20.4	2.81%	23.01%
Photovoltaik Fassade	CH			100.00%
Fassadenanlage, 3 kWp, single-Si, integriert	CH	19.9	1.64%	20.14%
Fassadenanlage, 3 kWp, single-Si, Paneel	CH	19.9	1.64%	20.14%
Fassadenanlage, 3 kWp, multi-Si, integriert	CH	20.4	2.43%	29.86%
Fassadenanlage, 3 kWp, multi-Si, Paneel	CH	20.4	2.43%	29.86%
Freiflächenanlage, 560 kWp, single-Si	CH	4576	1.68%	1.68%

7 Sachbilanzen Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Elektroanlagen

7.1 Heizungsanlagen

Die Sachbilanzen von Heizungsanlagen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) des Gebäudes, pro Stück, pro Meter Erdsonde oder pro kg Wärmepumpe wurden von Primas (2008) und Klingler et al. (2014) erstellt. Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Heizungsanlagen verwendeten Datensätze sind in Tab. 7.1 aufgelistet.

Tab. 7.1 Übersicht der verschiedenen Heizungsanlagen; CH: Schweiz; basierend auf Primas (2008) und Klingler et al. (2014)

Heizungsanlage	Einheit	Quelle	Lokalität
Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m^2	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m^2	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 50 W/m^2	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Erdsonden, für Sole-Wasser-Wärmepumpe	m	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Stk	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	kg	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Stk	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	kg	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Verteilung Wohngebäude	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Verteilung Bürogebäude	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Abgabe über Heizkörper	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Abgabe über Fussbodenheizung	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Abgabe über Heizkühldecke (ohne Gips- oder Metalldecke)	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Wärmeverteilung, Luftheizung	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH

7.2 Lüftungsanlagen

Die Sachbilanzen von Lüftungsanlagen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) des Gebäudes oder pro Stück wurden von Primas (2008) und Klingler et al. (2014) erstellt. Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Lüftungsanlagen verwendeten Datensätze sind in Tab. 7.2 aufgelistet.

Tab. 7.2 Übersicht der verschiedenen Lüftungsanlagen; CH: Schweiz; basierend auf Primas (2008) und Klingler et al. (2014)

Lüftungsanlage	**Einheit**	**Quelle**	**Lokalität**
Einzelraumlüfer Fenstermodell 10-30 m^3/h, ohne Montage	Stk	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Lüftungsanlage Wohnen, Blechkanäle, inkl. Küchenabluft	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Lüftungsanlage Wohnen, PE-Kanäle, inkl. Küchenabluft	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Abluftanlage Küche und Bad	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Erdregister zu Lüftungsanlage Wohnen	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Erdregister kurz zu Lüftungsanlage Büro (0.27 m/m^2 EBF)	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Erdregister lang zu Lüftungsanlage Büro (0.67 m/m^2 EBF)	m^2	Datensatz basierend auf Primas (2008)	CH
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m^3/(h m^2)	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m^3/(h m^2)	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m^3/(h m^2)	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m^3/(h m^2)	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m^3/(h m^2)	m^2	Datensatz basierend auf Klingler et al. (2014)	CH

7.3 Sanitäranlagen

Die Sachbilanzen von Sanitäranlagen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) des Gebäudes wurden von Klingler und Kasser (2011), erstellt. Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Sanitäranlagen verwendeten Datensätze sind in Tab. 7.3 aufgelistet.

Tab. 7.3 Übersicht der verschiedenen Sanitäranlagen; CH: Schweiz; basierend auf Klingler und Kasser (2011)

Sanitäranlagen	**Quelle**	**Lokalität**
Büro, einfache Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Büro, einfache Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Büro, aufwändige Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Büro, aufwändige Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Wohnen, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Wohnen, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH

7.4 Elektroanlagen

Die Sachbilanzen von Elektroanlagen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) des Gebäudes wurden von Klingler und Kasser (2011), erstellt. Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Sanitäranlagen verwendeten Datensätze sind in Tab. 7.4 aufgelistet.

Tab. 7.4 Übersicht der verschiedenen Elektroanlagen am Standort; CH: Schweiz; basierend auf Klingler und Kasser (2011)

Elektroanlagen	**Quelle**	**Lokalität**
Büro, Erstellung	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Büro, Rückbau	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Wohnen, Erstellung	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH
Wohnen, Rückbau	Basierend auf Klingler und Kasser (2011)	CH

8 Parametrisierte Rechner

8.1 Strommixrechner

Der Strommixrechner greift auf die in Unterkapitel 4.5 aufgeführten Datensätze zurück und berechnet die durchschnittlichen Umweltbelastungen von einer kWh elektrischer Energie, inklusive Übertragung und Verteilung zum Niederspannungskunden. Angaben zur technologischen Zusammensetzung des bezogenen Strommixes sind in der Stromkennzeichnung jedes Schweizer Stromversorgers ersichtlich. Der eingegebene Strommix kann wahlweise mit dem Verbrauchermix der Schweiz des Jahres 2011 (Stolz & Frischknecht 2015) oder 2014 (Messmer & Frischknecht 2016) verglichen werden. In den KBOB-Ökobilanzdaten v2.2:2016 wird der Verbrauchermix des Jahres 2011 verwendet (siehe Abschnitt 4.5.5).

Im Feld „Strombedarf für Speicherpumpen“ kann eingegeben werden, welcher Anteil des Stroms durch Speicherpumpen verbraucht wird. In der Schweiz werden rund 0.044-0.047 kWh pro kWh gelieferten Strom (4.4-4.7%) zum Betrieb von Speicherpumpen eingesetzt. Zusätzlich kann bestimmt werden, ob der nutzerspezifische Strommix mit den Hintergrunddaten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 kompatibel sein soll. Der Hauptunterschied zwischen den Hintergrunddaten liegt in der Annahme zur Zusammensetzung von nicht überprüfbarem Strom. Bis 2011 wurde nicht überprüfbarer Strom mit dem ENTSO-E-Strommix angenähert (Stolz & Frischknecht 2015). Ab 2014 wird für Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern ein europäischer Residualmix (Messmer & Frischknecht 2016) eingesetzt, der einen höheren Anteil an fossilen und nuklearen Energieträgern enthält.

Der Strommixrechner ist unter http://treeze.ch/de/rechner/strommixrechner-schweiz/ frei zugänglich. Abb. 8.1 zeigt einen Printscreen des Strommixrechners.

Strommixrechner

Wählen Sie bitte das Jahr des CH-Verbraucherstrommixes	2011
Soll der nutzerspezifische Strommix kompatibel mit den Hintergrunddaten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 sein?	Ja

Produktion Inland	*Nutzerspezifischer Strommix Anteil in %*	*Strommix 2011 Anteil in %*
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherung)	0.00%	24.99%
Wasserkraft Pumpspeicherung	0.00%	0.00%
Fotovoltaik	0.00%	0.16%
Windenergie	0.00%	0.00%
Biomasse (Holz)	0.00%	0.28%
Biogas	0.00%	0.33%
Biomasse KVA	0.00%	0.00%
Geothermie	0.00%	0.00%
Kernenergie	0.00%	35.61%
Diesel BHKW	0.00%	0.03%
Erdgas BHKW	0.00%	0.17%
Steinkohle (Dampfturbine)	0.00%	0.01%
Kehrichtverbrennung	0.00%	1.69%
Total Produktion Inland	0.00%	63.26%

Produktion Ausland	*Nutzerspezifischer Strommix Anteil in %*	*Strommix 2011 Anteil in %*
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherung)	0.00%	9.63%
Fotovoltaik	0.00%	0.06%
Windenergie	0.00%	0.58%
Biomasse (Holz)	0.00%	0.01%
Biogas	0.00%	0.01%
Biomasse KVA	0.00%	0.00%
Geothermie	0.00%	0.00%
Kernenergie	0.00%	11.09%
Schweröl	0.00%	0.04%
Erdgas	0.00%	1.82%
Steinkohle (Dampfturbine)	0.00%	0.11%
Braunkohle (Dampfturbine)	0.00%	0.00%
Kehrichtverbrennung	0.00%	0.02%
Nicht überprüfbarer Strom	0.00%	13.35%
Total Importe	0.00%	36.74%
Total Produktion Inland und Importe	**0.00%**	**100.00%**
Strombedarf für Speicherpumpen	0.00%	4.41%

Datenquelle
KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016
© treeze 2017

Umweltauswirkungen

	Nutzerspezifischer Strommix	*Strommix 2011*	
Primärenergiefaktor total	0.000	3.005	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor fossil	0.000	0.345	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor nuklear	0.000	2.172	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor erneuerbar	0.000	0.488	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser	0.000	0.007	kWh Öl-eq/kWh
Treibhausgasemissionen	0.000	0.102	kg CO_2-eq/kWh
Kohlendioxid, fossil	0.000	0.091	kg CO_2/kWh
Umweltbelastungspunkte 2013	0	347	UBP/kWh

Mit dem Strommixrechner können Sie einen nutzerspezifischen Strommix zusammenstellen und die durchschnittlichen Umweltbelastungen von 1 kWh elektrischer Energie berechnen. Neben der Erzeugung werden auch die Übertragung und Verteilung des Stroms bis zu einer Niederspannungssteckdose berücksichtigt. Der nutzerspezifische Strommix kann wahlweise mit dem Verbrauchermix der Schweiz des Jahres 2011 oder des Jahres 2014 verglichen werden. Die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 beruht auf dem Verbrauchermix der Schweiz im Jahr 2011.
Im Feld "Strombedarf für Speicherpumpen" können Sie eingeben, welcher Anteil des Stroms durch Speicherpumpen verbraucht wird. In der Schweiz werden rund 0.044-0.047 kWh pro kWh gelieferten Strom (4.4-4.7%) zum Betrieb von Speicherpumpen eingesetzt.
Zusätzlich kann bestimmt werden, ob der nutzerspezifische Strommix mit den Hintergrunddaten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 kompatibel sein soll. Der Hauptunterschied zwischen den Hintergrunddaten liegt in der Annahme zur Zusammensetzung von nicht überprüfbarem Strom. Bis 2011 wurde nicht überprüfbarer Strom mit dem durchschnittlichen europäischen Strommix angenähert. Ab 2014 wird für Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern ein europäischer Residualmix eingesetzt, der einen höheren Anteil an fossilen und nuklearen Energieträgern enthält.

Die Ökobilanzen basieren auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (ecoinvent v2.2 inklusive aktualisierten Daten zu Wasserkraft, Kernenergie, Fotovoltaik, Strommix & Stromnetz, Erdgas, Kehrichtverbrennung, Erdölprodukten, Holzprodukten, Aluminium und Korrekturen nach LC-inventories). Weitere Informationen zu den Hintergrunddaten und zur Berechnung der Umweltbelastungen von Strom finden sie in den unten genannten Berichten und unter www.lc-inventories.ch.

Studie "Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" herunterladen
Studie Stolz und Frischknecht (2015) "Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011" herunterladen
Studie Messmer und Frischknecht (2016) "Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014" herunterladen
www.lc-inventories.ch

zurück zur treeze Website

Abb. 8.1 Printscreen des web-basierten Strommixrechners

8.2 Fernwärmerechner

Das Berechnungsmodell zur Fernwärme basiert auf den in Unterkapitel 4.4 beschriebenen Datensätzen. Die Anteile verschiedener Energieträger können individuell eingegeben werden. Zusätzlich können die Wärmeverluste im Fernwärmenetz bestimmt werden. Im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 wird angenommen, dass die Verluste 20 % der an Endkunden gelieferten Wärme betragen (siehe Abschnitt 4.4.1). Die Aufwendungen für die Netzinfrastruktur werden in Abhängigkeit der gelieferten Energiemenge berücksichtigt und sind somit unabhängig von den Netzverlusten.

Die Zusammensetzung der Energieträger im zu bilanzierenden Fernwärmenetz kann frei gewählt werden. Die Standardwerte entsprechen dem Mix gemäss der Fernwärmestatistik Schweiz des Jahres 2012. Für die anwählbaren Wärmepumpen werden durchschnittliche Jahresarbeitszahlen und der Schweizer Verbrauchermix des Jahres 2011 verwendet. Es ist nicht möglich, den Fernwärmerechner mit dem in Unterkapitel 8.3 beschriebenen Wärmepumpenrechner zu kombinieren. Die Schaltfläche „Reset“ (zurücksetzen) füllt automatisch die entsprechenden Anteile des Schweizer Fernwärmemixes 2012 aus.

Der Fernwärmerechner ist unter http://treeze.ch/de/rechner/fernwaermerechner/ frei zugänglich. Abb. 8.2 zeigt einen Printscreen des Fernwärmerechners.

Fernwärmerechner

Produktion im Fernwärmenetz	*Anteil in %*
Heizzentrale Heizöl EL	3.1%
Heizzentrale Gas	26.3%
Heizzentrale Holz	15.9%
Heizkraftwerk Holz	0.0%
Heizzentrale Geothermie	0.0%
Heizkraftwerk Geothermie	0.0%
Heizzentrale EWP Luft/Wasser	0.0%
Heizzentrale EWP Erdsonde	6.2%
Heizzentrale EWP Abwasser	0.0%
Heizzentrale EWP Grundwasser	0.0%
Kehrichtverbrennung	48.5%
Blockheizkraftwerk Diesel	0.0%
Blockheizkraftwerk Gas	0.0%
Blockheizkraftwerk Biogas	0.0%
Summe	100.0%
Verlust im Fernwärmenetz	20.0%

Umweltauswirkungen pro kWh Fernwärme

Primärenergiefaktor total	0.875	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor fossil	0.459	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor nuklear	0.091	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor erneuerbar	0.326	kWh Öl-eq/kWh
Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser	0.581	kWh Öl-eq/kWh
Treibhausgasemissionen	0.108	kg CO_2-eq/kWh
Kohlendioxid, fossil	0.096	kg CO_2/kWh
Umweltbelastungspunkte 2013	92.9	UBP/kWh

Der Fernwärmerechner berechnet die Umweltbelastungen pro kWh gelieferte Fernwärme eines von Ihnen zusammengestellten Wärmeerzeugungsmixes. Die Netzverluste können ebenfalls fallspezifisch angepasst werden. Die Standardwerte entsprechen dem Schweizer Durchschnittsmix gemäss der Fernwärmestatistik Schweiz des Jahres 2012. Die Schaltfläche „Reset“ füllt automatisch die Anteile gemäss den Standardwerten aus.

Die Ökobilanzen basieren auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (ecoinvent-Datenbestand v2.2 inklusive aktualisierten Daten zu Wasserkraft, Kernenergie, Fotovoltaik, Strommix & Stromnetz, Erdgas, Kehrichtverbrennung, Erdölprodukten, Holzprodukten, Aluminium und Korrekturen nach LC-inventories). Weitere Informationen zu den Hintergrunddaten und der Berechnung der Umweltbelastung finden Sie im Bericht zur Studie "Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" und unter www.lc-inventories.ch.

Studie "Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" herunterladen

Datenquelle
KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016

www.lc-inventories.ch

© treeze 2017

zurück zur treeze Website

Abb. 8.2 Printscreen des web-basierten Fernwärmerechners

8.3 Wärmepumpenrechner

Das parametrisierte Modell des Wärmepumpenrechners basiert auf den in Unterkapitel 5.2 aufgeführten Datensätzen zu den einzelnen Wärmepumpen. Die Art der Wärmepumpe, die Jahrsarbeitszahl und der Strommix zur Deckung des Betriebsstrombedarfs können frei gewählt werden. Neben den Schweizer Versorgungsmixen für die Jahre 2011 und 2014 stehen auch der durchschnittliche europäische Strommix (ENTSO-E Mix) sowie ein anlagenspezifischer Strommix zur Verfügung. Die in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 aufgeführten Umweltkennwerte von Wärmepumpen basieren auf dem Verbrauchermix der Schweiz im Jahr 2011 (Stolz & Frischknecht 2015).

Für den anlagenspezifischen Strommix können die Anteile verschiedener Stromerzeugungstechnologien in der Schweiz und im Ausland sowie der Strombedarf der Speicherpumpen im linken unteren Bereich des Wärmepumpenrechners eingegeben werden. Angaben zur technologischen Zusammensetzung des bezogenen Strommixes sind in der Stromkennzeichnung jedes Schweizer Stromversorgers ersichtlich. Zudem kann bestimmt werden, ob der nutzerspezifische Strommix mit den Hintergrunddaten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 kompatibel sein soll. Der Hauptunterschied zwischen den Hintergrunddaten liegt in der Annahme zur Zusammensetzung von nicht

überprüfbarem Strom. Bis 2011 wurde nicht überprüfbarer Strom mit dem ENTSO-E-Strommix angenähert (Stolz & Frischknecht 2015). Ab 2014 wird für Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern ein europäischer Residualmix (Messmer & Frischknecht 2016) eingesetzt, der einen höheren Anteil an fossilen und nuklearen Energieträgern enthält.

Der Wärmepumpenrechner verwendet statische Werte für die Herstellungsaufwendungen und Kältemittelverluste gemäss den vier anwählbaren Wärmepumpentypen. Die Umweltbelastung des Betriebsstrombedarfs (auf Niveau Niederspannung) wird entsprechend der generischen oder anlagenspezifischen Jahresarbeitszahl und dem angewählten Strommix berücksichtigt. Die Umweltbelastungen werden pro kWh gelieferte Wärme und pro kWh von der Wärmepumpe verbrauchter Strom berechnet.

Der Wärmepumpenrechner ist unter http://treeze.ch/de/rechner/waermepumpe-rechner/ frei zugänglich. Abb. 8.3 zeigt einen Printscreen des Wärmepumpenrechners.

Wärmepumpenrechner

Typ der Wärmepumpe	Luft-Wasser
Jahresarbeitszahl (JAZ)	Generische JAZ
Anlagenspezifische Jahresarbeitszahl	
Strommix	CH-Verbrauchermix 2011

Umweltauswirkungen

	Pro kWh Wärme		Pro kWh Strom	
Primärenergiefaktor total	1.725	kWh Öl-eq/kWh Wärme	4.831	MJ Öl-eq/kWh Strom
Primärenergiefaktor fossil	0.130	kWh Öl-eq/kWh Wärme	0.365	MJ Öl-eq/kWh Strom
Primärenergiefaktor nuklear	0.777	kWh Öl-eq/kWh Wärme	2.177	MJ Öl-eq/kWh Strom
Primärenergiefaktor erneuerbar	0.818	kWh Öl-eq/kWh Wärme	2.289	MJ Öl-eq/kWh Strom
Primärenergiefaktor Abwärme / Abwasser	0.002	kWh Öl-eq/kWh Wärme	0.007	MJ Öl-eq/kWh Strom
Treibhausgasemissionen	0.0628	kg CO_2-eq/kWh Wärme	0.1758	kg CO_2-eq/kWh Strom
Kohlendioxid, fossil	0.0341	kg CO_2/kWh Wärme	0.0954	kg CO_2/kWh Strom
Umweltbelastungspunkte 2013	149	UBP/kWh Wärme	417	UBP/kWh Strom

Anlagenspezifischer Strommix

Soll der spezifische Strommix kompatibel mit den Daten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 sein? Ja

Produktion Inland	*Anteil in %*
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherung)	0.00%
Wasserkraft Pumpspeicherung	0.00%
Fotovoltaik	0.00%
Windenergie	0.00%
Biomasse (Holz)	0.00%
Biogas	0.00%
Biomasse KVA	0.00%
Geothermie	0.00%
Kernenergie	0.00%
Diesel BHKW	0.00%
Erdgas BHKW	0.00%
Steinkohle (Dampfturbine)	0.00%
Kehrichtverbrennung	0.00%
Total Produktion Inland	0.00%

Produktion Ausland	*Anteil in %*
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherung)	0.00%
Fotovoltaik	0.00%
Windenergie	0.00%
Biomasse (Holz)	0.00%
Biogas	0.00%
Biomasse KVA	0.00%
Geothermie	0.00%
Kernenergie	0.00%
Schweröl	0.00%
Erdgas	0.00%
Steinkohle (Dampfturbine)	0.00%
Braunkohle (Dampfturbine)	0.00%
Kehrichtverbrennung	0.00%
nicht überprüfbarer Strom	0.00%
Total Importe	0.00%
Total Produktion Inland und Importe	**0.00%**
Strombedarf für Speicherpumpen	0.00%

Ihre Eingaben

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe	2.8	(generische JAZ)
Strommix	CH-Verbrauchermix 2011	
Typ Wärmepumpe	Luft-Wasser	

Der Wärmepumpenrechner berechnet die Umweltbelastungen pro kWh gelieferte Wärme und pro kWh Strom, der von der Wärmepumpe verbraucht wird. Sie können den Typ der Wärmepumpe auswählen und die Jahresarbeitszahl sowie den Strommix spezifisch für die betrachtete Wärmepumpe eingeben. Ebenso können Sie die Umweltbelastungen der Wärmepumpe mit einer generischen Jahresarbeitszahl oder einem durchschnittlichen Strommix berechnen. Die in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 aufgeführten Umweltkennwerte von Wärmepumpen basieren auf dem Verbrauchermix der Schweiz im Jahr 2011 (Stolz und Frischknecht 2015).

Unter "anlagenspezifischer Strommix" können Sie den Strommix gemäss der Stromkennzeichnung Ihres Stromversorgers eingeben. Das Feld "Strombedarf für Speicherpumpen" enthält den Anteil des Stroms, welcher durch Speicherpumpen verbraucht wird. In der Schweiz werden rund 0.044-0.047 kWh pro kWh gelieferten Strom (4.4-4.7%) zum Betrieb von Speicherpumpen eingesetzt.
Zusätzlich kann bestimmt werden, ob der nutzerspezifische Strommix mit den Hintergrunddaten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 kompatibel sein soll. Der Hauptunterschied zwischen den Hintergrunddaten liegt in der Annahme zur Zusammensetzung von nicht überprüfbarem Strom. Bis 2011 wurde nicht überprüfbarer Strom mit dem durchschnittlichen europäischen Strommix angenähert. Ab 2014 wird für Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern ein europäischer Residualmix eingesetzt, der einen höheren Anteil an fossilen und nuklearen Energieträgern enthält.

Die Ökobilanzen basieren auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (ecoinvent v2.2 inklusive aktualisierten Daten zu Wasserkraft, Kernenergie, Fotovoltaik, Strommix & Stromnetz, Erdgas, Kehrichtverbrennung, Erdölprodukten, Holzprodukten, Aluminium und Korrekturen nach LC-inventories). Weitere Informationen zu den Hintergrunddaten und zur Berechnung der Umweltbelastungen von Strom finden sie in den unten genannten Berichten und unter www.lc-inventories.ch.

Studie "Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen" herunterladen
Studie Stolz und Frischknecht (2015) "Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011" herunterladen
Studie Messmer und Frischknecht (2016) "Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014" herunterladen
www.lc-inventories.ch

Datenquelle
KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016

© treeze 2017 zurück zur treeze Website

Abb. 8.3 Printscreen des web-basierten Wärmepumpenrechners

9 Literatur

Bauer et al. 2012 — Bauer C., Frischknecht R., Eckle P., Flury K., Neal T., Papp K., Schori S., Simons A., Stucki M. and Treyer K. (2012) Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz. ESU-services Ltd & Paul Scherrer Institute im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Uster & Villigen.

Cuhls et al. 2008 — Cuhls C., Mähl B., Berkau S. and Clemens J. (2008) Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH, IM AUFTRAG DES UMWELTBUNDESAMTES.

Doka 2013 — Doka G. (2013) Updates to Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - part II: waste incineration. Doka Life Cycle Assessments, Zürich, Switzerland.

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.

ecoinvent Centre 2015 — ecoinvent Centre (2015) ecoinvent data v3.2. ecoinvent Association, Zürich, 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.

Flury & Frischknecht 2012 — Flury K. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation. ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: www.lc-inventories.ch.

Frischknecht et al. 1996 — Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Dones R., Gantner U., Hischier 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. 2010 — Frischknecht R., Stucki M. and Nussbaumer T. (2010) Machbarkeitsstudie für eine Umweltetikette für Holzfeuerungen. ESU-services GmbH und Ingenieurbüro Verenum im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Uster und Zürich.

Frischknecht et al. 2015 — Frischknecht R., Itten R., Sinha P., de Wild Scholten M., Zhang J., Fthenakis V., Kim H. C., Raugei M. and Stucki M. (2015) Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems. International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12.

Hostettler 2014	Hostettler T. (2014) Markterhebung Sonnenenergie 2013: Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien. SWISSOLAR Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie, im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE, Bern, retrieved from: http://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Shop/Marktumfrage_2013_def.pdf.
Hostettler 2015	Hostettler T. (2015) Markterhebung Sonnenenergie 2014: Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien. SWISSOLAR Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie, im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE, Bern, retrieved from: http://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Shop/Marktumfrage_2014_def.pdf.
Itten et al. 2014	Itten R., Frischknecht R. and Stucki M. (2014) Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid, Version 1.3. treeze Ltd., Uster, Switzerland, retrieved from: www.treeze.ch.
Itten & Frischknecht 2014	Itten R. and Frischknecht R. (2014) LCI of the global chrystalline photovoltaics supply chain and Chinese multi-chrystalline supply chain. Swiss Federal Office of Energy, Bern.
Jungbluth et al. 2007	Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Schleiss K., Spielmann M., Stettler C. and Sutter J. (2007) Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, v2.0. ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
Jungbluth et al. 2012	Jungbluth N., Stucki M., Flury K., Frischknecht R. and Buesser S. (2012) Life Cycle Inventories of Photovoltaics. ESU-services Ltd., Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch.
KBOB et al. 2016a	KBOB, eco-bau and IPB (2016a) KBOB Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
KBOB et al. 2016b	KBOB, eco-bau and IPB (2016b) KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de.
Klingler & Kasser 2011	Klingler M. and Kasser U. (2011) Graue Energie von Sanitär- und Elektroanlagen - Sach- und Ökobilanzen von zwölf verschiedenen Gebäuden in den Bereichen Wohnen und Büro. Büro für Umweltchemie im Auftrag des Bundesamt für Energie BfE, Bern, retrieved from: http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/GE_Sanitaer_Elektro.pdf.

Klingler et al. 2014	Klingler M., Kasser U., Savi D., Primas A., Stettler Y. and Gujer P. (2014) Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen; Schlussbericht. büro für umweltchemie und Basler & Hofmann AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie, BFE, Zürich / Bern, retrieved from: www.bfe.admin.ch/dokumentation/00459/?lang=de.
LC-inventories 2014	LC-inventories (2014) Corrections, updates and extensions of ecoinvent data v2.2. treeze Ltd., retrieved from: www.lc-inventories.ch.
Messmer & Frischknecht 2016	Messmer A. and Frischknecht R. (2016) Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014. treeze Ltd., Uster.
MeteoSchweiz 2014	MeteoSchweiz (2014) Klimareport 2013. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich, Switzerland, retrieved from: http://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/Ungebundene-Seiten/Publikationen/Klimareport/doc/klimareport2013.pdf.
MeteoSchweiz 2015	MeteoSchweiz (2015) Klimareport 2014. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich, Switzerland, retrieved from: http://www.meteoswiss.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/klimareport_2014_DE_web.pdf.
Pehnt 2006	Pehnt M. (2006) Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. In: Renewable Energy, 31, pp. 55-71.
PRé Consultants 2015	PRé Consultants (2015) SimaPro 8.0.6, Amersfoort, NL.
Primas 2008	Primas A. (2008) Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 2032. Basler & Hofmann AG im Auftrag des Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich.
Schori et al. 2012	Schori S., Bauer C. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventory of Natural Gas Supply. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
Spahr 1999	Spahr A. (1999) Schaffung einer Grundlage für Aussagen über die Gesamtenergiebilanz in HDR/HWR-Systemen, Lausanne.
Stolz & Frischknecht 2015	Stolz P. and Frischknecht R. (2015) Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011. treeze Ltd., Uster, CH.
Stolz & Frischknecht 2016a	Stolz P. and Frischknecht R. (2016a) Life Cycle Inventories of Aluminium and Aluminium Profiles. treeze Ltd., Uster, CH.
Stolz et al. 2016a	Stolz P., Messmer A. and Frischknecht R. (2016a) Life Cycle Inventories of Road and Non-Road Transport Services. treeze Ltd., Uster CH.

Stolz et al. 2016b	Stolz P., Frischknecht R., Wyss F. and de Wild Scholten M. (2016b) PEF screening report of electricity from photovoltaic panels in the context of the EU Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) Pilots, version 2.0. treeze Ltd. commissioned by the Technical Secretariat of the PEF Pilot "Photovoltaic Electricity Generation", Uster, Switzerland.
Stolz & Frischknecht 2016b	Stolz P. and Frischknecht R. (2016b) Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2016 der Strom- und Treibstoffbereitstellung. treeze Ltd., Uster, CH.
Stucki & Jungbluth 2010	Stucki M. and Jungbluth N. (2010) Update of the Life Cycle Inventories of Solar Collectors. ESU-services Ltd., Uster, CH.
Stucki et al. 2011	Stucki M., Jungbluth N. and Leuenberger M. (2011) Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. im Auftrag des Bundesamtes für Energie BfE, ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/ (login).
VFS 2012	VFS (2012) Statistik der eingesetzten Energieträger, 2012. Verband Fernwärme Schweiz (VFS), Niederrohrdorf, retrieved from: http://www.fernwaerme-schweiz.ch/.
Werner et al. 2014	Werner F., Hischier R., (Ed.), Bauer C., Büsser Knöpfel S., Doka G., Frischknecht R. and Wallbaum H. (2014) Aktualisierung der Modelle und Datensätze zu Holz und Holzprodukten in der Datenbank ecoinvent, Zürich und St. Gallen.
Werner 2017	Werner F. (2017) Background report for the life cycle inventories of wood and wood based products for updates of ecoinvent 2.2. Werner Environment & Development, Zürich, CH.

A Anhang: Verwendete Datensätze

Tab. A.1 Datensätze zur Berechnung der Umweltauswirkungen und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen sowie ID-Nummer und Bezeichnung gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016b)

ID-Nr.	Bezeichnung	Datensatz
43.001	Heizkessel Heizöl EL	Heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating/CH U
43.002	Heizkessel Erdgas	Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW/RER U
43.003	Heizkessel Propan / Butan	heat, propane/butane, burned in boiler, low-NOx cond. non-modul. <100kW/MJ/CH U
43.004	Heizkessel Kohle Koks	Heat, hard coal coke, at stove 5-15kW/RER U
43.005	Heizkessel Kohle Brikett	Heat, hard coal briquette, at stove 5-15kW/RER U
43.006	Heizkessel Stückholz	heat, mixed logs, at furnace 30kW, adjusted PM, without PF/MJ/CH U
43.010	Heizkessel Stückholz mit Partikelfilter	heat, mixed logs, at furnace 30kW, adjusted PM, with PF/MJ/CH U
43.007	Heizkessel Holzschnitzel	heat, hardwood chips, at furnace 50kW, adjusted PM, without PF/MJ/CH U
43.011	Heizkessel Holzschnitzel mit Partikelfilter	heat, hardwood chips, at furnace 50kW, adjusted PM, with PF/MJ/CH U
43.008	Heizkessel Pellets	heat, wood pellets, at furnace 50kW, adjusted PM, without PF/MJ/CH U
43.012	Heizkessel Pellets mit Partikelfilter	heat, wood pellets, at furnace 50kW, adjusted PM, with PF/MJ/CH U
43.009	Heizkessel Biogas	heat, biogas, at boiler condensing modulating <100kW/MJ/RER U
62.016	Lastwagen, Durchschnitt	transport, freight, lorry, fleet average/CH U
62.001	Aushub maschinell, Durchschnitt	excavation, hydraulic digger, average/CH U
63.009	Personenwagen, Diesel	Transport, passenger car, diesel, fleet average/CH U
63.008	Personenwagen, Benzin	Transport, passenger car, petrol, fleet average/CH U
63.015	Personenwagen, Erdgas	Transport, passenger car, natural gas/CH U
63.016	Personenwagen, elektrisch	transport, passenger car, electric, LiMn2O4 (proj. 500)/CH U
63.017	Scooter, Benzin	Transport, scooter/CH U
63.005	Flugzeug, Europa	Transport, aircraft, passenger, Europe/RER U
63.014	Personenwagen, Biogas	Transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas/CH U
44.008	Kleinblockheizkraftwerk, Erdgas	Heat, at Mini CHP plant, allocation exergy/CH U
44.004	Flachkollektor für Warmwasser EFH	heat, at 5 m2 Cu collector, one-family house, for hot water/CH U
44.005	Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	heat, at 12 m2 Cu collector, one-family house, for combined system/CH U
44.006	Flachkollektor für Warmwasser MFH	heat, at 30 m2 Cu collector, multiple dwelling, slanted roof, for hot water/CH U
44.007	Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	heat, at 10.5 m2 evacuated tube collector, glass-glass tube, one-family house, for combined system/CH U
44.001	Elektrowärmepumpe Luft / Wasser (JAZ 2.8)	heat, at air-water heat pump 10kW (proj.210)/MJ/RER U
44.002	Elektrowärmepumpe Erdsonden (JAZ 3.9)	heat, borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW (proj.210)/MJ/RER U
44.003	Elektrowärmepumpe Grundwasser (JAZ 3.4)	heat, at groundwater heat pump, 10kW/MJ/CH U
46.008	Kleinblockheizkraftwerk, Erdgas	Electricity, at Mini CHP plant, allocation exergy/CH U
46.001	Photovoltaik	electricity, low voltage, production from photovoltaic, at house/kWh/CH U
46.002	Photovoltaik Schrägdach	electricity, low voltage, photovoltaic mix slanted-roof, at house/kWh/CH U
46.003	Photovoltaik Flachdach	electricity, low voltage, photovoltaic mix flatroof, at house/kWh/CH U
46.004	Photovoltaik Fassade	electricity, low voltage, photovoltaic mix facade, at house/kWh/CH U
46.005	Windkraft	electricity, low voltage, production from wind power, at house/kWh/CH U
46.006	Biogas	electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy/kWh/CH U
46.007	Biogas, Landwirtschaft	electricity, low voltage, production from biogas, at house/kWh/CH U
41.001	Heizöl EL	light fuel oil, burned in boiler 10kW, non-modulating (proj. 210)/MJ/CH U
41.002	Erdgas	natural gas, burned in boiler, condensing, modulating <100kW (proj. 388)/MJ/RER U
41.003	Propan/Butan	propane/butane, burned in boiler, low-NOx cond. non-modul. <100kW (proj. 210)/MJ/CH U
41.004	Kohle Koks	hard coal coke, burned in stove 5-15kW (proj.210)/MJ/RER U
41.005	Kohle Brikett	hard coal briquette, burned in stove 5-15kW (proj. 210)/MJ/RER U
41.006	Stückholz	logs, mixed, burned in furnace 30kW (proj. 210), adjusted PM, without PF/MJ/CH U
41.010	Stückholz mit Partikelfilter	logs, mixed, burned in furnace 30kW (proj. 210), adjusted PM, with PF/MJ/CH U
41.007	Holzschnitzel	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, without PF/MJ/CH U
41.011	Holzschnitzel mit Partikelfilter	wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, with PF/MJ/CH U
41.008	Pellets	pellets, mixed, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, without PF/MJ/CH U
41.012	Pellets mit Partikelfilter	pellets, mixed, burned in furnace 50kW (proj. 210), adjusted PM, with PF/MJ/CH U
41.009	Biogas	biogas, burned in boiler condensing modulating <100kW (Proj. 210)/MJ/RER U
61.002	Diesel in Lastwagen	fuel in transport, freight, lorry, fleet average/CH U
61.001	Diesel in Baumaschine	fuel in building machine, hydraulic digger, average/CH U
61.004	Diesel in Personenwagen	fuel in transport, passenger car, diesel, fleet average (proj. 210)/MJ/CH U
61.003	Benzin in Personenwagen	fuel in transport, passenger car, petrol, fleet average (proj. 210)/MJ/CH U
61.006	Erdgas in Personenwagen	fuel in transport, passenger car, natural gas (proj. 210)/MJ/CH U
61.008	Strom in Personenwagen	fuel in transport, passenger car, electric (proj. 210)/CH U
61.009	Benzin in Scooter	fuel in transport, scooter,petrol (proj. 210)/CH U
61.007	Kerosin in Flugzeug	fuel in transport, aircraft, passenger (proj. 210)/RER U
61.005	Biogas in Personenwagen	fuel in transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas (proj. 210)/MJ/CH U
42.001	Heizzentrale Oel	district heat, from light fuel oil, at industrial furnace 1MW/MJ/CH U
42.002	Heizzentrale Gas	district heat, from natural gas, at industrial furnace >100kW/MJ/CH U
42.003	Heizzentrale Holz	district heat, from wood, 6400kWth, emission control/MJ/CH U
42.004	Heizkraftwerk Holz	district heat, from wood in cogen 6400kWth, emission control, alloc. Exergy/MJ/CH U

Tab. A.1 Datensätze zur Berechnung der Umweltauswirkungen und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen sowie ID-Nummer und Bezeichnung gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016b) (Fortsetzung)

ID-Nr.	Bezeichnung	Datensatz
42.005	Heizzentrale EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8)	district heat, from air-water heat pump 10kW/MJ/CH U
42.008	Heizzentrale EWP Erdsonde (JAZ 3.9)	district heat, from borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW/MJ/CH U
42.006	Heizzentrale EWP Abwasser (JAZ 3.4)	district heat, from sewage heat exchanger/MJ/CH U
42.007	Heizzentrale EWP Grundwasser (JAZ 3.4)	district heat, from ground water heat pump/MJ/CH U
42.009	Heizzentrale Geothermie	Eigener Datensatz, gerechnet in Excel
42.010	Heizkraftwerk Geothermie	Eigener Datensatz, gerechnet in Excel
42.011	Kehrichtverbrennung	district heat, from municipal waste incineration plant/MJ/CH U
42.012	Blockheizkraftwerk Diesel	district heat, from cogen 200kWe diesel SCR, allocation exergy/MJ/CH U
42.013	Blockheizkraftwerk Gas	district heat, from natural gas, cogen 500kWe lean burn, allocation exergy/MJ/CH U
42.014	Blockheizkraftwerk Biogas	district heat, from cogen with biogas engine, methane 96%-vol/MJ/CH U
42.015	Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	district heat, from biogas cogen engine, agricultural covered, alloc. exergy/MJ/CH U
42.016	Fernwärme Durchschnitt Netze CH	district heat, average Switzerland, at grid/MJ/CH U
42.017	Fernwärme mit Nutzung Kehrichtwärme, Durchschnitt Netze CH	district heat, average MSWI Switzerland, at grid/MJ/CH U
45.001	Atomkraftwerk	electricity, low voltage, production from nuclear power, at grid/kWh/CH U
45.002	Erdgaskombikraftwerk GuD	electricity, low voltage, production from natural gas, comb. cycle, at grid/kWh/CH U
45.023	Braunkohlekraftwerk	electricity, low voltage, production from lignite, DE, at grid/CH U
45.003	Steinkohlekraftwerk	electricity, low voltage, production from hard coal, at grid/kWh/CH U
45.004	Kraftwerk Schweröl	electricity, low voltage, production from oil, at grid/kWh/CH U
45.005	Kehrichtverbrennung	electricity, low voltage, production from waste incineration, at grid/kWh/CH U
45.006	Heizkraftwerk Holz	electricity, low voltage, production from CHP wood, at grid/kWh/CH U
45.007	Blockheizkraftwerk Diesel	electricity, low voltage, production from CHP diesel, at grid/kWh/CH U
45.008	Blockheizkraftwerk Gas	electricity, low voltage, production from CHP natural gas, at grid/kWh/CH U
45.009	Blockheizkraftwerk Biogas	electricity, low voltage, cogen biogas, methane 96%-vol, at grid/kWh/CH U
45.010	Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	electricity, low voltage, production from biogas, at grid/kWh/CH U
45.011	Photovoltaik	electricity, low voltage, production from photovoltaic, at grid/kWh/CH U
45.012	Photovoltaik Schrägdach	electricity, low voltage, photovoltaic mix slanted-roof, at grid/kWh/CH U
45.013	Photovoltaik Flachdach	electricity, low voltage, photovoltaic mix flat-roof, at grid/kWh/CH U
45.014	Photovoltaik Fassade	electricity, low voltage, photovoltaic mix facade, at grid/kWh/CH U
45.015	Windkraft	electricity, low voltage, production from wind power, at grid/kWh/CH U
45.016	Wasserkraft	electricity, low voltage, production from hydro power, at grid/CH U
45.017	Pumpspeicherung	electricity, low voltage, production from hydro power, pumped stor., at grid/kWh/CH U
45.018	Heizkraftwerk Geothermie	Eigener Datensatz, gerechnet in Excel
45.019	CH-Produktionsmix	electricity, low voltage, production CH, at grid/kWh/CH U
45.022	Mix zertifizierte Stromprodukte CH	electricity, low voltage, certified electricity, at grid/kWh/CH U
45.020	CH-Verbrauchermix	electricity, low voltage, at grid/kWh/CH U
45.021	ENTSO-E-Mix (ehemals UCTE-Mix)	electricity, low voltage, import ENTSO, at grid/kWh/CH U

Tab. A.2 Datensätze zur Berechnung der Umweltauswirkungen und Primärenergiefaktoren von Kollektor-, Fotovoltaik-, Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Elektroanlagen sowie ID-Nummer und Bezeichnung gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016b)

ID-Nr.	Bezeichnung	Datensatz
31.007	Cu-Kollektoranlage, EFH, für Warmwasser	solar system, 5 m2 Cu flat plate collector, one-family house, hot water/CH/I U
31.010	Vakuumröhrenkollektor, EFH, für RH und WW	solar system, 10.5 m2 evacuated tube collector, one-family house, combined system/CH/I U
31.008	Cu-Kollektoranlage, EFH, für RH und WW	solar system, 12 m2 Cu flat plate collector, one-family house, combined system/CH/I U
31.009	Cu-Kollektoranlage, MFH, auf Schrägdach, für Warmwasser	solar system, 20 m2 Cu flat plate collector, on slanted roof, hot water/CH/I U
34.024	Photovoltaik	eigene Berechnungen in Excel
34.025	Photovoltaik Schrägdach	eigene Berechnungen in Excel
34.026	Photovoltaik Flachdach	eigene Berechnungen in Excel
34.027	Photovoltaik Fassade	eigene Berechnungen in Excel
31.001	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m2	heat production system, specific heat demand 10W/m2/CH U
31.002	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m2	heat production system, specific heat demand 30W/m2/CH U
31.003	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 50 W/m2	heat production system, specific heat demand 50W/m2/CH U
31.016	Erdsonden, für Sole-Wasser-Wärmepumpe	borehole heat exchanger/CH U
31.017	Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	heat pump, brine-water, 8kW/CH U
31.018	Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	heat pump, brine-water, per kg/CH U
31.019	Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	heat pump, air-water, 8kW/CH U
31.020	Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	heat pump, air-water, per kg/CH U
31.021	Verteilung Wohngebäude	production of heat distribution system, apartment building/CH U
31.022	Verteilung Bürogebäude	production of heat distribution system, office building/CH U
31.023	Abgabe über Heizkörper	production of heat dissipation system with radiator/CH U
31.024	Abgabe über Fussbodenheizung	production of heat dissipation system with floor heating/CH U
31.025	Abgabe über Heizkühldecke (ohne Gips- oder Metalldecke)	production of heat dissipation system with heating-cooling ceiling/CH U
31.015	Wärmeverteilung, Luftheizung	heat distribution system, air heating, specific heat demand 10W/m2/CH U
92.006	Entsorgung, Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m2	disposal, heat production system, specific heat demand 10W/m2/CH U
92.007	Entsorgung, Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m2	disposal, heat production system, specific heat demand 30W/m2/CH U
92.008	Entsorgung, Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 50 W/m2	disposal, heat production system, specific heat demand 50W/m2/CH U
92.009	Entsorgung, Erdsonden, für Sole-Wasser-Wärmepumpe	disposal, borehole heat exchanger/CH U
92.010	Entsorgung, Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	disposal, heat pump, brine-water, 8kW/CH U
92.011	Entsorgung, Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	disposal, heat pump, brine-water, per kg/CH U
92.012	Entsorgung, Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	disposal, heat pump, air-water, 8kW/CH U
92.013	Entsorgung, Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	disposal, heat pump, air-water, per kg/CH U
92.014	Entsorgung, Verteilung Wohngebäude	disposal of heat distribution system, apartment building/CH U
92.015	Entsorgung, Verteilung Bürogebäude	disposal of heat distribution system, office building/CH U
92.016	Entsorgung, Abgabe über Heizkörper	disposal of heat dissipation system with radiator/CH U
92.017	Entsorgung, Abgabe über Fussbodenheizung	disposal of heat dissipation system with floor heating/CH U
92.018	Entsorgung, Abgabe über Heizkühldecke (ohne Gips- oder Metalldecke)	disposal of heat dissipation system with heating-cooling ceiling/CH U
92.019	Entsorgung, Wärmeverteilung, Luftheizung	disposal, heat distribution system, air heating, specific heat demand 10W/m2/CH U
32.010	Einzelraumlüfer Fenstermodell 10-30 m3/h, ohne Montage	single room ventilator with heat recovery window frame model/p/CH U
32.001	Lüftungsanlage Wohnen, Blechkanäle, inkl. Küchenabluft	ventilation system, average for appartment buildings, steel ducts, without GHE/CH U
32.002	Lüftungsanlage Wohnen, PE-Kanäle, inkl. Küchenabluft	ventilation system, average for appartment buildings, PE ducts, without GHE/CH U
32.003	Abluftanlage Küche und Bad	exhaust air system for kitchen and bathroom in appartment buildings/CH U
32.004	Erdregister zu Lüftungsanlage Wohnen	ground heat exchanger for appartment buildings, PE ducts/CH U
32.008	Erdregister kurz zu Lüftungsanlage Büro (0.27 m/m2 EBF)	ground heat exchanger for office buildings, short: 0.267 m/CH U
32.009	Erdregister lang zu Lüftungsanlage Büro (0.67 m/m2 EBF)	ground heat exchanger for office buildings, long: 0.667 m/CH U
32.011	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m3/(h m2)	ventilation system, centralized, average for 1 m3/(h m2)/CH U
32.005	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m3/(h m2)	ventilation system, centralized, average for 2 m3/(h m2)/CH U
32.006	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m3/(h m2)	ventilation system, centralized, average for 4 m3/(h m2)/CH U
32.007	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m3/(h m2)	ventilation system, centralized, average for 6 m3/(h m2)/CH U
32.012	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m3/(h m2)	ventilation system, centralized, average for 8 m3/(h m2)/CH U
92.020	Entsorgung, Einzelraumlüfer Fenstermodell 10-30 m3/h, ohne Montage	disposal, single room ventilator with heat recovery window frame model/p/CH U
92.021	Entsorgung, Lüftungsanlage Wohnen, Blechkanäle, inkl. Küchenabluft	disposal, ventilation system for appartment buildings, steel ducts, without GHE/CH U
92.022	Entsorgung, Lüftungsanlage Wohnen, PE-Kanäle, inkl. Küchenabluft	disposal, ventilation system for appartment buildings, PE ducts, without GHE/CH U
92.023	Entsorgung, Abluftanlage Küche und Bad	disposal, exhaust air system for kitchen and bathroom in appartment buildings/CH U
92.024	Entsorgung, Erdregister zu Lüftungsanlage Wohnen	disposal, ground heat exchanger for appartment buildings, PE ducts/CH U
92.025	Entsorgung, Erdregister kurz zu Lüftungsanlage Büro (0.27 m/m2 EBF)	disposal, ground heat exchanger for office buildings, short: 0.267 m/CH U
92.026	Entsorgung, Erdregister lang zu Lüftungsanlage Büro (0.67 m/m2 EBF)	disposal, ground heat exchanger for office buildings, short: 0.667 m/CH U
92.027	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m3/(h m2)	disposal, ventilation system, centralized, average for 1 m3/(h m2)/CH U
92.028	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m3/(h m2)	disposal, ventilation system, centralized, average for 2 m3/(h m2)/CH U
92.029	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m3/(h m2)	disposal, ventilation system, centralized, average for 4 m3/(h m2)/CH U
92.030	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m3/(h m2)	disposal, ventilation system, centralized, average for 6 m3/(h m2)/CH U
92.031	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m3/(h m2)	disposal, ventilation system, centralized, average for 8 m3/(h m2)/CH U
33.001	Büro, einfache Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	office, simple sanitary installation, incl. appliances and pipes, construction/CH U
92.001	Büro, einfache Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	office, simple sanitary installation, incl. appliances and pipes, deconstruction/CH U
33.002	Büro, aufwändige Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	office, complex sanitary installation, incl. appliances and pipes, construction/CH U
92.002	Büro, aufwändige Installation, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	office, complex sanitary installation, incl. appliances and pipes, deconstruction/CH U
33.003	Wohnen, inkl. Apparate und Leitungen, Erstellung	EKG I, sanitary facilities, residental building, construction/m2/CH/I U
92.003	Wohnen, inkl. Apparate und Leitungen, Rückbau	EKG I, sanitary facilities, residental building, deconstruction/m2/CH/I U
34.002	Büro, Erstellung	EKG I, electrical system, office building, construction/m2/CH/I U
92.005	Büro, Rückbau	EKG I, electrical system, office building, deconstruction/m2/CH/I U
34.001	Wohnen, Erstellung	EKG I, electrical system, residental building, construction/m2/CH/I U
92.004	Wohnen, Rückbau	EKG I, electrical system, residental building, deconstruction/m2/CH/I U