

Ökobilanz und Kennwertmodell für Strom aus Holzgas-WKK mit Pyroforce Festbett-Gleichstrom-Vergaser mit tro- ckener Gasreinigung

Bericht

Autor

Niels Jungbluth
ESU-services GmbH
Kanzleistr. 4, 8610 Uster
jungbluth@esu-services.ch
Tel. +41 44 940 61 32 Fax +41 44 940 61 94

Kunden

Willy Gemperle
Pyroforce Energietechnologie AG
Reussgasse 17
CH-6020 Emmenbrücke
Tel. 041 420 44 33
Fax 041 420 44 76
www.pyroforce.ch
willi.gemperle@pyroforce.ch

Nadine Guthapfel
VUE naturemade
Oetenbachgasse 1
CH-8001 Zürich
Tel +41 44 213 10 21
Fax +41 44 213 10 25
www.naturemade.ch
nadine.guthapfel@naturemade.ch

Uster, September 2007

Bericht

ESU-services Ltd.
Rolf Frischknecht
Niels Jungbluth
Sybille Büsser
Matthias Tuchschrnid
www.esu-services.ch

Kanzleistrasse 4
T +41 44 940 61 91
T +41 44 940 61 32
T +41 44 940 61 35
T +41 44 940 67 94
F +41 44 544 57 94

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

Impressum

Titel	Ökobilanz und Kennwertmodell für Strom aus Holzgas-WKK mit Pyroforce Festbett-Gleichstrom-Vergaser mit trockener Gasreinigung
Autor	Niels Jungbluth ESU-services GmbH Kanzleistrasse 4, 8610 Uster Tel. +41 44 940 61 32, Fax +41 44 5445794 jungbluth@esu-services.ch www.esu-services.ch
Auftraggeber	Pyroforce Energietechnologie AG
Review	Arthur Wellinger, Nova Energie GmbH
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	153.b_KWM-Holzvergasung_v5.0.doc, 10.09.2007 15:26

Zusammenfassung

Ziel der Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzgas aus der Festbett-Gleichstrom-Vergasung mit trockener Gasreinigung ist die Beurteilung verschiedener Anlagen hinsichtlich ihrer Eignung für eine Auszeichnung mit dem Qualitätslabel *naturemade star* für ökologisch erzeugten Strom. Für die Untersuchung der Energie- und Stoffströme wurden hierzu zunächst eine bestehende Anlage besucht und Daten für zwei weitere im Bau befindliche Anlagen von der Firma Pyroforce AG erhoben. Ergänzt wurde diese Erhebung durch eine Literaturrecherche. Für die drei Beispielanlagen und für den gemittelten Durchschnitt wurde je eine Sachbilanz bezogen auf den Holzinput erstellt.

Die drei untersuchten Anlagen unterscheiden sich hinsichtlich Holzinput (Waldholz, Restholz aus Parkettfabrik, Altholz), NO_x Emissionen und Verbrauch von Rapsölmethylester.

Als wesentliche Einflussgrößen des mit der Methode Eco-indicator 99 (Hierarchist) bewerteten Ergebnisses wurden die direkten Emissionen von NO_x identifiziert. Weitere wichtige Größen für die Beurteilung der Umweltbelastungen des erzeugten Stromes sind die Jahresproduktion an Strom und Wärme mit dem damit zusammenhängenden Holzverbrauch und die Art der verwendeten Brennstoffe. Relevant ist auch der Verbrauch von Rapsölmethylester zur Gasreinigung. Ausserdem ist die Aschemenge und Art ihrer Entsorgung für das Gesamtergebnis wichtig.

Zur Beurteilung der Stromerzeugung aus Holz im Rahmen der Ökostromzertifizierung wurden die Standardanlagen in einem Kenngrößenmodell modelliert. Hierzu müssen die Umweltbelastungen der Gesamtanlage auf die beiden Produkte Strom und Wärme aufgeteilt werden. Für die Wärmeerzeugung in der Anlage erfolgt in diesem Modell eine Gutschrift entsprechend 50% der Umweltbelastungen für die gleiche Wärmemenge aus einer kondensierenden Gasheizung. Die restlichen Umweltbelastungen werden dem Strom angelastet.

Vom Betreiber einer Anlage müssen im Rahmen der Zertifizierung folgende Daten zur Verfügung gestellt werden: Holz- und Rapsölmethylesterverbrauch, Transportdistanzen, Emissionen von NO_x, Jahresproduktion an Strom und genutzte Wärme, die Aschemenge und deren Entsorgungsweg.

Die drei untersuchten Anlagen haben in der Regel keine Probleme, den Grenzwert für *naturemade star* einzuhalten. Bei der Anlage in Österreich, besteht die gesetzliche Möglichkeit die Asche oder Schlacke auch auf Landwirtschaftsfläche auszubringen. Dann ist eine Einhaltung des Grenzwertes aber kaum möglich.

In einem weiteren Schritt wurde auch eine Sachbilanz für die Strom- und Wärmeerzeugung aus Holzgas mit den drei untersuchten Varianten für Holzbrennstoffe erstellt. Hier erfolgte die Allokation der Umwelteinwirkungen auf Wärme und Strom anhand des Exergiegehalts der Energieträger. Diese Sachbilanzen können als Hintergrunddaten für zukünftige Ökobilanzstudien dienen.

Da die Ökobilanz in vielen wichtigen Punkten auf Planungsdaten beruht, ist eine spätere Überprüfung auf Grundlage tatsächlicher Betriebsdaten notwendig. Wenn sich hierbei wesentliche Änderungen im Vergleich zu den Planungsdaten ergeben muss die Ökobilanz und das Kennwertmodell entsprechend überarbeitet werden.

Glossar

In dieser Arbeit werden einige Begriffe in einer bestimmten Art und Weise benutzt. Die zugrundeliegende Definition wird im folgenden Glossar erläutert.

Begriff	Bedeutung in dieser Arbeit
Altholz	In dieser Arbeit wird altes Holz aus Gebäudeabbrüchen, Umbauten, Renovationen und Altholz aus Verpackungen oder alte Holzmöbel (z.B. Holztische) sowie Gemische mit Holzbrennstoffen als Altholz bezeichnet. Dieses Holz darf gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV) (LRV 2000a) im Gegensatz zu → Holzabfällen nur in speziellen Altholzfeuerungen verbrannt werden (Nussbaumer 1994).
Holzabfälle	Gemäss (LRV 2000a) dürfen (b.1.) Altholz und Holzabfälle, die mit Holzschutzmitteln nach einem Druckverfahren imprägniert wurden oder Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen (z.B. PVC) aufweisen, (b.2) mit Holzschutzmitteln wie Pentachlorphenol intensiv behandelte Holzabfälle und (b.3.) Gemische von solchen Abfällen mit Holzbrennstoffen oder Altholz nicht in Altholzfeuerungen verbrannt werden. Diese Abfälle werden in die Kehrichtverbrennung entsorgt (Nussbaumer 1994).
Holzbrennstoffe	Gemäss (LRV 2000a) werden drei Kategorien von Holzbrennstoffen unterschieden (Nussbaumer 1994): - a.) Naturbelassenes, stückiges Holz. - b.) Naturbelassenes, nicht stückiges Holz, z.B. in Form von Hackschnitzeln. - c.) Restholz aus der holzverarbeitenden Industrie und dem holzverarbeitenden Gewerbe sowie von Baustellen, soweit das Holz nicht druckimprägniert ist und keine Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen wie z.B. PVC enthält. Für kleine Feuerungen gibt es gemäss LRV unterschiedliche Vorschriften für die drei Kategorien. Für grössere Anlagen, wie sie in dieser Studie untersucht werden, gibt es diese Differenzierung hingegen nicht mehr. In dieser Arbeit werden deshalb alle drei Kategorien gemeinsam als Holzbrennstoffe bezeichnet.
Restholz	Siehe Holzbrennstoffe.

Abkürzungen

	Deutsch	Englisch
AT	Österreich	Austria
CH	Schweiz	
EI'99	Eco-indicator'99	Eco-indicator'99
FSC		Forest Stewardship Council
GWP	Treibhausgaspotential bzw. Klimaänderungs- potential	Global Warming Potential
RER	Europa	
UBP	Umweltbelastungspunkte	

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	I
GLOSSAR	II
ABKÜRZUNGEN	III
INHALT	IV
1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	1
2 ANLAGENBESCHREIBUNG	3
3 SYSTEMGRENZEN	6
3.1 Definition des Untersuchungsgegenstandes	6
3.2 Datenerhebung	6
3.3 Gutschrift Wärme	7
3.4 Ökostrom Schweiz Grenzwert	7
3.5 Hintergrunddaten	7
4 SACHBILANZ DER STROMERZEUGUNG MIT HOLZGAS-WKK MIT FESTBETT- GLEICHSTROM-VERGASUNG (DEUTSCHE ÜBERSETZUNG)	9
4.1 Einleitung	9
4.2 Eingesetzte Biomasse	9
4.3 Festbett-Vergasung und Betrieb der WKK-Anlage	9
4.3.1 Vergasung von Waldholz in Spiez	10
4.3.2 Vergasung von Restholz aus der Parkettherstellung in Güssing	12
4.3.3 Vergasung von Holzabfällen in Nidwalden	12
4.3.4 Zusammenfassung der Sachbilanzdaten für den Betrieb während einem Jahr	12
4.3.5 Sachbilanzdaten	13
4.4 Anlageninfrastruktur	14
4.5 Wärme- und Stromproduktion	15
4.6 Systemerweiterung pro kWh Produktion	16
4.7 EcoSpold Metadaten	16
5 LIFE CYCLE INVENTORY OF WOOD GAS COGENERATION WITH FIXED BED GASIFIER	18
5.1 Introduction	18
5.2 Characterisation of energy carrier	18
5.3 Fixed bed gasification and operation of the combined heat and power plant	18
5.3.1 Gasification of forest wood in Spiez	19
5.3.2 Gasification of residual wood from parquet manufacturing in Güssing	20
5.3.3 Gasification of waste wood in Nidwalden	21
5.3.4 Summary of key data for one year of operation	21
5.3.5 Unit process raw data	22
5.4 Plant infrastructure	23
5.5 Heat and electricity production	24

5.6	System expansion per kWh output.....	25
5.7	EcoSpold meta information.....	25
6	ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ	27
6.1	Vergleich mit dem Ökostrom Grenzwert	27
6.2	Analyse der Umweltbelastungen.....	28
6.3	Sensitivitätsrechnungen.....	30
6.3.1	Stickoxide.....	30
6.3.2	Wärmenutzung	30
6.3.3	Rapsmethylester	31
6.3.4	Partikelemissionen	32
6.4	Zusammenfassung der wichtigsten Einflussparameter.....	34
6.5	Vergleich der Strom- und Wärmeerzeugung.....	35
7	KENNGRÖSSENMODELL FÜR DIE ZERTIFIZIERUNG	36
7.1	Einführung.....	36
7.2	Wichtige Annahmen.....	36
8	DISKUSSION UND AUSBLICK	39
8.1	Diskussion und Unsicherheiten.....	39
8.2	Empfehlungen	39
8.3	Überprüfung nach Inbetriebnahme.....	40
9	LITERATUR.....	41
	ABBILDUNGEN	45
	TABELLEN	46
	DESCRIPTION OF THE ELECTRONIC DATA FORMAT ACCORDING TO ISO 14048	47
	Unit process description (Meta Information).....	48
	Unit process inventory (Flow Data)	49
	SCHADENSORIENTIERTE ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG NACH ECO-INDICATOR 99	52
	Menschliche Gesundheit.....	52
	Ökosystem Qualität	53
	Ressourcenentwertung.....	54
	Zusammenfassung der Methode	54
	VERWENDUNG ANDERER BEWERTUNGSMETHODEN.....	56
	Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 2006).....	56
	Eco-indicator 99 (E, E) und (I, I).....	56

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Firma Pyroforce will Festbett-Gleichstrom-WKK-Anlagen in der Schweiz bauen bzw. vertreiben. Der Verein VUE naturemade wurde von der Firma Pyroforce angefragt, diesen Anlagentyp gemäss "naturemade star" zertifizieren zu lassen.

Das bisherige Kennwertmodell für Holzverstromung basiert auf Anlagen mit direkter Verbrennung von Holzschnitzeln und ist deshalb für Vergasungsverfahren nicht anwendbar (Jungbluth et al. 2002). In einer Vorbesprechung wurde deshalb festgelegt, für diesen Anlagentyp die Zertifizierungsgrundlagen neu zu erarbeiten.

Hierzu wird zunächst ein Ökobilanz der Stromerzeugung mit Holzgas-WKK mit Festbett-Gleichstrom-Vergasung und trockener Gasreinigung erarbeitet. Die Sachbilanzen werden mit dem Eco-indicator 99 bewertet und für naturbelassenes Holz, Restholz und Altholz in einem Kenngrössenmodell abgebildet.

Die zu erarbeitenden Ökobilanz-Ergebnisse bilden als globales Kriterium eine Grundlage zur Zertifizierung von Strom auf der Basis regenerierbarer Energieträger gemäss *naturemade star* (siehe auch Fig. 1.1). Die Bewertungskriterien für *naturemade star* sind eingeteilt in sogenannt *lokale* und *globale* Kriterien:

Die *lokalen* Kriterien umfassen die Kraftwerksumgebung und eine wirkungsspezifische Grauzone. Bei Wasserkraftwerken sind dies unter anderem die Fischdurchlässigkeit und die Restwassermengen. Photovoltaikanlagen dürfen nur auf bereits überbauten Flächen installiert und Windkraftanlagen nur an speziell ausgeschiedenen, landschaftlich unkritischen Standorten errichtet werden.

Das *globale* Kriterium basiert auf einer Lebenszyklusbetrachtung aller Umweltauswirkungen (Ökobilanz, siehe Fig. 1.1). Mittels Kennwertmodellen können Anlagebetreiber in kurzer Zeit abklären, ob die eigene Anlage den Grenzwert unterschreitet, und damit das globale Kriterium für die Vergabe des Qualitätszeichen *naturemade star* erfüllt (Frischknecht & Jungbluth 2000a; b).

Lokale Kriterien:

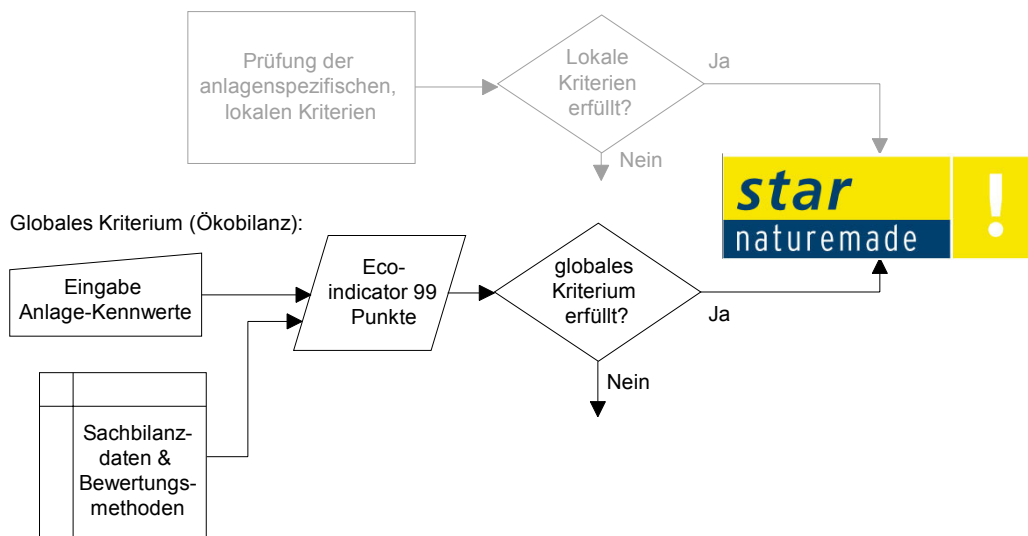


Fig. 1.1: Ablaufschema Vergabe des Stromlabels *naturemade star*

Der vorliegende Bericht ist wie folgt strukturiert. In Kapitel 2 wird zunächst die Technologie der Holzvergasung in einem Festbett-Gleichstromreaktor beschrieben. Die Systemgrenzen der Ökobilanz

werden in Kapitel 3 beschrieben. Die Sachbilanzdaten werden im folgenden Kapitel dokumentiert. Da eine Übernahme der Daten für die ecoinvent Datenbank vorgesehen ist, wurde dieses Kapitel in Englisch geschrieben. In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Ökobilanz bewertet und diskutiert. Das Kennwertmodell für die Zertifizierung gemäss *naturemade star* wird in Kapitel 7 ausgearbeitet. Die Gesamtergebnisse werden in Kapitel 8 diskutiert.

2 Anlagenbeschreibung

Der Festbett-Vergaser kann mit Waldholz- und Altholzschnitzeln betrieben werden. Eine Versuchsanlage ist in Spiez in Betrieb. In Güssing wird zur Zeit die erste kommerzielle Anlage dieses Typs erstellt. In dieser Studie werden drei Anlagen untersucht.

- Anlage Spiez, Installierte Leistung 150 kW el. und 250 kW therm. für Sägerei-Restholz. Die Anlage ist mit einer Durchlauftrocknung ausgerüstet.
- Anlage Güssing, Installierte Leistung 300 kW el. und 500 kW therm. für trockenes Industrie-Restholz einer Parkettfabrik. Die Anlage wird nicht mit einem Trockner ausgerüstet.
- Anlage Holzverstromung Nidwalden Stans, Installierte Leistung 1380 kW el. und 2200 kW therm. für unproblematische Altholzfraktionen. Die Anlage wird nicht mit einem Trockner ausgerüstet.

Die Gesamtanlage besteht aus der Holzschnitzellagerung und dem Holzschnitzeltransport, dem Vergaser, der Rohgasaufbereitung und dem Blockheizkraftwerk zur Erzeugung elektrischer und thermischer Energie. Die folgende ausführliche Beschreibung wird für die Anlage in Spiez erstellt (Müller & Meier 2007).

Die in Spiez installierte Anlage wird mit Waldholz betrieben. Die Holzschnitzel werden zunächst mit intern erzeugter Wärme auf 10% Wassergehalt vorgetrocknet. Aus diesen wird im Vergaser ein Gas gewonnen, das mit einem Heizwert von ca. 1.1 kWh/Nm³ als ein stadtgasähnliches Schwachgas (hoher Stickstoff- und Kohlendioxidanteil) gilt.

Die ersten Teilschritte der Vergasung sind die Trocknung und die Pyrolyse (Fig. 2.1). Während der Trocknung bei ca. 200 °C wird das Wasser, das mit dem Vergasungsgut in den Reaktor gelangt, verdampft. Es finden keine Zersetzungsprozesse statt. Der Wasserdampf kann abgezogen werden und wird durch einen Kamin in die Umgebungsluft entlassen.

An die Trocknung schliesst die Pyrolyse an. Die Pyrolyse ist der erste Teilschritt sowohl der Verbrennung als auch der Vergasung. Bei Temperaturen von 200°C - 600°C beginnt die Zersetzung von Hemicellulose. Zwischen 325°C und 375°C wird die Cellulose aufgespalten. Es entstehen Kohlendioxid, Methanol, leichtflüchtige Teere und organische Säuren, vor allem Essigsäure. Oberhalb von 375 °C bricht Lignin (der Grundbestandteil von Holz) in kleinere chemische Verbindungen auf. Dabei fallen schwerflüchtige Teere und Kohlenwasserstoffe an. Über 700 °C entsteht nur noch Kohlenstoff in Form von Holzkohle. Die Aufenthaltszeit bestimmt Art und Menge der gebildeten Produkte. Die langsame Pyrolyse oberhalb 280°C verläuft exotherm und schreitet daher ohne Energiezufuhr von aussen voran. Dabei wird ein grosser Anteil Holzkohle gebildet (Müller & Meier 2007).

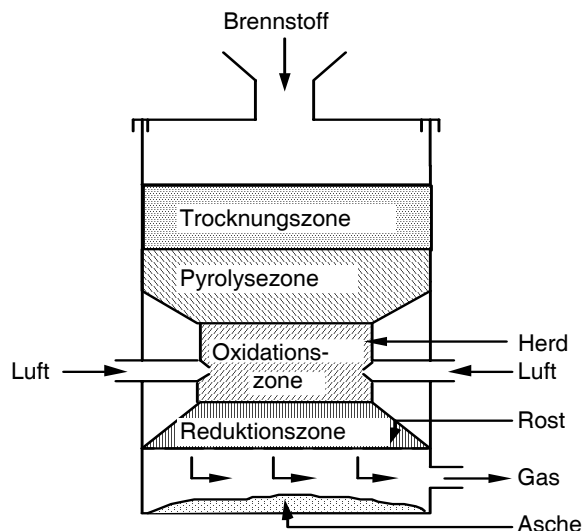


Fig. 2.1 Schema der Holzvergasung (Müller & Meier 2007)

Eine langsame Erwärmung ermöglicht zunächst die Trocknung des Brennstoffes und die Abspaltung von Wasser und Kohlendioxid. Der Kohlenstoffgehalt der restlichen Feststoffe nimmt zu. Schwere Kohlenwasserstoffe können bei den nun ansteigenden Temperatur zersetzt werden.

Zur Aufrechterhaltung der Temperatur wird meist Luft oder reiner Sauerstoff zur Oxidation von Kohlenstoff zugegeben. Die frei werdende Energie wird für folgendes benötigt

- die Trocknung des feuchten Materials,
- die Ermöglichung der Aufspaltung der Kohlenwasserstoffe in der Pyrolysezone,
- die Aufrechterhaltung der Temperatur im Kohlebett, und
- die Deckung des Wärmebedarfes der Reduktionszone.

In der Oxidationszone entstehen in stark exothermen Reaktionen (partielle Verbrennung) Wasser und Kohlendioxid.

Das Rohgas wird in einem mit Steinmehl (Sorbalit) betriebenen Filter gereinigt. Aus dem Reaktor wird etwa 0.8% bis 1% (bzw. bis 1.5%) Asche bei Waldholz bzw. Altholzschnitzeln ausgetragen. Die Asche aus Waldholzschnitzeln hat einen C-Gehalt kleiner 5% und kann auf eine Inertstoffdeponie gebracht werden. Asche bzw. Schlacke aus Altholz wird als Sonderabfall klassifiziert und in eine Untertagedeponie verbracht. Kondensat aus der Anlage enthält Phenol. Es wird mit Wasserstoffperoxyd bei einem Aufbereiter neutralisiert. Der Schlamm wird abgetrennt und verbrannt. Das verbleibende Abwasser wird einer Kläranlage zugeführt.

Die gesamte Anlage wird in Unterdruck betrieben.

Die Stromerzeugung ist bei einigen Anlagen wärmegeführt, d.h. die Anlage läuft nur soweit Wärme an Verbraucher abgegeben werden kann. Dabei sollen etwa 7000 Betriebsstunden pro Jahr erreicht werden. Der energetische Gesamtwirkungsgrad soll bei Volllast etwa 77% bis 80% liegen.

Die geplante Anlagengröße liegt zwischen etwa 150 kWel und 550 kWel. Größere Anlagen werden durch Parallelbetrieb möglich.

Bei den Luftemissionen stellt gemäss heutigem Kenntnisstand insbesondere noch Kohlenmonoxid (650 mg/Nm^3) ein Problem dar. Stickoxide liegen bei $300\text{-}500 \text{ mg/Nm}^3$. Staubemissionen liegen bei nur 2 mg/Nm^3 . Zur Gaswäsche wird Rapsölmethylester eingesetzt.

Im Rahmen der Ökobilanz-Studie werden Sachbilanzen für die Verwendung verschiedener Brennstoffe (naturbelassenes Waldholz, Restholz und Altholz) erstellt. Die zu analysierenden Holzgas-WKK-Anlagen umfassen die in Fig. 2.2 skizzierten Prozesse. Grau dargestellt sind Prozessschritte für die bereits Hintergrunddaten zur Verfügung stehen.

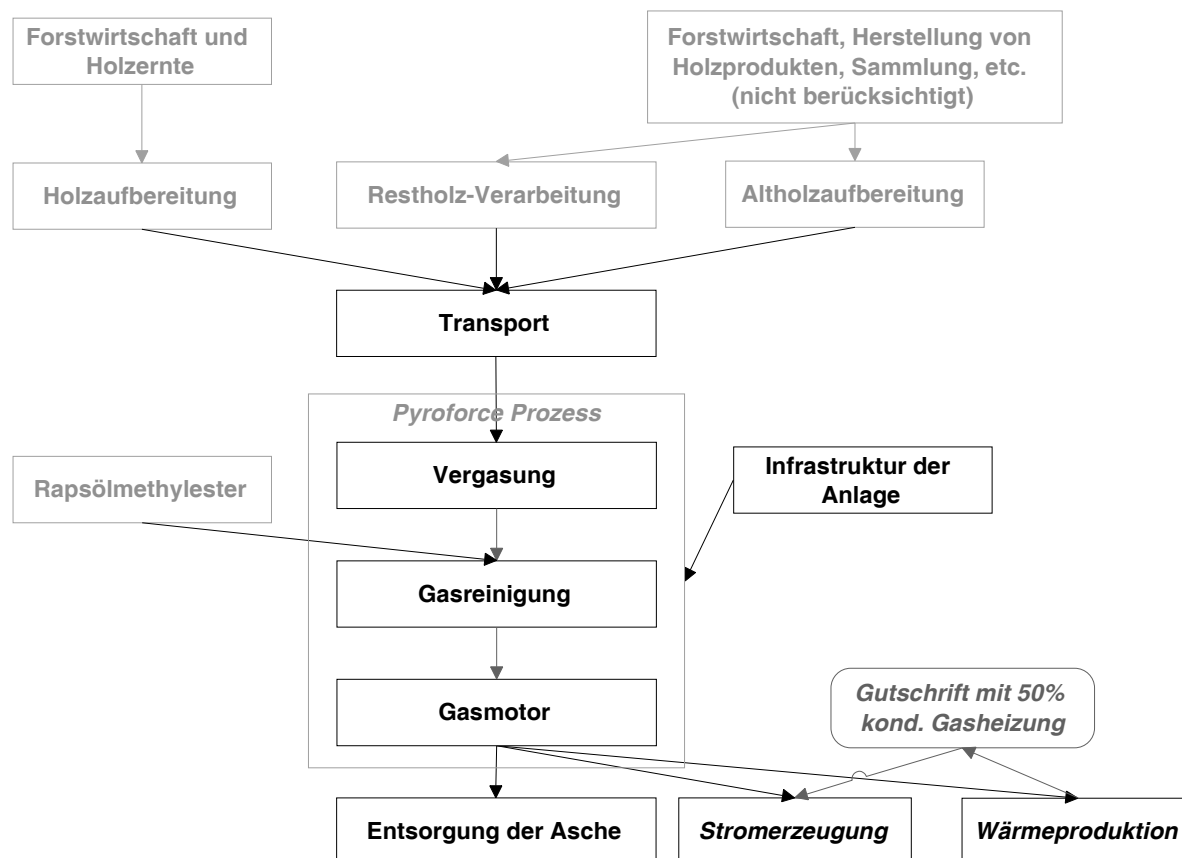


Fig. 2.2 Prozessflussbild der Bereitstellung von Strom aus einer Holzgas-WKK mit Pyroforce-Festbett-Gleichstrom-Vergasung und trockener Gasreinigung

3 Systemgrenzen

Für die im vorhergehenden Kapitel definierte Technologie wurden die Sachbilanzdaten erhoben und verarbeitet. Hierzu werden einerseits die Betriebsaufwendungen und –emissionen und andererseits die Aufwendungen zur Anlagenherstellung erfasst und die erfassten Daten für die Modellierung aufbereitet. Der Grossteil der Daten wurde vom Anlagenbetreiber Pyroforce in einem Fragebogen zur Verfügung gestellt und wo nötig mündlich weiter erläutert.¹

Im Hinblick auf eine mögliche spätere Übernahme der Daten in den ecoinvent Datenbestand werden die erhobenen Sachbilanzdaten in einem Englischsprachigen Kapitel 4 dokumentiert (Sachbilanz der Stromerzeugung mit Holzgas-WKK mit Festbett-Gleichstrom-Vergasung).

3.1 Definition des Untersuchungsgegenstandes

Auf Grund der Verbundproduktion von Strom und Wärme ist der Definition des Untersuchungsgegenstandes, der Systemgrenzen und der allenfalls benötigten Vergleichssysteme ein hoher Stellenwert beizumessen. Durch die Koppelproduktion entsteht ein Ermessensspielraum, der in Übereinstimmung mit der Vorgehensweise bei anderen *naturemade star* Kandidaten einzugrenzen ist.

Als Alternative zur Wärmebereitstellung mit WKK-Anlagen wird hier in Übereinstimmung mit anderen Modellen der *naturemade star* Zertifizierung die Wärmeerzeugung mit einer konventionellen kondensierenden industriellen Gasheizung herangezogen werden. Alternativen der Verwertung von Altholz werden wie auch bei anderen *naturemade star* zertifizierten Systemen nicht weiter betrachtet (Jungbluth et al. 2002).

3.2 Datenerhebung

Ein Fragebogen bildet die Grundlage für die Bilanzierung der Holzvergasung und Stromerzeugung. Bereits durchgeführte Bilanzen der Stromerzeugung aus Holz (Forsberg 1999; 2000; Jungbluth et al. 2002; Mann & Spath 1997) haben ergeben, dass den direkten Emissionen bei der Verbrennung eine besondere Bedeutung zukommt. Wichtig sind ausserdem die Transporte des Brennstoffes sowie die Effizienz der Anlage und die Nutzung der vorhandenen Wärme.

Die Bilanz der Strom- und Wärmeproduktion in einer Holzvergasungsanlage umfasst die folgenden Prozessschritte (Die Prozesse aus dem Lebenszyklus, die im Rahmen dieses Fragebogens nicht erfasst wurden, da bereits Daten verfügbar waren, sind eingerückt):

- Holzwachstum, -ernte und Holzschnitzelproduktion und allf. Holz Trocknung, für die Bereitstellung von Holzschnitzeln aus Schwachholzbeständen.
- Holzlagerung, Kamin, Gebäude etc., inkl. Hilfsenergiebedarf (Beleuchtung, Belüftung), allfällige Luftschadstoff- und Sickerwasseremissionen, Herstellung resp. Bau, und Rückbau der Anlagenteile und der Gebäude.
- Transport
- Biomasse-Trocknung
- Vergasung
- Gasreinigung

¹ Persönliche Mitteilungen von Willy Gemperle, Dezember 2006 bis Februar 2007.

- Betrieb der Fackel
- Betrieb des Gasmotor-BHKW
- Entsorgung Asche, Schlacke, Kondensat
- Bau und Baumaterialien der Anlage

Des weiteren wurden folgende Informationen abgefragt:

- *Funktionsbeschreibung der Anlagen und Anlagenschemata.*
- *Vergaste Schnitzelmenge*, sowie physikalisch-chemische Eigenschaften der eingesetzten Brennstoffe (insb. Kohlenstoff-, Wasser- und Aschegehalt, weitere chem. Zusammensetzung (S, Cl, etc.), Heiz- und Brennwert).
- *Total installierte thermische und elektrische Leistung*, als Parameter für die Grösse der Stromerzeugungsanlagen.
- *Jahresproduktion thermischer und elektrischer Energie*, zur Bestimmung der Bezugsgrösse und zur Aufteilung der Gesamtaufwendungen und -emissionen. Angaben zu Brutto- und Nettostromproduktion, zu Bruttowärmeproduktion, Wärmeverlusten und Nettowärmeabgabe sowie zum Strombedarf (insgesamt und im Wärmenetz).
- *Betriebsmaterialien (z.B. für die Gasreinigung)*, Sachbilanz- und Stoffdaten oder Adressen und Kontaktpersonen von Herstellern oder Händlern in der Schweiz.
- *Abfälle zur Entsorgung*. Ausserdem wird die genaue Zusammensetzung der Abfälle und der Entsorgungsweg abgefragt.

3.3 Gutschrift Wärme

Für die erzeugte Wärme wird im Kennwertmodell eine Gutschrift erteilt. In einer früheren Studie wurden hier 50% der Umweltbelastungen einer modernen Gasfeuerung zu Grunde gelegt (Jungbluth et al. 2002 mit Datensatz „Nutzwärme ab Heizung LowNOx KOND.<100 kW“ aus Frischknecht et al. 1996). Hier wird ein entsprechender Datensatz aus dem neuen Datenbestand verwendet („heat, natural gas, at boiler atm. low-NOx condensing non-modulating <100kW; RER“ aus Faist Emmenegger et al. 2003).

Die Gutschrift für Wärme beträgt damit neu 0.00229 EI'99 (H,A) Punkte pro MJ. In den bisherigen Kennwertmodellen liegt der entsprechende Wert bei 0.00245 Punkten pro MJ.

3.4 Ökostrom Schweiz Grenzwert

Der bisherige Grenzwert für Ökostrom basiert auf einer inzwischen aufdatierten Studie (Frischknecht 1998). Der Wert beträgt 50% der Umweltbelastung des Datensatzes „Strom ab GuD Kraftwerk marginal“ und liegt bei 0.01395 EI'99 (H,A) Punkten pro kWh. Neu wird als entsprechender Datensatz „Electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology/RER“ verwendet (Faist Emmenegger et al. 2003). Hier betragen die Umweltbelastungen jetzt 0.0136 EI'99 (H, A) Punkte pro kWh.

3.5 Hintergrunddaten

Die vom Auftraggeber gelieferten und – im Falle der Lieferanten der Betriebsmaterialien und von Anlagekomponenten – von ESU-services recherchierten Sachbilanzdaten werden für die Berechnung der kumulierten Stoff- und Energieflüsse aufbereitet. Für die Energieträgerbereitstellung und die Baumate-

rialien wird weitgehend auf den aktuellen Datenbestand v1.3 der schweizerischen Ökobilanzdatenbank „ecoinvent“ abgestützt (ecoinvent Centre 2006). Aktuelle Daten zur Produktion von Rapsölmethylester und zur Bereitstellung von Altholz stehen aus einem Folgeprojekt zur Verfügung (Jungbluth et al. 2007a). Die Entsorgung von Kondensat wurde teilweise auf eine Studie zur BTL-produktion abgestützt (Jungbluth et al. 2007b).

4 Sachbilanz der Stromerzeugung mit Holzgas-WKK mit Festbett-Gleichstrom-Vergasung (deutsche Übersetzung)

Autor:	Niels Jungbluth, ESU-services Ltd., Uster (siehe Kapitel 5)
Übersetzung	Simon Schmutz, ESU-services GmbH, Uster
Validierung	interne Validierung durch ESU-services
Letzte Änderungen:	2007

Danksagung

Wir möchten Willy Gemperle, Andreas Müller and Heinrich Gürber, Pyroforce Energietechnologie AG für die Informationen danken, welche sie im persönlichen Austausch zur Verfügung gestellt haben.

4.1 Einleitung

In diesem Teil werden die Sachbilanzdaten für die Wärme- und Stromproduktion mittels Gasmotor erarbeitet. Das Gas wird in einer Holzvergasungsanlage mit Festbett und trockener Rohgasreinigung hergestellt. Dabei werden verschiedene Typen von Holzschnitzel (Wald-, Alt- und Restholz) als Ausgangs-Biomasse eingesetzt. Als Hintergrunddaten dienen die ecoinvent-Datenbank (ecoinvent Centre 2006) sowie Sachbilanzdaten, welche im Rahmen der Biotreibstoff-Herstellung ermittelt wurden (Jungbluth et al. 2007a; Jungbluth et al. 2007b).

4.2 Eingesetzte Biomasse

Die Herstellung von Holzschnitzeln wurde in früheren Arbeiten untersucht (Werner et al. 2003). Die Bereitstellung von Holzabfällen wurde im Rahmen der Herstellung von Biotreibstoffen analysiert (Jungbluth et al. 2007a). Weitere Daten über die Produkteigenschaften und die Herstellung stammen aus den zitierten Quellen.

4.3 Festbett-Vergasung und Betrieb der WKK-Anlage

Tab. 4.1 zeigt die Kennzahlen der untersuchten Anlagen. Die von Pyroforce berechneten Effizienzwerte sind als theoretischer Wirkungsgrad im Betrieb zu verstehen, während die für die Sachbilanz angenommenen Werte auch Verluste während der Aufnahme und des Abschaltens des Betriebes berücksichtigen. Dies zeigt sich in den jeweiligen Unterschieden zwischen den theoretischen und den hier dargestellten Werten. Die berechneten Kapazitätsangaben für Wärme und Strom können ebenfalls tiefer ausfallen als die jeweiligen nominellen Produktionsmengen.

Tab. 4.1 Kennzahlen der 3 WKK-Anlagen

		Forest wood, Spiez	Waste wood, Nidwalden	Residual wood, Güssing
		CH	CH	AT
		a	a	a
softwood	kg atro	840'000	-	-
residual wood	kg atro	-	-	2'100'000
waste wood	kg atro	-	8'280'000	-
humidity	%	10%	10%	8%
transport distance, wood	km	50	10	0.2
transport distance, disposal	km	16	10	10
NOx	mg/Nm ³	500	380	500
waste gas	Nm ³ /h	550	5'640	1'690
operating time	h	7'000	7'500	7'000
total waste disposal	kg	34'033	164'350	45'670
ash content	kg	4.1%	2.0%	2.2%
waste gas	Nm ³ /kg atro	4.58	5.11	5.63
electricity, sold	kWh	840000	9300000	1940000
electricity, total	kWh	840000	9300000	2100000
heat production, sold	MJ	4788000	23940000	12348000
heat production, total	MJ	5292000	58860000	12348000
wood input, Hu	MJ	12768000	125856000	31920000
wood input, Hu, calculated	MJ	12472320	120341941	31180800
wood and RME input, Hu, calculated	MJ	12472320	122294941	32118240
wood input, Ho, calculated	MJ	17136000	166593600	42840000
energy output	MJ	8316000	92340000	19908000
capacity, input	kW	495	4'457	1'237
total efficiency	%	67%	77%	64%
efficiency, products	%	63%	48%	62%
electric efficiency	%	24%	28%	24%
heat efficiency	%	42%	49%	40%

4.3.1 Vergasung von Waldholz in Spiez

Fig. 4.1 zeigt schematisch die Holzvergasungs- und WKK-Anlage in Spiez.

Die Holzschnitzel werden mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 45% der Trockenmasse in Spiez angeliefert. Diese werden unter Einsatz von Prozesswärme vorgetrocknet. Für das Kennwertmodell sollte mit einem Holzinput in kg Trockenmasse gerechnet werden. Zusätzlich dazu wird der Feuchtigkeitsgehalt für die Berechnung des Transportgewichtes benötigt (Gewichts-% Wasser relativ zur Trockenmasse).

Die Holzschnitzel werden mit einem grossen LKW transportiert (95 m³ Kapazität und einer gesamten Nutzlast von 40t). Die Anlage wird unter Unterdruck betrieben, um CO-Emissionen zu vermeiden.

Als Gasreinigungsmittel wird Sorbalit eingesetzt, welches aus 30% Aktivkohle und 70% Kalk besteht. Nach der Verwendung wird es in einer Reaktordeponie entsorgt². Im Vergleich mit den anderen Anlagen ist der Verbrauch in Spiez grösser, weil die Wiederverwendung innerhalb der Anlage aus technischen Gründen nicht möglich ist.. Für eine neue Anlage kann hingegen ein tieferer Verbrauch angenommen werden.

² Englisch: sanitary landfill

Für die Reinigung der abgeschalteten Anlage von Holzgas wird Stickstoff eingesetzt. Dieser wird vor Ort produziert. Aus diesem Grund wird die Stickstoffherstellung mit der internen Stromproduktion verrechnet.

Stickoxide und Kohlenmonoxid werden aufgrund von gesetzlichen Vorschriften routinemässig gemessen.

Das Abgas-Kondensat der Anlage wird in einer speziellen Aufbereitungsanlage behandelt.³ Es besteht aus Kohlewasserstoffen wie Phenolen, enthält aber keine Schwermetalle. Das Kondensat wird in Kunststoffcontainern zur Aufbereitungsanlage transportiert. Nach dessen Neutralisierung wird der Schlamm (10%-40%) durch Sedimentation vom Abwasser getrennt. Zu diesem Zweck werden H_2O_2 , Fe_2SO_4 , $Ca(OH)_2$ und verschiedene Polymere in unbekannten Mengen eingesetzt werden. Bentonit wird zur Flockenbildung beigegeben. Energie muss hauptsächlich für das Pumpen und die Luftkompression aufgewendet werden. Die Schadstoffkonzentration im Abwasser nach dieser Aufbereitung liegt unter den gesetzlichen Grenzwerten für die Entsorgung in einer städtischen Aufbereitungsanlage.

Genauere Angaben für diese nass-oxidative Behandlung waren nicht erhältlich aufgrund des kleinen Anteils ($50 \text{ m}^3/\text{a}$) im Vergleich zur Gesamtkapazität der Aufbereitungsanlage ($12000 \text{ m}^3/\text{a}$). Gestützt auf die verfügbaren Angaben gehen wir darum hier von einer Behandlung der gesamten Abwassermenge in einer Abwasserreinigungsanlage aus, während 30% als Klärschlamm in einer Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt werden. Hier wird vom schlechtest möglichen Fall ausgegangen. Der in der Kehrichtverbrennung entsorgte Anteil sollte zu einer Senkung der Abwassermenge führen. Eine weitere worst-case-Annahme ist die Emission von 10 mg/l Phenol nach der Abwasserreinigungsanlage. Dies entspricht dem gesetzlichen Grenzwert in Österreich (Fürnsinn et al. 2005:65).

Die WKK-Anlage in Spiez befindet sich in einem Gebäude, in welchem vorher eine Ölkraftwerk betrieben wurde. Darum wird hier nur der von der neuen Nutzung verwendete Flächenanteil verwendet.

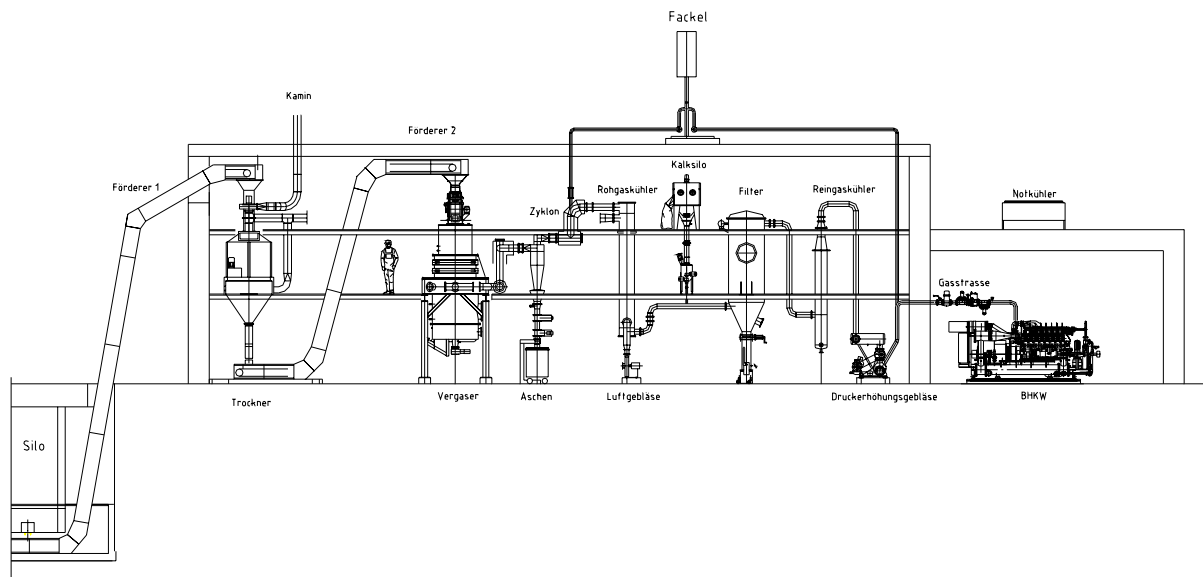


Fig. 4.1 Schematische Darstellung der Holzvergassungs- und WKK-Anlage in Spiez

³ SOVAG – Sonderabfallverwertungs AG in Rubigen, CH. Angaben wurden von Hr. Schären und Hr. Bühlmann in persönlicher Kommunikation zur Verfügung gestellt, 8.11.2006.

4.3.2 Vergasung von Restholz aus der Parkettherstellung in Güssing

Die Anlage in Güssing, Österreich, wird mit Restholz aus einem Parkettherstellungsbetrieb betrieben. Die Firma Pyroforce wird sicherstellen, dass die anfallende Asche in einer Reaktordeponie, und nicht auf Ackerflächen entsorgt wird. Dies wäre gesetzlich machbar, würde aber zu erheblich höheren Umweltbelastungen führen. Dies wird für die Ökobilanz in einer Szenariorechnung ausgewertet.

4.3.3 Vergasung von Holzabfällen in Nidwalden

Diese Anlage befindet sich im Planungsprozess. Zur Zeit bestehen nur für einen Teil der produzierten Wärme Nutzungsverträge. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass in Zukunft weitere Abnehmer gefunden werden und die Effizienz der Wärmenutzung damit erhöht werden kann.

Die gesamten aus der Nutzung von Holzabfällen entstehenden Schlacken- und Aschenabfälle müssen in der Reaktordeponie im 10 Kilometer entfernten Kohlwald entsorgt werden.

Es wird angenommen, dass in der Anlage eine selektive katalytische Reduktion (engl: SCR, „selective catalytic reduction“) zur Entfernung von NO_x eingesetzt wird. Dadurch werden NO_x -Emissionen vermindert. Die Berechnung für die Sachbilanzdaten erfolgt für diese Emissions-Reduktion von 500 mg/Nm^3 auf 380 mg/Nm^3 mittels eines Sachbilanz-Modells für die katalytische SCR. Der Verbrauch von Harnstoff wird durch dieses Eingabe-Modul indirekt berücksichtigt.

4.3.4 Zusammenfassung der Sachbilanzdaten für den Betrieb während einem Jahr

Tab. 4.2 zeigt die für die verschiedenen Anlagen ermittelten Kennzahlen. Alle Werte beziehen sich auf den Betrieb für ein Jahr.

Emissionsdaten für Schwermetalle aus der Vergasung von Abfallholz waren aus einem Versuchsexperiment erhältlich (Marimon et al. 2007). Diese werden für die Sachbilanz des Prozesses mit Holzabfällen verwendet.

Im Gegensatz zur Holzverbrennung verursacht die Verbrennung von synthetischen Gasen viel tiefere Partikelemissionen. Für die Abgase des Gasmotors wird kein spezifischer Partikelfilter eingesetzt. Partikel werden bereits während der Gasreinigung mit Raps-Methylester (RME) entfernt. Der Anlagenbauer gibt die Staubemissionen mit 2 mg/Nm^3 für alle 3 Anlagen an. Wegen der fehlenden Daten wird angenommen, dass alle Partikel zur kleinsten und gefährlichsten Fraktion gehören. Die tiefen Partikelemissionen werden auch in der Literatur erwähnt. Marimon *et al.* (2007) haben einen Wert von 0.000001 mg/Nm^3 gemessen.

Für die Gasreinigung wird Raps-Methylester (RME) eingesetzt. Nach dem Reinigungsprozess wird es dem Vergaser zugegeben und trägt so zum Energieinput des Gesamtprozess' bei. Der Einsatz von Hexan in der Herstellung von RME wird berücksichtigt, indem ein Teil der Verbrennungs-Emissionen von RME als fossil betrachtet werden. Sachbilanzdaten für RME wurden in einem anderen Projekt ermittelt (Jungbluth et al. 2007a).

Sorbalit, das als Gasreinigungsmittel eingesetzt wird, wird zusammen mit der Asche entsorgt. Weil für die Entsorgung von dessen Bestandteile Kohle und Kalk keine spezifischen Daten vorhanden sind, werden die gleichen Umweltauswirkungen wie für Asche angenommen, was einer Überschätzung entspricht.

Tab. 4.2 Betrieb der Holzvergasungs- und WKK-Anlagen für ein Jahr

		Forest wood, Spiez	Waste wood, Nidwalden	Residual wood, Güssing
		CH	CH	AT
		2007	2007	2007
		a	a	a
lubricating oil, at plant	kg	533	6'350	1'470
sorbalit (30% active carbon, 70% lime)	kg	5'000	52'500	12'500
zinc for coating, at regional storage	kg	1	2	1
kraft paper, unbleached, at plant	kg	50	200	50
rape methyl ester, at regional storage	kg	-	52'500	25'200
NOx retained, in SCR	kg	-	5'076	-
disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	kg	533	6'350	1'470
disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	kg	4'000	75'000	29'800
disposal, filter dust, wood, to residual material landfill	kg	12'500	83'000	14'400
disposal, slag, wood, to residual material landfill	kg	7'000	-	-
treatment, condensate	m3	10	-	-
wood chips, softwood, u=140%, at forest	m3	4'970	-	-
wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	m3	-	-	12'426
waste wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	m3	-	43'902	-
transport, lorry 40t	tkm	45'232	101'259	3'696
Carbon dioxide, biogenic	kg	1'524'600	15'169'149	3'879'156
Carbon dioxide, fossil	kg	-	7'831	3'759
Carbon monoxide, biogenic	kg	2'503	27'495	7'690
Nitrogen oxides	kg	1'925	16'074	5'915
Particulates, < 2.5 um	kg	8	85	24
Cadmium	kg		0.80	
Titanium	kg		0.80	
Mercury	kg		0.68	
Lead	kg		14.4	
Hydrogen fluoride	kg		313.0	
Heat, waste	MJ	1.4E+7	1.4E+8	3.7E+7

4.3.5 Sachbilanzdaten

Tab. 4.3 zeigt die Sachbilanzdaten und Datenqualitäts-Indikatoren für den Betrieb von verschiedenen Festbett-Vergasern für Wärme- und Stromproduktion. Der vereinfachte Ansatz mit einer Herkunftsmatrix wird zur Berechnung der Standardabweichung verwendet. Eine Beschreibung des EcoSpold Datenformats befindet sich im Annex "Description of the electronic data format according to ISO 14048" dieses Berichts. Dort werden die verschiedenen in diesen Tabellen verwendeten Felder und Beschriftungen erklärt.

Die Emissionsdaten basieren teilweise auf die Sachbilanz für Erdgasverbrennung mit ähnlicher Technologie (Faist Emmenegger et al. 2003).

Die durchschnittlichen Werte für europäischen Anlagen (RER) sind als nicht-gewichtete Mittelwerte der Daten für die 3 einzelnen Anlagen berechnet.

Tab. 4.3 Sachbilanzdaten des Betriebs der Vergasungs- und WKK-Anlagen

	Name	Location	Infrastructure	Unit	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	forest wood chips, gasified in cogen, fixed bed	waste wood chips, gasified in cogen, fixed bed	residual wood chips, gasified in cogen, fixed bed	Uncertainty Standard Deviation 95%	General Comment
					RER	CH	CH	AT		
					0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ		
technosphere	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	4.75E-5	4.27E-5	5.28E-5	4.71E-5	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	2.89E-4	2.81E-4	3.05E-4	2.81E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Sorbalit: CaO (70%), active carbon (30%) and chemicals
	charcoal, at plant	GLO	0	kg	1.24E-4	1.20E-4	1.31E-4	1.20E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Sorbalit: CaO (70%), active carbon (30%) and chemicals
	zinc for coating, at regional storage	RER	0	kg	4.30E-8	8.02E-8	1.66E-8	3.21E-8	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); catalyst, composition not known
	kraft paper, unbleached, at plant	RER	0	kg	2.42E-6	4.01E-6	1.66E-6	1.60E-6	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); cleaning paper
infrastructure	rape methyl ester, at regional storage	CH	0	kg	4.15E-4	0	4.36E-4	8.08E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); gas cleaning
	cogen unit, wood gasification, fixed bed	RER	1	unit	4.84E-10	0	0	0	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	cogen unit, wood gasification, fixed bed, forest wood	CH	1	unit	0	1.00E-9	0	0	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	cogen unit, wood gasification, fixed bed, waste wood	CH	1	unit	0	0	1.04E-10	0	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	cogen unit, wood gasification, fixed bed, residual wood	AT	1	unit	0	0	0	4.01E-10	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
NOx reduction	NOx retained, in SCR	GLO	0	kg	1.41E-5	0	4.22E-5	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); removal of NOx from 500 mg/Nm3 to actual figure
disposal	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	4.75E-5	4.27E-5	5.28E-5	4.71E-5	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); calculation with lubricating oil
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	6.33E-4	3.21E-4	6.23E-4	9.56E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); cyclone ash
	disposal, filter dust, wood, to residual material landfill	CH	0	kg	7.18E-4	1.00E-3	6.90E-4	4.62E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); filter ash
	disposal, slag, wood, to residual material landfill	CH	0	kg	1.87E-4	5.61E-4	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); gasification ash
	treatment, condensate from light oil boiler, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	2.67E-7	8.02E-7	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); condensate, pre-treatment by flotation
wood	disposal, sludge, gas washing water, wood, to municipal incineration	CH	0	kg	8.02E-5	2.41E-4	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); condensate, rough assumption for 30% sludge burned after pre-treatment
	wood chips, softwood, u=140%, at forest	RER	0	m3	1.33E-4	3.99E-4	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	RER	0	m3	1.33E-4	0	0	3.99E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	waste wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	CH	0	m3	1.22E-4	0	3.65E-4	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
										(1,1,1,1,1,na); transport of wood, waste and materials
transport	transport, lorry 40t	CH	0	tkm	1.53E-3	3.63E-3	8.41E-4	1.19E-4	1 2.00	
air emissions	Acenaphthene	-	-	kg	1.75E-12	1.72E-12	1.78E-12	1.78E-12	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Acetaldehyde	-	-	kg	1.77E-9	1.75E-9	1.80E-9	1.80E-9	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Acetic acid	-	-	kg	2.66E-7	2.62E-7	2.70E-7	2.70E-7	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Benzene	-	-	kg	2.06E-9	2.03E-9	2.09E-9	2.09E-9	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Benzo(a)pyrene	-	-	kg	1.18E-12	1.16E-12	1.19E-12	1.19E-12	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Butane	-	-	kg	2.06E-6	2.03E-6	2.09E-6	2.09E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	1.24E-1	1.22E-1	1.26E-1	1.24E-1	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Calculation
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	6.19E-5	0	6.51E-5	1.21E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Calculation for fossil carbon in rape methyl ether
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	2.25E-4	2.01E-4	2.28E-4	2.47E-4	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	2.22E-6	2.18E-6	2.25E-6	2.25E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	-	-	kg	1.99E-15	6.33E-17	5.98E-15	6.53E-17	1 3.05	(2,3,1,1,1,5); Literature data wood gasification
	Ethane	-	-	kg	3.11E-6	3.08E-6	3.15E-6	3.15E-6	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Formaldehyde	-	-	kg	7.32E-8	7.20E-8	7.43E-8	7.43E-8	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Hexane	-	-	kg	1.75E-6	1.72E-6	1.78E-6	1.78E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Mercury	-	-	kg	6.66E-11	6.55E-11	6.75E-11	6.75E-11	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Methane, biogenic	-	-	kg	3.77E-5	3.71E-5	3.83E-5	3.83E-5	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Nitrogen oxides	-	-	kg	1.59E-4	1.54E-4	1.34E-4	1.90E-4	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	-	kg	1.77E-8	1.75E-8	1.80E-8	1.80E-8	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Particulates, < 2.5 µm	-	-	kg	6.93E-7	6.17E-7	7.03E-7	7.59E-7	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Personal communication
	Pentane	-	-	kg	2.66E-6	2.62E-6	2.70E-6	2.70E-6	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Propane	-	-	kg	1.58E-6	1.55E-6	1.60E-6	1.60E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Propionic acid	-	-	kg	3.55E-8	3.49E-8	3.60E-8	3.60E-8	1 1.56	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Sulfur dioxide	-	-	kg	1.11E-6	1.09E-6	1.13E-6	1.13E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Toluene	-	-	kg	3.32E-9	3.27E-9	3.38E-9	3.38E-9	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	0	0	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Specified for individual substances
	Cadmium	-	-	kg	2.20E-9	0	6.61E-9	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
	Titanium	-	-	kg	2.20E-9	0	6.61E-9	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
	Mercury	-	-	kg	1.87E-9	0	5.62E-9	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
	Lead	-	-	kg	3.98E-8	0	1.20E-7	0	1 3.05	(2,3,1,1,1,5); Literature, other heavy metals
	Hydrogen fluoride	-	-	kg	8.67E-7	0	2.60E-6	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
water emission	Heat, waste	-	-	MJ	1.15E+0	1.13E+0	1.13E+0	1.19E+0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Calculation for higher heating value of biomass input minus electricity production
	Phenol	-	-	kg	2.67E-9	8.02E-9	0	0	1 1.50	(5,na,1,1,1,na); Legal limit for effluents in Austria as maximum

4.4 Anlageninfrastruktur

Tab. 4.4 zeigt die Sachbilanzdaten der WKK-Anlagen für Holzgas aus Festbett-Vergasung. In den Angaben für die Anlage in Spiez wird die Montage des Gebäudes nicht berücksichtigt. Das Gebäude wurde vor der CHP-Anlage erstellt und entsprechend umgebaut. Für die Modellierung von neuen Anlagen sollte die Infrastruktur wie für Güssing modelliert als Grundannahme verwendet werden.

Die Lebensdauer des Gasmotors wird auf 120'000 Stunden geschätzt, was etwa 16 Jahren entspricht. Die Lebensdauern der CHP-Bestandteile werden vom Betreiber auf 20-30 Jahre geschätzt, wir verwenden deshalb 20 Jahre als Annahme. Das Gebäude kann während 80 Jahren genutzt werden (Bauer 2003; Jungbluth et al. 2002). Alle Daten werden für eine Betriebsdauer von 80 Jahren berechnet.

Tab. 4.4 Sachbilanzdaten der Erstellung der WKK-Anlagen

	Name	Location	InfrastructurePr	Unit	cogen unit, wood gasification, fixed bed	cogen unit, wood gasification, fixed bed, forest wood	cogen unit, wood gasification, fixed bed, waste wood	cogen unit, wood gasification, fixed bed, residual wood	Uncertainty/Typ StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit				RER 1 unit	CH 1 unit	CH 1 unit	AT 1 unit		
technosphere	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	1.57E+4	1.20E+4	8.09E+4	6.00E+3	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Building
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.77E+4	5.00E+3	4.30E+4	4.12E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Building
	aluminium alloy, AlMg3, at plant	RER	0	kg	8.32E-1	-	-	3.09E+0	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); 120 m2, with 88 mm, specific weight 270 kg/m3
	refractory, fireclay, packed, at plant	DE	0	kg	5.39E+2	8.00E+2	-	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	clinker, at plant	CH	0	kg	1.04E+3	-	1.39E+4	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	flat glass, uncoated, at plant	RER	0	kg	3.83E+2	-	5.12E+3	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	industrial machine, heavy, unspecified, at plant	RER	1	kg	1.18E+5	9.40E+4	2.06E+5	1.44E+5	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); materials for the WKK components, 4 times for 80 years of operation
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	1.33E+2	1.00E+2	7.00E+2	5.05E+1	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	glued laminated timber, outdoor use, at plant	RER	0	m3	4.80E+0	-	6.42E+1	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	building, hall	CH	1	m2	1.35E+2	2.00E+2	-	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Assumption for existing building
	section bar rolling, steel	RER	0	kg	1.77E+4	5.00E+3	4.30E+4	4.12E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Assumption for existing building
	zinc coating, pieces	RER	0	m2	3.39E-1	-	-	1.26E+0	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Assumption for existing building
	transport, lorry 32t	RER	0	tkm	4.49E+4	3.32E+4	1.92E+5	3.03E+4	1 1.62	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100 km
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	9.18E+4	6.71E+4	2.09E+5	1.15E+5	1 1.62	(4,5,na,na,na,na); Standard distances
	disposal, building, brick, to sorting plant	CH	0	kg	1.04E+3	8.00E+2	-	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
	disposal, building, glass sheet, to sorting plant	CH	0	kg	3.83E+2	-	5.12E+3	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
	disposal, building, reinforced concrete, to sorting plant	CH	0	kg	2.93E+5	2.20E+5	1.54E+6	1.11E+5	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	CH	0	kg	3.34E+4	1.70E+4	1.24E+5	4.72E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
resource, land	Occupation, industrial area, built up	-	-	m2a	2.30E+4	1.60E+4	9.10E+4	2.00E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); 80a occupation
	Occupation, industrial area, vegetation	-	-	m2a	1.62E+4	-	1.58E+5	1.60E+4	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); 80a occupation
	Transformation, from unknown	-	-	m2	4.89E+2	2.00E+2	3.12E+3	4.50E+2	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); Company information
	Transformation, to industrial area, built up	-	-	m2	2.87E+2	2.00E+2	1.14E+3	2.50E+2	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); Company information
	Transformation, to industrial area, vegetation	-	-	m2	2.02E+2	-	1.98E+3	2.00E+2	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); Company information
	use factor per MJ wood input			unit	4.84E-10	1.00E-9	1.04E-10	4.01E-10		
	operation time			a	80	80	80	80		
	operating hours			h	7'167	7'000	7'500	7'000		
	total weight			kg	4.49E+5	3.32E+5	1.92E+6	3.03E+5		
	kilogram weight per MJ input			kg	2.17E-4	3.33E-4	1.98E-4	1.21E-4		
	input capacity, calculated			kW	1'000	495	4'457	1'237		

4.5 Wärme- und Stromproduktion

Tab. 4.5 zeigt die Sachbilanzdaten der Wärme- und Stromproduktion mit Holzgas aus Festbett-Vergasung. Die Allokation basiert auf dem Exergie-Inhalt der Produkte. Hier nehmen wir an, dass die Wärme mit einer Temperatur von 90° in ein Fernwärmenetz eingespeisen wird. Die Exergie der Wärme entspricht 0.335 pro MJ Wärme (Bauer 2003). Die Exergie von Strom entspricht 1.

Tab. 4.5 Sachbilanzdaten für die Wärme- und Stromproduktion mit Holzgas aus Festbett-Vergasung, Allokation nach Exergie

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	wood chips, gasified in cogen, fixed bed, allocation exergy											
				RER	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
				0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ
technosphere	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	RER	0 MJ	1.00E+0	69.4	30.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	forest wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0	0	0	1.00E+0	65.3	34.7	0	0	0	0	0	0
	waste wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	80.7	19.3	0	0	0
	residual wood chips, gasified in cogen, fixed bed	AT	0 MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	62.8	37.2
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, allocation exergy	RER	0 kWh	6.89E-2	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, forest wood, allocation exergy	CH	0 kWh	-	-	-	6.73E-2	100	-	-	-	-	-	-	-
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, waste wood, allocation exergy	CH	0 kWh	-	-	-	-	-	-	7.73E-2	100	-	-	-	-
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, residual wood, allocation exergy	AT	0 kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.22E-2	100	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, allocation exergy	RER	0 MJ	3.26E-1	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, forest wood, allocation exergy	CH	0 MJ	-	-	-	3.84E-1	-	100	-	-	-	-	-	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, waste wood, allocation exergy	CH	0 MJ	-	-	-	-	-	-	1.99E-1	-	100	-	-	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, residual wood, allocation exergy	AT	0 MJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.96E-1	-	100
	efficiency, products			57%			63%			48%			62%		
	exergy, heat	0.335		0.109			0.129			0.067			0.133		
	exergy, electricity			0.248			0.242			0.278			0.224		
	total, exergy			0.358			0.371			0.345			0.357		

4.6 Systemerweiterung pro kWh Produktion

Tab. 4.6 zeigt die Sachbilanzdaten für die Berechnung einer Systemerweiterung gemäss der Vorgaben für das *naturemade star* Kriterium. Die Modellierung für den Vergleich mit der *naturemade star* Grenzwert geht von folgender Annahme aus. Zuerst wird berechnet, wie viel Holz pro kWh in das Netz gelieferter Strom gebraucht wird. Im durchschnittlichen Fall werden ca. 14.5 MJ Holzinput benötigt, um eine kWh Strom zu erzeugen. Die Wärmemenge, welche von aussenstehenden Kunden gebraucht wird, ist mit 50% eines modernen Gaskraftwerk gutgeschrieben. Deshalb werden die Umweltauswirkungen, welche 50% der Wärmebereitstellung entsprechen, von der Sachbilanz abgezogen.

Tab. 4.6 Sachbilanzdaten de Stromproduktion mit Holzgas aus Festbett-Vergasung, Systemerweiterung

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	electricity, at cogen, fixed bed gasification, system expansion				UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
				RER	CH	CH	AT			
				0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh			
technosphere	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	RER	0 MJ	1.45E+1	0	0	0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	forest wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0	1.48E+1	0	0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	waste wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0	0	1.29E+1	0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	residual wood chips, gasified in cogen, fixed bed	AT	0 MJ	0	0	0	1.61E+1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	heat, natural gas, at boiler atm. low-NOx condensing non-modulating <100kW	RER	0 MJ	-2.37E+0	-2.85E+0	-1.29E+0	-3.18E+0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); credit for 50% of the heat sold outside the plant

4.7 EcoSpold Metadaten

Tab. 4.7 zeigt die EcoSpold Metadaten aufgezeichnet für die 3 hier untersuchten Prozessschritte

Tab. 4.7 EcoSpold Metadaten der untersuchten Prozessschritte für Holz-Vergasung und Stromproduktion

ReferenceFunction	Name	cogen unit, wood gasification, fixed bed	electricity, at cogen, fixed bed gasification, system expansion	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	wood chips, gasified in cogen, fixed bed, allocation exergy
Geography	Location	RER	RER	RER	RER
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	1	0	0	0
ReferenceFunction	Unit	unit	kWh	MJ	MJ
DataSetInformation	Type	1	1	1	5
	Version	1.0	1.0	1.0	1.0
	energyValues	0	0	0	0
	LanguageCode	en	en	en	en
	LocalLanguageCode	de	de	de	de
DataEntryBy	Person	41	41	41	41
	QualityNetwork	1	1	1	1
ReferenceFunction	DataSetRelatesToProduct	1	1	1	1
	IncludedProcesses	The inventory includes the materials for all components of the cogen unit for an operation time of 80 years, disposal and transport of materials.	Amount of wood used for gasification and credit for sold heat.	Input of wood, auxiliary materials, infrastructure, transports of wood, materials and wastes. Disposal of wastes. Air emission from combustion of cleaned gas from wood gasification.	Input of wood, auxiliary materials, infrastructure, transports of wood, materials and wastes. Disposal of wastes. Air emission from combustion of cleaned gas from wood gasification.
	Amount	1	1	1	1
	LocalName	Holzgas-WKK-Anlage, Festbett-Gleichstrom-Vergasung, trockene Gasreinigung	Elektrizität, ab Holzgas-WKK, Festbett-Vergasung, Systemerweiterung	Holzschnitzel, in WKK, Festbett-Gleichstrom-Vergasung, trockene Gasreinigung	Holzschnitzel, in WKK, Festbett-Gleichstrom-Vergasung, trockene Gasreinigung,
	Synonyms				
	GeneralComment	Plant infrastructure mix of different plants. The WKK components have been installed in a separate building. The operation time is 80 years with a firing capacity of 1000 kW.	Calculation for the electricity production. System extension is used for the amount of heat. A credit of 50% of the environmental impacts caused by a modern natural gas boiler that would instead provide an amount of heat equivalent to the heat sold by the cogeneration plant is subtracted.	The data are investigated for the gasification of wood chips in a fixed bed gasifier. The wood gas is burned in a cogeneration unit for production of heat and electricity.	The data are investigated for the gasification of wood chips in a fixed bed gasifier. The wood gas is burned in a cogeneration unit for production of heat and electricity. Allocation by exergy. Allocated co-products are heat and electricity.
	InfrastructureIncluded	1	1	1	1
	Category	wood energy	wood energy	wood energy	wood energy
	SubCategory	cogeneration	cogeneration	cogeneration	cogeneration
	LocalCategory	Holzenergie	Holzenergie	Holzenergie	Holzenergie
	LocalSubCategory	WärmeKraftKopplung (WKK)	WärmeKraftKopplung (WKK)	WärmeKraftKopplung (WKK)	WärmeKraftKopplung (WKK)
	Formula				
	StatisticalClassification				
	CASNumber				
TimePeriod	StartDate	2005	2005	2005	2005
	EndDate	2007	2007	2007	2007
	DataValidForEntirePeriod	1	1	1	1
	OtherPeriodText				
Geography	Text	Different plants	Different plants	Different plants	Different plants
Technology	Text	Average technology available on market. Wood gas cogeneration unit with a fixed bed gasification and a dry gas cleaning produced by PYROFORCE.	Calculation for comparison with the naturemade star threshold.	Wood gas cogeneration unit with a fixed bed gasification and a dry gas cleaning produced by PYROFORCE.	Wood gas cogeneration unit with a fixed bed gasification and a dry gas cleaning produced by PYROFORCE.
Representative	Percent	0	0	0	0
	ProductionVolume	unknown			
	SamplingProcedure	Manufacturer information.	Manufacturer information.	Manufacturer information and literature data.	Manufacturer information and literature data.
	Extrapolations	none	none	Data for many air emissions are extrapolated with gas combustion.	Data for many air emissions are extrapolated with gas combustion.
	UncertaintyAdjustments	none	none	none	none
DataGeneratorAn	Person	44	44	44	44
	DataPublishedIn	2	2	2	2
	ReferenceToPublishedSource	99	99	99	99
	Copyright	1	1	1	1
	AccessRestrictedTo	0	0	0	0
	CompanyCode				
	CountryCode				
	PageNumbers	fixed bed gasifier	fixed bed gasifier	fixed bed gasifier	fixed bed gasifier

5 Life Cycle Inventory of wood gas cogeneration with fixed bed gasifier

Author: Niels Jungbluth, ESU-services Ltd., Uster
Validation: internal validation by ESU-services
Last changes: 2007

Acknowledgement

We thank Willy Gemperle, Andreas Müller and Heinrich Gürber, Pyroforce Energietechnologie AG for the information provided in a personal communication.

5.1 Introduction

This part of the report elaborates the unit process raw data of heat and electricity production with a gas motor. The gas is supplied from a wood gasification unit with a fixed bed and dry raw-gas-cleaning. Different types of wood chips (forest, residual and waste wood) are used as an input to the gasification. The ecoinvent database (ecoinvent Centre 2006) and life cycle inventory data investigated in the context of biofuel production (Jungbluth et al. 2007a; Jungbluth et al. 2007b) are used as background data.

5.2 Characterisation of energy carrier

The production of wood chips was investigated in a previous project (Werner et al. 2003). The provision of waste wood is investigated in the context of biofuel production (Jungbluth et al. 2007a). Further data about the product properties and the production can be found in the cited reports.

5.3 Fixed bed gasification and operation of the combined heat and power plant

Tab. 5.1 shows some key data of the investigated plants. The plant efficiency calculated by Pyroforce describes the theoretical efficiency in operation mode, while the data assumed for the life cycle inventory take into account losses during start up and shut down operations. This explains the differences between the theoretical figures and the figures shown here. Also the calculated capacities for heat and electricity might be lower than the nominal output of the plant.

Tab. 5.1 Key data of the three cogeneration plants

		Forest wood, Spiez	Waste wood, Nidwalden	Residual wood, Güssing
		CH	CH	AT
		a	a	a
softwood	kg atro	840'000	-	-
residual wood	kg atro	-	-	2'100'000
waste wood	kg atro	-	8'280'000	-
humidity	%	10%	10%	8%
transport distance, wood	km	50	10	0.2
transport distance, disposal	km	16	10	10
NOx	mg/Nm ³	500	380	500
waste gas	Nm ³ /h	550	5'640	1'690
operating time	h	7'000	7'500	7'000
total waste disposal	kg	34'033	164'350	45'670
ash content	kg	4.1%	2.0%	2.2%
waste gas	Nm ³ /kg atro	4.58	5.11	5.63
electricity, sold	kWh	840000	9300000	1940000
electricity, total	kWh	840000	9300000	2100000
heat production, sold	MJ	4788000	23940000	12348000
heat production, total	MJ	5292000	58860000	12348000
wood input, Hu	MJ	12768000	125856000	31920000
wood input, Hu, calculated	MJ	12472320	120341941	31180800
wood and RME input, Hu, calculated	MJ	12472320	122294941	32118240
wood input, Ho, calculated	MJ	17136000	166593600	42840000
energy output	MJ	8316000	92340000	19908000
capacity, input	kW	495	4'457	1'237
total efficiency	%	67%	77%	64%
efficiency, products	%	63%	48%	62%
electric efficiency	%	24%	28%	24%
heat efficiency	%	42%	49%	40%

5.3.1 Gasification of forest wood in Spiez

Fig. 5.1 shows a schematic description of the wood gasification and cogeneration plant in Spiez.

The wood chips in Spiez are delivered with a humidity of 45% atro. They are pre-dried in the plant with heat from the process. For the key parameter model the wood input in kg atro (1 kg dry wood) should be asked for. Additionally the humidity is necessary to calculate the weight of transported wood (weight percent water in relation to dry mass).

Wood chips are transported with large truck with 95 m³ capacity and a total pay-load of 40t.

The whole plant is operated with depression in order to avoid CO emissions.

Sorbalit is used as a gas cleaning agent. It contains 30% of active carbon and 70% of quicklime. It is deposited in a sanitary landfill.⁴ In Spiez the use is higher, because it is not possible to reuse it for technical reasons. For a new plant a lower specific consumption can be assumed.

Nitrogen is used for the cleaning of the plant from wood gas in periods of shut down operation. It is produced on site. Thus, its production is taken into account with the internal electricity production.

⁴ Reaktordeponie in German.

Nitrogen oxides and carbon monoxide are measured on a regular basis due to legal requirements.

The condensate from the plant is treated in a specialized treatment unit.⁵ It contains hydrocarbons, e.g. phenol, but no heavy metals. The condensate is transported to the treatment unit in plastic containers. It is neutralized and sludge (10%-40%) is separated by sedimentation from the effluent. Therefore H_2O_2 , Fe_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and polymers are used in unknown amounts. Bentonit is used for flocculation. Energy is used mainly for pumping and air compression. The concentration of pollutants in the effluents is below the legal limits for discharge to a municipal treatment plant after this pre-treatment.

Detailed data for this wet-oxidative treatment were not available as this fraction ($50 \text{ m}^3/\text{a}$) is only small compared to the total capacity ($12000 \text{ m}^3/\text{a}$) of the treatment unit. We assume based on the available information a treatment of the full amount of effluent in a wastewater treatment plant and the incineration of 30% as sludge in a waste incineration plant. This is a worst-case assumption, as actually the share going to incineration should reduce the amount going to the wastewater treatment plant. As a worst case assumption it is further assumed that 10 mg/l phenol are emitted after the wastewater treatment plant. This equals the legal limit in Austria (Fürnsinn et al. 2005:65).

The cogeneration unit in Spiez is installed in a building that formerly was used for an oil power plant. Thus we only consider the amount of building space necessary for the new usage.

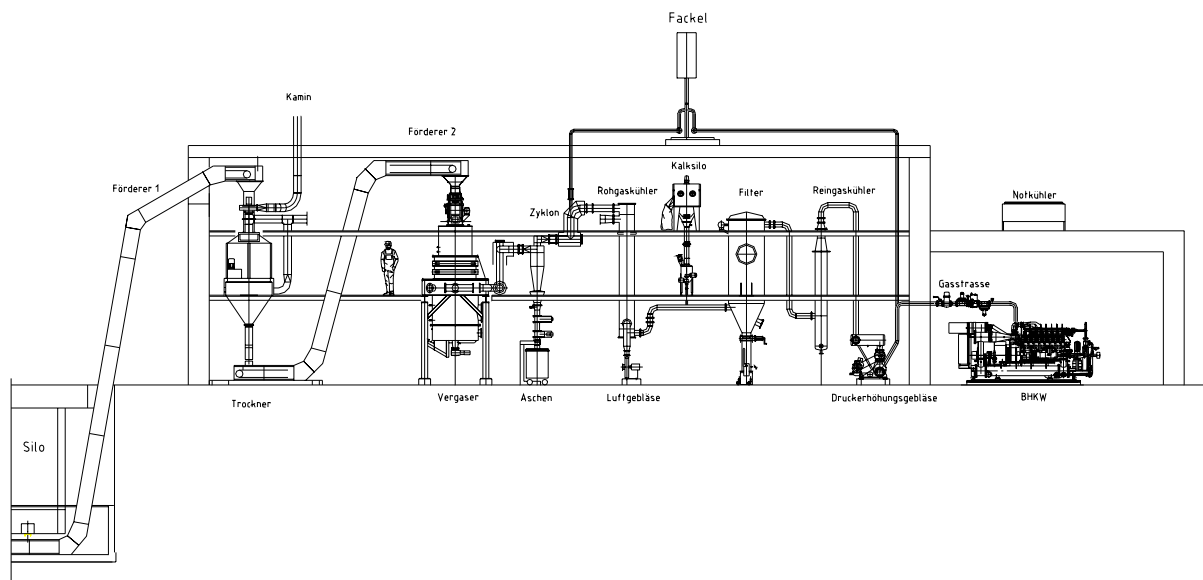


Fig. 5.1 Schematic description of the wood gasification and cogeneration plant in Spiez

5.3.2 Gasification of residual wood from parquet manufacturing in Güssing

The plant in Güssing, Austria operates with residual wood from a parquet-manufacturing unit. The company Pyroforce will ensure that ashes are disposed of in a sanitary landfill and not on agricultural land. The land farming might be possible according to the legislations in Austria, but it would cause considerable higher environmental impacts if it is evaluated in the life cycle assessment.

⁵ SOVAG – Sonderabfallverwertungs AG in Rubigen, CH. Information has been provided in a personal communication by Mr. Schären and Mr. Bühlmann, 8.11.2006.

5.3.3 Gasification of waste wood in Nidwalden

The plant is in the planning process. At present contracts with consumers are signed only for a part of the heat produced. Thus the actual use of heat is quite low. But, it can be expected that further consumers of heat can be found and thus the efficiency of heat usage will increase in the future.

All slag and ashes from the use of waste wood must be deposited in the sanitary landfills in Kohlwald, which is about 10 km away.

It is assumed that a catalytic SCR (Selective Catalytic Reduction) removal for NO_x is used in the plant. This decreases NO_x emissions from 500 mg/Nm^3 to 380 mg/Nm^3 . For the life cycle inventory the reduction of NO_x from 500 mg/Nm^3 to 380 mg/Nm^3 is calculated with an inventory model for SCR catalytic NO_x reduction. The consumption of urea (6 t/a) is indirectly considered with this input module.

5.3.4 Summary of key data for one year of operation

Tab. 5.2 shows the key data investigated for the different plants. All data are shown for one year of operation.

Emission data of heavy metals from waste wood gasification were available from an experimental trial (Marimon et al. 2007). They are used for the inventory of process using waste wood.

In contrast of power plants burning wood, the combustion of synthesis gases causes much lower emissions of particles. There is no specific particle filter after the gas motor. Particles are already removed during the raw gas cleaning with rape methyl ether. The plant constructor reports the emission with 2 mg/Nm^3 for all three plants. Due to lack of specific data it is assumed that all particles are of the smallest and most hazardous fraction. The very small emission of particles is also reported in literature. Marimon *et al.* (2007) measured a figure of 0.000001 mg/Nm^3 .

Rape methyl ether (RME) is used for the gas cleaning. Afterwards it is put to the gasifier and thus contributes to the energy input of the process. With regard to the emissions from combustion it is taken into account that a part of RME carbon has fossil origin due to the use of hexane in the production process. Life cycle inventory data of RME are investigated in a separate project (Jungbluth et al. 2007a).

Sorbalit, which is used as a gas-cleaning agent, is disposed of together with the ashes. As no specific data are available for the disposal of the ingredients charcoal and lime, it is assumed that the environmental impacts equal the disposal of the ashes, which is an overestimation.

Tab. 5.2 Operation of the wood gasification and cogeneration units for one year

		Forest wood, Spiez	Waste wood, Nidwalden	Residual wood, Güssing
		CH	CH	AT
		2007	2007	2007
		a	a	a
lubricating oil, at plant	kg	533	6'350	1'470
sorbalit (30% active carbon, 70% lime)	kg	5'000	52'500	12'500
zinc for coating, at regional storage	kg	1	2	1
kraft paper, unbleached, at plant	kg	50	200	50
rape methyl ester, at regional storage	kg	-	52'500	25'200
NOx retained, in SCR	kg	-	5'076	-
disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	kg	533	6'350	1'470
disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	kg	4'000	75'000	29'800
disposal, filter dust, wood, to residual material landfill	kg	12'500	83'000	14'400
disposal, slag, wood, to residual material landfill	kg	7'000	-	-
treatment, condensate	m3	10	-	-
wood chips, softwood, u=140%, at forest	m3	4'970	-	-
wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	m3	-	-	12'426
waste wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	m3	-	43'902	-
transport, lorry 40t	tkm	45'232	101'259	3'696
Carbon dioxide, biogenic	kg	1'524'600	15'169'149	3'879'156
Carbon dioxide, fossil	kg	-	7'831	3'759
Carbon monoxide, biogenic	kg	2'503	27'495	7'690
Nitrogen oxides	kg	1'925	16'074	5'915
Particulates, < 2.5 um	kg	8	85	24
Cadmium	kg		0.80	
Titanium	kg		0.80	
Mercury	kg		0.68	
Lead	kg		14.4	
Hydrogen fluoride	kg		313.0	
Heat, waste	MJ	1.4E+7	1.4E+8	3.7E+7

5.3.5 Unit process raw data

Tab. 5.3 shows the unit process raw data and data quality indicators of the operation of different fixed bed gasifier for heat and electricity production. The simplified approach with a pedigree matrix is used for calculating the standard deviation. A description of the EcoSpold data format can be found in the annexe "Description of the electronic data format according to ISO 14048" of this report. There we explain the meaning of different fields and labels used in these tables.

The data for emissions are partly based on the inventory provided of natural gas combustion with a similar technology (Faist Emmenegger et al. 2003).

The average data of the European (RER) facility are calculated as a non-weighted average of the data for the three single plants.

Tab. 5.3 Unit process raw data of the operation of the wood gasification and cogeneration units

	Name	Location	Infrastructure	Unit	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	forest wood chips, gasified in cogen, fixed bed	waste wood chips, gasified in cogen, fixed bed	residual wood chips, gasified in cogen, fixed bed	UncertaintyTy Standard Devi along95%	GeneralComment
					RER	CH	CH	AT		
					0 MJ	0 MJ	0 MJ	0 MJ		
technosphere	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	4.75E-5	4.27E-5	5.28E-5	4.71E-5	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	lime, hydrated, packed, at plant	CH	0	kg	2.89E-4	2.81E-4	3.05E-4	2.81E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Sorbalit: CaO (70%), active carbon (30%) and chemicals
	charcoal, at plant	GLO	0	kg	1.24E-4	1.20E-4	1.31E-4	1.20E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Sorbalit: CaO (70%), active carbon (30%) and chemicals
	zinc for coating, at regional storage	RER	0	kg	4.30E-8	8.02E-8	1.66E-8	3.21E-8	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); catalyst, composition not known
	kraft paper, unbleached, at plant	RER	0	kg	2.42E-6	4.01E-6	1.66E-6	1.60E-6	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); cleaning paper
infrastructure	rape methyl ester, at regional storage	CH	0	kg	4.15E-4	0	4.36E-4	8.08E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); gas cleaning
	cogen unit, wood gasification, fixed bed	RER	1	unit	4.84E-10	0	0	0	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	cogen unit, wood gasification, fixed bed, forest wood	CH	1	unit	0	1.00E-9	0	0	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	cogen unit, wood gasification, fixed bed, waste wood	CH	1	unit	0	0	1.04E-10	0	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	cogen unit, wood gasification, fixed bed, residual wood	AT	1	unit	0	0	0	4.01E-10	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
NOx reduction	NOx retained, in SCR	GLO	0	kg	1.41E-5	0	4.22E-5	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); removal of NOx from 500 mg/Nm3 to actual figure
disposal	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration	CH	0	kg	4.75E-5	4.27E-5	5.28E-5	4.71E-5	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); calculation with lubricating oil
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	6.33E-4	3.21E-4	6.23E-4	9.56E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); cyclone ash
	disposal, filter dust, wood, to residual material landfill	CH	0	kg	7.18E-4	1.00E-3	6.90E-4	4.62E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); filter ash
	disposal, slag, wood, to residual material landfill	CH	0	kg	1.87E-4	5.61E-4	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); gasification ash
	treatment, condensate from light oil boiler, to wastewater treatment, class 2	CH	0	m3	2.67E-7	8.02E-7	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); condensate, pre-treatment by flotation
wood	disposal, sludge, gas washing water, wood, to municipal incineration	CH	0	kg	8.02E-5	2.41E-4	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); condensate, rough assumption for 30% sludge burned after pre-treatment
	wood chips, softwood, u=140%, at forest	RER	0	m3	1.33E-4	3.99E-4	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	RER	0	m3	1.33E-4	0	0	3.99E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
transport	waste wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant	CH	0	m3	1.22E-4	0	3.65E-4	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	transport, lorry 40t	CH	0	tkm	1.53E-3	3.63E-3	8.41E-4	1.19E-4	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); transport of wood, waste and materials
air emissions	Acenaphthene	-	-	kg	1.75E-12	1.72E-12	1.78E-12	1.78E-12	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Acetaldehyde	-	-	kg	1.77E-9	1.75E-9	1.80E-9	1.80E-9	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Acetic acid	-	-	kg	2.66E-7	2.62E-7	2.70E-7	2.70E-7	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Benzene	-	-	kg	2.06E-9	2.03E-9	2.09E-9	2.09E-9	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Benzo(a)pyrene	-	-	kg	1.18E-12	1.16E-12	1.19E-12	1.19E-12	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Butane	-	-	kg	2.06E-6	2.03E-6	2.09E-6	2.09E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	1.24E-1	1.22E-1	1.26E-1	1.24E-1	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Calculation
	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	6.19E-5	0	6.51E-5	1.21E-4	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Calculation for fossil carbon in rape methyl ether
	Carbon monoxide, biogenic	-	-	kg	2.25E-4	2.01E-4	2.28E-4	2.47E-4	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	2.22E-6	2.18E-6	2.25E-6	2.25E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	-	-	kg	1.99E-15	6.33E-17	5.98E-15	6.53E-17	1 3.05	(2,3,1,1,1,5); Literature data wood gasification
	Ethane	-	-	kg	3.11E-6	3.06E-6	3.15E-6	3.15E-6	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Formaldehyde	-	-	kg	7.32E-8	7.20E-8	7.43E-8	7.43E-8	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Hexane	-	-	kg	1.75E-6	1.72E-6	1.78E-6	1.78E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Mercury	-	-	kg	6.66E-11	6.55E-11	6.75E-11	6.75E-11	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Methane, biogenic	-	-	kg	3.77E-5	3.71E-5	3.83E-5	3.83E-5	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Nitrogen oxides	-	-	kg	1.59E-4	1.54E-4	1.34E-4	1.90E-4	1 3.00	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	-	kg	1.77E-8	1.75E-8	1.80E-8	1.80E-8	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Particulates, < 2.5 um	-	-	kg	6.93E-7	6.17E-7	7.03E-7	7.59E-7	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Personal communication
	Pentane	-	-	kg	2.66E-6	2.62E-6	2.70E-6	2.70E-6	1 3.05	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Propane	-	-	kg	1.58E-6	1.55E-6	1.60E-6	1.60E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Propionic acid	-	-	kg	3.55E-8	3.49E-8	3.60E-8	3.60E-8	1 1.56	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Sulfur dioxide	-	-	kg	1.11E-6	1.09E-6	1.13E-6	1.13E-6	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	Toluene	-	-	kg	3.33E-9	3.27E-9	3.38E-9	3.38E-9	1 1.22	(2,1,1,1,3,na); Average data of gas combustion
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	0	0	0	0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Specified for individual substances
	Cadmium	-	-	kg	2.20E-9	0	6.61E-9	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
	Titanium	-	-	kg	2.20E-9	0	6.61E-9	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
	Mercury	-	-	kg	1.87E-9	0	5.62E-9	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
	Lead	-	-	kg	3.98E-8	0	1.20E-7	0	1 3.05	(2,3,1,1,1,5); Literature, other heavy metals
	Hydrogen fluoride	-	-	kg	8.67E-7	0	2.60E-6	0	1 1.22	(2,3,1,1,1,5); Literature, wood gasification
	Heat, waste	-	-	MJ	1.15E+0	1.13E+0	1.13E+0	1.19E+0	1 1.05	(1,1,1,1,1,na); Calculation for higher heating value of biomass input minus electricity production
water emission	Phenol	-	-	kg	2.67E-9	8.02E-9	0	0	1 1.50	(5,na,1,1,1,na); Legal limit for effluents in Austria as maximum

5.4 Plant infrastructure

Tab. 5.4 shows the unit process raw data of cogeneration units for wood gas from fixed bed gasification. The plant data for Spiez do not take into account the erection of the building. The building was built before the CHP plant and reconstructed. For the modelling of new plants the infrastructure as modelled for Güssing shall be taken as the basic assumption.

The lifetime of the gas motor is estimated with 120'000 hours, which equals to about 16 years. The lifetime of the CHP components is estimated by the operator with 20-30 years. Here we assume 20

years for these components. The building can be used for 80 years as assumed in former studies (Bauer 2003; Jungbluth et al. 2002). All data are modelled for an operation time of 80 years.

Tab. 5.4 Unit process raw data of the construction of the cogeneration unit

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	cogen unit, wood gasification, fixed bed	cogen unit, wood gasification, fixed bed, forest wood	cogen unit, wood gasification, fixed bed, waste wood	cogen unit, wood gasification, fixed bed, residual wood	Uncertainty Typ Standard Deviation on%	GeneralComment
						RER	CH	CH	AT		
						1 unit	1 unit	1 unit	1 unit		
technosphere	reinforcing steel, at plant		RER	0	kg	1.57E+4	1.20E+4	8.09E+4	6.00E+3	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Building
	steel, low-alloyed, at plant		RER	0	kg	1.77E+4	5.00E+3	4.30E+4	4.12E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Building
	aluminium alloy, AlMg3, at plant		RER	0	kg	8.32E-1	-	-	3.09E+0	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); 120 m2, with 88 mm, specific weight 270 kg/m3
	refractory, fireclay, packed, at plant		DE	0	kg	5.39E+2	8.00E+2	-	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	clinker, at plant		CH	0	kg	1.04E+3	-	1.39E+4	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	flat glass, uncoated, at plant		RER	0	kg	3.83E+2	-	5.12E+3	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	industrial machine, heavy, unspecified, at plant		RER	1	kg	1.18E+5	9.40E+4	2.06E+5	1.44E+5	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); materials for the WKK components, 4 times for 80 years of operation
	concrete, normal, at plant		CH	0	m3	1.33E+2	1.00E+2	7.00E+2	5.05E+1	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	glued laminated timber, outdoor use, at plant		RER	0	m3	4.80E+0	-	6.42E+1	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); questionnaire
	building, hall		CH	1	m2	1.35E+2	2.00E+2	-	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Assumption for existing building
	section bar rolling, steel		RER	0	kg	1.77E+4	5.00E+3	4.30E+4	4.12E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Assumption for existing building
	zinc coating, pieces		RER	0	m2	3.39E-1	-	-	1.26E+0	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Assumption for existing building
	transport, lorry 32t		RER	0	tkm	4.49E+4	3.32E+4	1.92E+5	3.03E+4	1 1.62	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100 km
	transport, freight, rail		RER	0	tkm	9.18E+4	6.71E+4	2.09E+5	1.15E+5	1 1.62	(4,5,na,na,na,na); Standard distances
	disposal, building, brick, to sorting plant		CH	0	kg	1.04E+3	8.00E+2	-	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
	disposal, building, glass sheet, to sorting plant		CH	0	kg	3.83E+2	-	5.12E+3	-	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
	disposal, building, reinforced concrete, to sorting plant		CH	0	kg	2.93E+5	2.20E+5	1.54E+6	1.11E+5	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant		CH	0	kg	3.34E+4	1.70E+4	1.24E+5	4.72E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); Estimation
resource, land	Occupation, industrial area, built up		-	-	m2a	2.30E+4	1.60E+4	9.10E+4	2.00E+4	1 1.50	(1,1,1,1,1,na); 80a occupation
	Occupation, industrial area, vegetation		-	-	m2a	1.62E+4	-	1.58E+5	1.60E+4	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); 80a occupation
	Transformation, from unknown		-	-	m2	4.89E+2	2.00E+2	3.12E+3	4.50E+2	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); Company information
	Transformation, to industrial area, built up		-	-	m2	2.87E+2	2.00E+2	1.14E+3	2.50E+2	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); Company information
	Transformation, to industrial area, vegetation		-	-	m2	2.02E+2	-	1.98E+3	2.00E+2	1 2.00	(1,1,1,1,1,na); Company information
	use factor per MJ wood input				unit	4.84E-10	1.00E-9	1.04E-10	4.01E-10		
	operation time				a	80	80	80	80		
	operating hours				h	7'167	7'000	7'500	7'000		
	total weight				kg	4.49E+5	3.32E+5	1.92E+6	3.03E+5		
	kilogram weight per MJ input				kg	2.17E-4	3.33E-4	1.99E-4	1.21E-4		
	input capacity, calculated				kW	1'000	495	4'457	1'237		

5.5 Heat and electricity production

Tab. 5.5 shows the unit process raw data of heat and electricity production from wood gas produced by fixed bed gasification. The allocation is based on the exergy content of the products. Here we assume that heat is delivered to a district-heating network with a temperature of 90°C. The exergy of the heat equals to 0.335 per MJ of heat (Bauer 2003). The exergy of electricity equals 1.

Tab. 5.5 Unit process raw data of heat and electricity production from wood gas produced by fixed bed gasification, allocation by exergy

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	Unit process raw data of heat and electricity production from wood gas produced by fixed bed gasification, allocation by exergy											
				wood chips, gasified in cogen, fixed bed, allocation exergy	electricity, at cogen, fixed bed gasification, allocation exergy	heat, at cogen, fixed bed gasification, allocation exergy	forest wood chips, gasified in cogen, fixed bed, allocation exergy	electricity, at cogen, fixed bed gasification, forest wood, allocation exergy	heat, at cogen, fixed bed gasification, forest wood, allocation exergy	waste wood chips, gasified in cogen, fixed bed, allocation exergy	electricity, at cogen, fixed bed gasification, waste wood, allocation exergy	heat, at cogen, fixed bed gasification, waste wood, allocation exergy	residual wood chips, gasified in cogen, fixed bed, allocation exergy	electricity, at cogen, fixed bed gasification, residual wood, allocation exergy	heat, at cogen, fixed bed gasification, residual wood, allocation exergy
				RER 0 MJ	RER 0 kWh	RER 0 MJ	CH 0 MJ	CH 0 kWh	CH 0 MJ	CH 0 MJ	CH 0 kWh	CH 0 MJ	AT 0 MJ	AT 0 kWh	AT 0 MJ
technosphere															
	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	RER	0 MJ	1.00E+0	69.4	30.6	0						0		
	forest wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0			1.00E+0	65.3	34.7	0			0		
	waste wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0			0			1.00E+0	80.7	19.3	0		
	residual wood chips, gasified in cogen, fixed bed	AT	0 MJ	0			0			0			1.00E+0	62.8	37.2
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, allocation exergy	RER	0 kWh	6.89E-2	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, forest wood, allocation exergy	CH	0 kWh	-	-	-	6.73E-2	100	-	-	-	-	-	-	-
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, waste wood, allocation exergy	CH	0 kWh	-	-	-	-	-	-	7.73E-2	100	-	-	-	-
	electricity, at cogen, fixed bed gasification, residual wood, allocation exergy	AT	0 kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.22E-2	100	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, allocation exergy	RER	0 MJ	3.26E-1	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, forest wood, allocation exergy	CH	0 MJ	-	-	-	3.84E-1	-	100	-	-	-	-	-	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, waste wood, allocation exergy	CH	0 MJ	-	-	-	-	-	-	1.99E-1	-	100	-	-	-
	heat, at cogen, fixed bed gasification, residual wood, allocation exergy	AT	0 MJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.96E-1	-	100
	efficiency, products			57%			63%			48%			62%		
	exergy, heat	0.335		0.109			0.129			0.067			0.133		
	exergy, electricity			0.248			0.242			0.278			0.224		
	total, exergy			0.358			0.371			0.345			0.357		

5.6 System expansion per kWh output

Tab. 5.6 shows the unit process data for this calculation with a system expansion. The modelling for the comparison with the *naturemade star* threshold is based on the following assumption. First it is calculated how much wood is used per kWh of electricity sold to the grid. In the average case about 14.5 MJ of wood input are necessary to produce one kWh of electricity. The amount of heat, which is used by outside customers is subsidized with 50% of a modern gas heating. Thus, the environmental impacts equal to 50% of heat provision per kWh are subtracted in the life cycle inventory.

Tab. 5.6 Unit process raw data of electricity production from wood gas produced by fixed bed gasification, system expansion

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	electricity, at cogen, fixed bed gasification, system expansion				UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
				electricity, at cogen, fixed bed gasification, system expansion	electricity, at cogen, fixed bed gasification, forest wood, system expansion	electricity, at cogen, fixed bed gasification, waste wood, system expansion	electricity, at cogen, fixed bed gasification, residual wood, system expansion			
				RER 0 kWh	CH 0 kWh	CH 0 kWh	AT 0 kWh			
technosphere										
	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	RER	0 MJ	1.45E+1	0	0	0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	forest wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0	1.48E+1	0	0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	waste wood chips, gasified in cogen, fixed bed	CH	0 MJ	0	0	1.29E+1	0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	residual wood chips, gasified in cogen, fixed bed	AT	0 MJ	0	0	0	1.61E+1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); amount of wood necessary per kWh electricity sold
	heat, natural gas, at boiler atm. low-NOx condensing non-modulating <100kW	RER	0 MJ	-2.37E+0	-2.85E+0	-1.29E+0	-3.18E+0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); credit for 50% of the heat sold outside the plant

5.7 EcoSpold meta information

Tab. 5.7 shows the EcoSpold meta information recorded for the three process stages investigated here.

Tab. 5.7 EcoSpold Meta Information of the process stages investigated for gasification of wood and electricity production

ReferenceFunction	Name	cogen unit, wood gasification, fixed bed	electricity, at cogen, fixed bed gasification, system expansion	wood chips, gasified in cogen, fixed bed	wood chips, gasified in cogen, fixed bed, allocation exergy
Geography	Location	RER	RER	RER	RER
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	1	0	0	0
ReferenceFunction	Unit	unit	kWh	MJ	MJ
DataSetInformation	Type	1	1	1	5
	Version	1.0	1.0	1.0	1.0
	energyValues	0	0	0	0
	LanguageCode	en	en	en	en
	LocalLanguageCode	de	de	de	de
DataEntryBy	Person	41	41	41	41
	QualityNetwork	1	1	1	1
ReferenceFunction	DataSetRelatesToProduct	1	1	1	1
	IncludedProcesses	The inventory includes the materials for all components of the cogen unit for an operation time of 80 years, disposal and transport of materials.	Amount of wood used for gasification and credit for sold heat.	Input of wood, auxiliary materials, infrastructure, transports of wood, materials and wastes. Disposal of wastes. Air emission from combustion of cleaned gas from wood gasification.	Input of wood, auxiliary materials, infrastructure, transports of wood, materials and wastes. Disposal of wastes. Air emission from combustion of cleaned gas from wood gasification.
	Amount	1	1	1	1
	LocalName	Holzgas-WKK-Anlage, Festbett-Gleichstrom-Vergasung, trockene Gasreinigung	Elektrizität, ab Holzgas-WKK, Festbett-Vergasung, Systemerweiterung	Holzschnitzel, in WKK, Festbett-Gleichstrom-Vergasung, trockene Gasreinigung	Holzschnitzel, in WKK, Festbett-Gleichstrom-Vergasung, trockene Gasreinigung,
	Synonyms				
	GeneralComment	Plant infrastructure mix of different plants. The WKK components have been installed in a separate building. The operation time is 80 years with a firing capacity of 1000 kW.	Calculation for the electricity production. System extension is used for the amount of heat. A credit of 50% of the environmental impacts caused by a modern natural gas boiler that would instead provide an amount of heat equivalent to the heat sold by the cogeneration plant is subtracted.	The data are investigated for the gasification of wood chips in a fixed bed gasifier. The wood gas is burned in a cogeneration unit for production of heat and electricity. Allocation by exergy. Allocated co-products are heat and electricity.	The data are investigated for the gasification of wood chips in a fixed bed gasifier. The wood gas is burned in a cogeneration unit for production of heat and electricity. Allocation by exergy. Allocated co-products are heat and electricity.
	InfrastructureIncluded	1	1	1	1
	Category	wood energy	wood energy	wood energy	wood energy
	SubCategory	cogeneration	cogeneration	cogeneration	cogeneration
	LocalCategory	Holzenergie	Holzenergie	Holzenergie	Holzenergie
	LocalSubCategory	Wärmekraftkopplung (WKK)	Wärmekraftkopplung (WKK)	Wärmekraftkopplung (WKK)	Wärmekraftkopplung (WKK)
	Formula				
	StatisticalClassification				
	CASNumber				
TimePeriod	StartDate	2005	2005	2005	2005
	EndDate	2007	2007	2007	2007
	DataValidForEntirePeriod	1	1	1	1
	OtherPeriodText				
Geography	Text	Different plants	Different plants	Different plants	Different plants
Technology	Text	Average technology available on market. Wood gas cogeneration unit with a fixed bed gasification and a dry gas cleaning produced by PYROFORCE.	Calculation for comparison with the naturemade star threshold.	Wood gas cogeneration unit with a fixed bed gasification and a dry gas cleaning produced by PYROFORCE.	Wood gas cogeneration unit with a fixed bed gasification and a dry gas cleaning produced by PYROFORCE.
Representative	Percent	0	0	0	0
	ProductionVolume	unknown			
	SamplingProcedure	Manufacturer information.	Manufacturer information.	Manufacturer information and literature data.	Manufacturer information and literature data.
	Extrapolations	none	none	Data for many air emissions are extrapolated with gas combustion.	Data for many air emissions are extrapolated with gas combustion.
	UncertaintyAdjustments	none	none	none	none
DataGeneratorAnd	Person	44	44	44	44
	DataPublishedIn	2	2	2	2
	ReferenceToPublishedSource	99	99	99	99
	Copyright	1	1	1	1
	AccessRestrictedTo	0	0	0	0
	CompanyCode				
	CountryCode				
	PageNumbers	fixed bed gasifier	fixed bed gasifier	fixed bed gasifier	fixed bed gasifier

6 Ergebnisse der Ökobilanz

In diesem Kapitel werden nun die Ergebnisse der Ökobilanz diskutiert. Mit den aufbereiteten Rohdaten und den Hintergrunddaten aus der ecoinvent Datenbank werden die kumulierten, d.h. lebenszyklusbezogenen Ressourcenverbräuche und Schadstoffemissionen berechnet. Die Ergebnisse werden für ausgewählte Schadstoffe im Hinblick auf wichtige Teilprozessschritte und Schadstoffen/Ressourcen ausgewertet. Dabei dient die Ergebnisauswertung mit dem Eco-indicator 99 (H, A) der Vorbereitung des Kennwertmodells für die Zertifizierung gemäss *naturemade star*. Die Bewertungsmethode wird im Anhang „Schadensorientierte ökologische Bewertung nach Eco-indicator 99“ erläutert. Um die Stabilität der Ergebnisse zu prüfen, werden in Sensitivitätsanalysen resultatsbestimmende Parameter variiert.

In einem Anhang „Verwendung anderer Bewertungsmethoden“ werden die Sachbilanz-Ergebnisse mit der Ökobilanzbewertungsmethode „Eco-indicator 99“ (Bewertungsperspektiven Egalitarist (E) und Individualist (I)) bewertet (Goedkoop & Spriensma 1999). Ergebnisse mit weiteren Bewertungsmethoden (z.B. Umweltbelastungspunkte 2006) werden ebenfalls dort analysiert (Frischknecht et al. 2007).

6.1 Vergleich mit dem Ökostrom Grenzwert

Fig. 6.1 zeigt zunächst einen Vergleich der Ergebnisse für die Stromproduktion in den drei Beispielanlagen und der Durchschnittsanlage mit dem globalen Grenzwert für *naturemade star* (Querbalken in der Grafik).

Alle Anlagen unterschreiten den Grenzwert demnach deutlich. Die Gründe für das unterschiedliche Abschneiden werden im folgenden weiter analysiert.

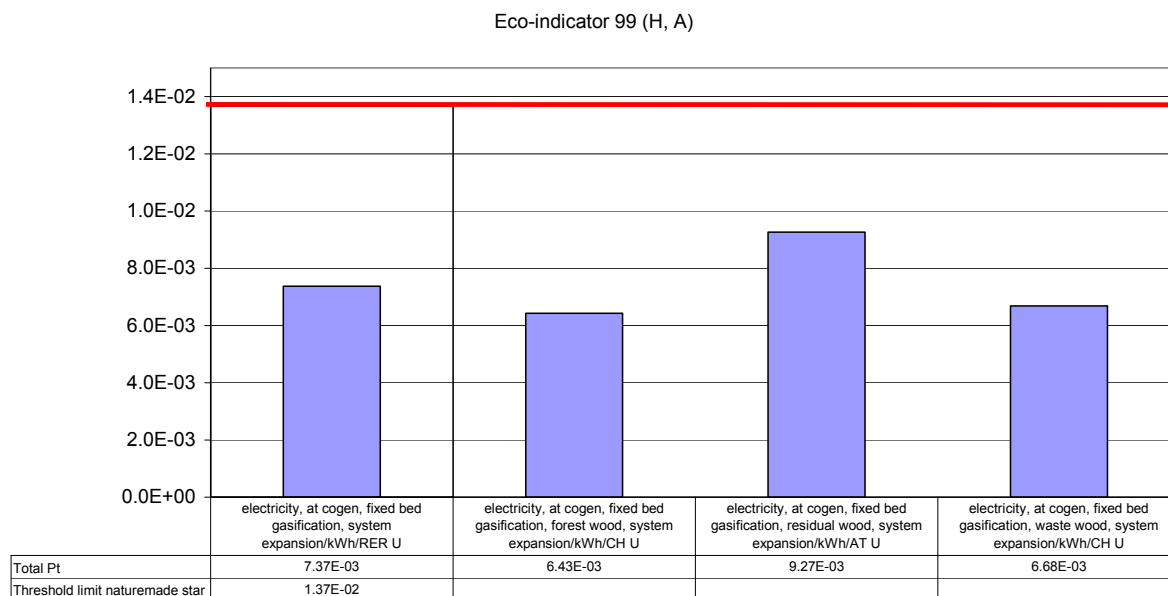


Fig. 6.1 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))

6.2 Analyse der Umweltbelastungen

Im folgenden werden die Anlagen nun pro MJ Holzinput verglichen und analysiert. Die Anlage in Güssing (3. Säule von links), die Restholz verwendet, verursacht etwas höhere Belastungen.

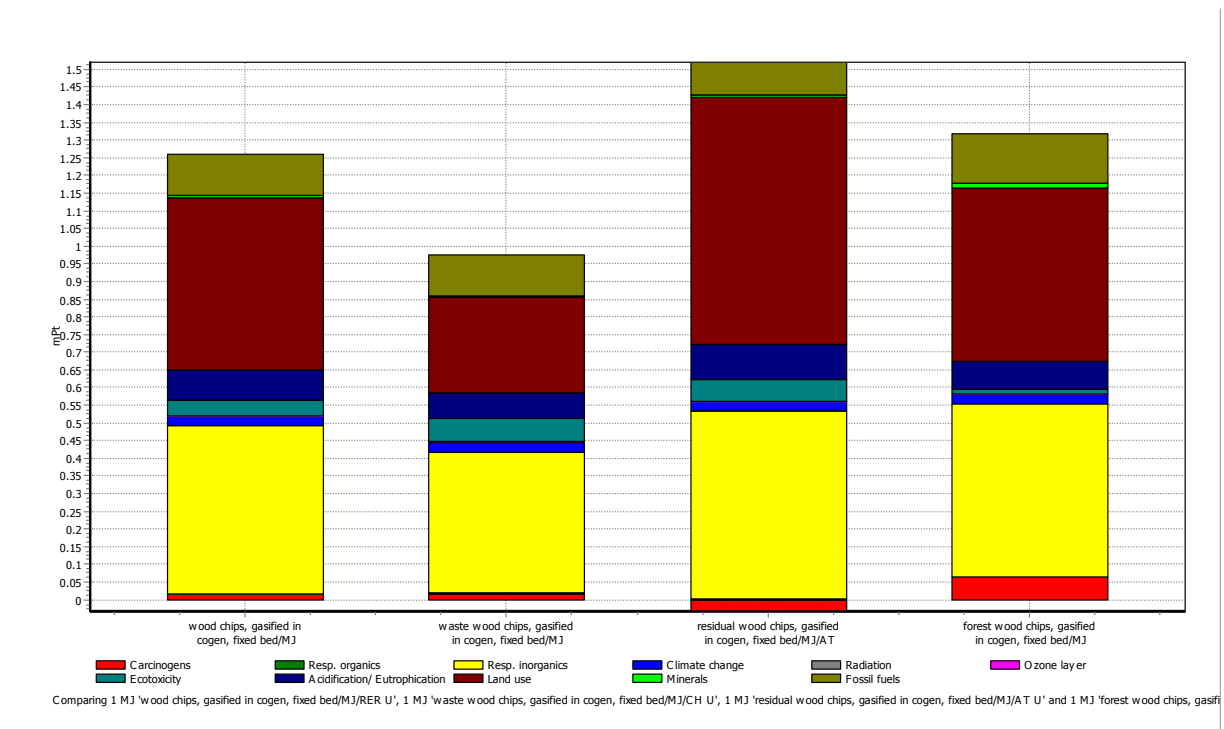


Fig. 6.2 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A))

In Fig. 6.3 werden die Ergebnisse der Anlage in Güssing analysiert. Wichtige Inputs sind das verbrauchte Holz und der Rapsölmethylester. Ausserdem sind die direkten Emissionen der Anlage wichtig (linke Säule in Fig. 6.3).

Eine entsprechende Analyse wurde für die beiden anderen Anlagen durchgeführt. Die geregelte Entsorgung in Deponien oder KVA verursacht ähnlich geringe Belastungen. Wichtig bleiben aber die direkten Emissionen von NO_x sowie der Holz- und RME-Verbrauch. Negative Emissionen beim RME können mit der Schwermetallaufnahme der Rapspflanze erklärt werden.

Die Infrastruktur trägt nur einen sehr geringen Anteil der Umweltbelastungen. Somit ist nicht davon auszugehen, dass auch bei einer kürzeren Lebensdauer wesentlich höhere Umweltbelastungen resultieren.

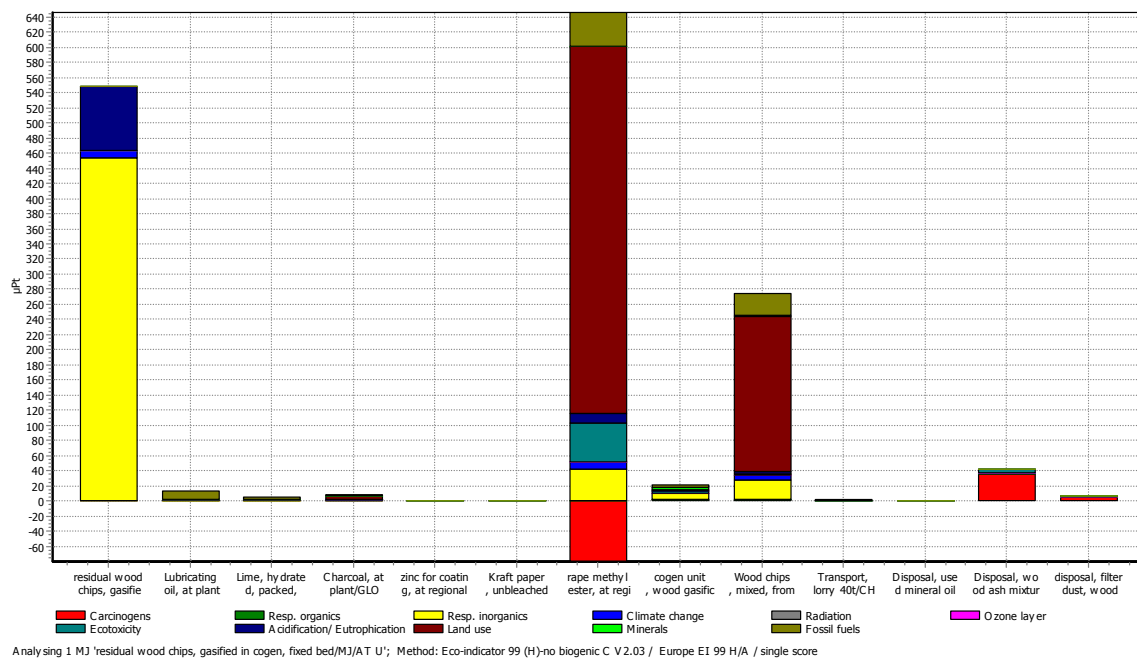


Fig. 6.3 Analyse der Umweltbelastungen der Anlage Güssing pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A))

Die Bedeutung der direkten Emissionen wird in Fig. 6.4 an Hand der Anlage in Nidwalden untersucht. Hier wird nur die Schadenskategorie Menschliche Gesundheit ausgewertet, da diese für die direkten Emissionen besonders relevant ist. Für diese und alle anderen Anlagen kommt den Emissionen von NO_x eine besondere Bedeutung zu. Sie verursachen etwa 75% der Belastungen in dieser Schadenskategorie. Andere Luftschadstoffe sind hingegen wenig relevant.

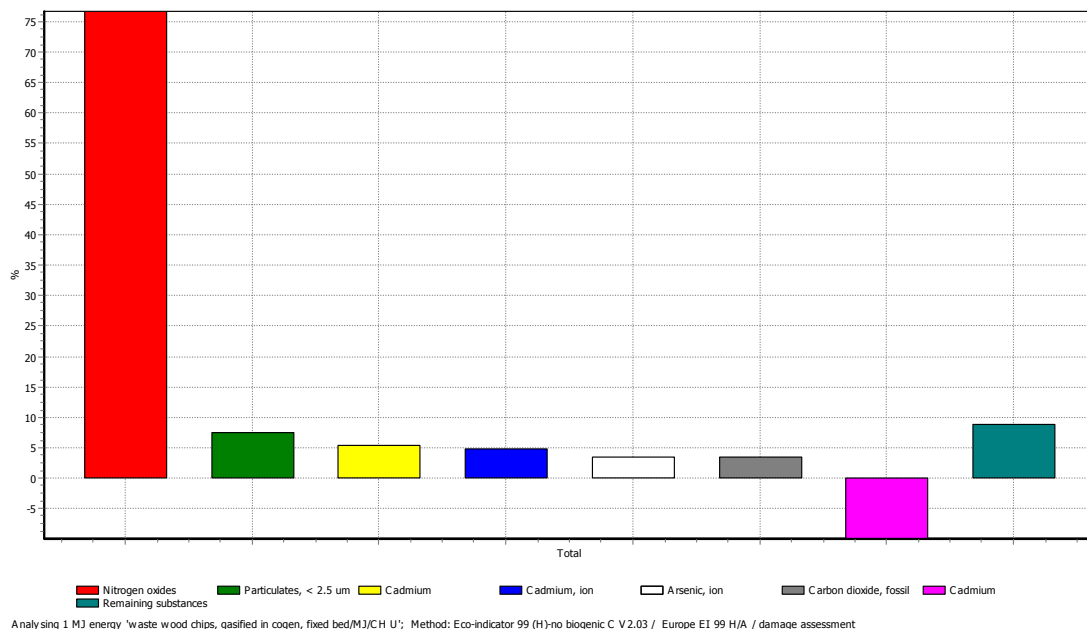


Fig. 6.4 Wichtigste Luftschadstoffe, emittiert im Lebenszyklus der Holzgas-WKK pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A), Schädigung der menschlichen Gesundheit), Anlage in Nidwalden mit Altholz

6.3 Sensitivitätsrechnungen

6.3.1 Stickoxide

In Fig. 6.5 wird eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der NO_x Emissionen gezeigt. Alle Anlagen würden auch mit Emissionswerten von 750 mg/Nm³ noch innerhalb des Grenzwertes für *naturemade star* liegen.

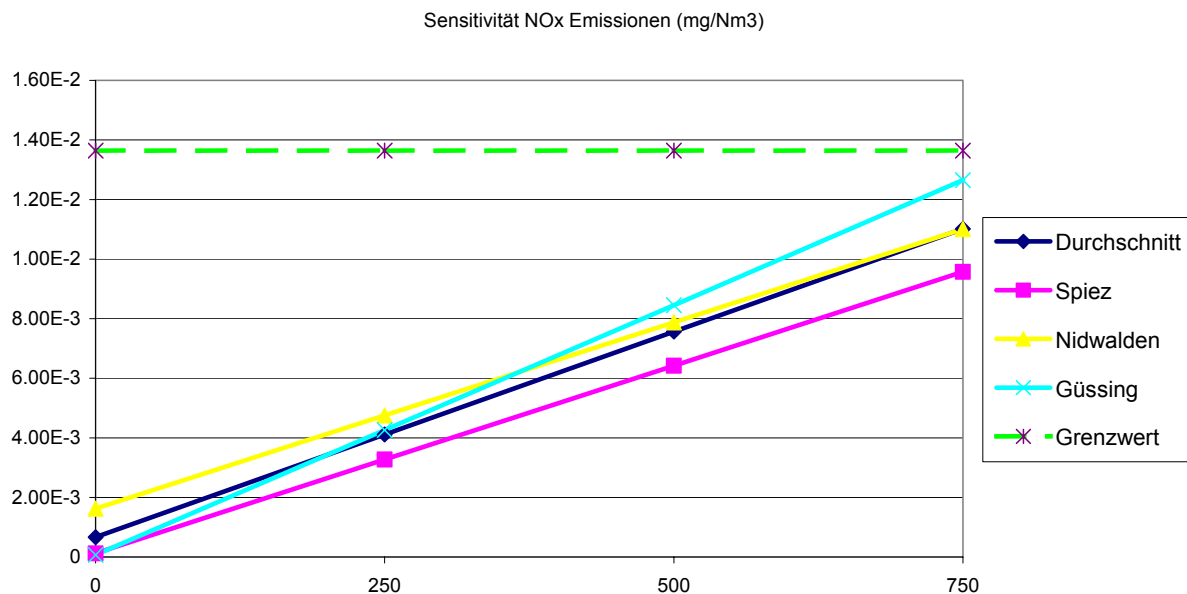


Fig. 6.5 Sensitivitätsanalyse für NO_x Emissionen (mg/Nm³), Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))

6.3.2 Wärmenutzung

In Fig. 6.6 wird eine Sensitivitätsanalyse für die Wärmenutzung gezeigt. Hierbei wird ausgewertet, wie viel Prozent der theoretisch verfügbaren Wärme verkauft werden müssen, um das *naturemade star* Kriterium zu erreichen. Die Anlage in Nidwalden könnte auch ohne Verkauf von Wärme noch unter dem globalen Grenzwert bleiben. Allerdings wird dann das zusätzliche lokale Kriterium eines Gesamtwirkungsgrades von 60% nicht erreicht. Für die Anlage in Spiez reichen etwa 50% Wärmenutzung. Die Anlage in Güssing erreicht den globalen Grenzwert bei etwa 75% Wärmenutzung.

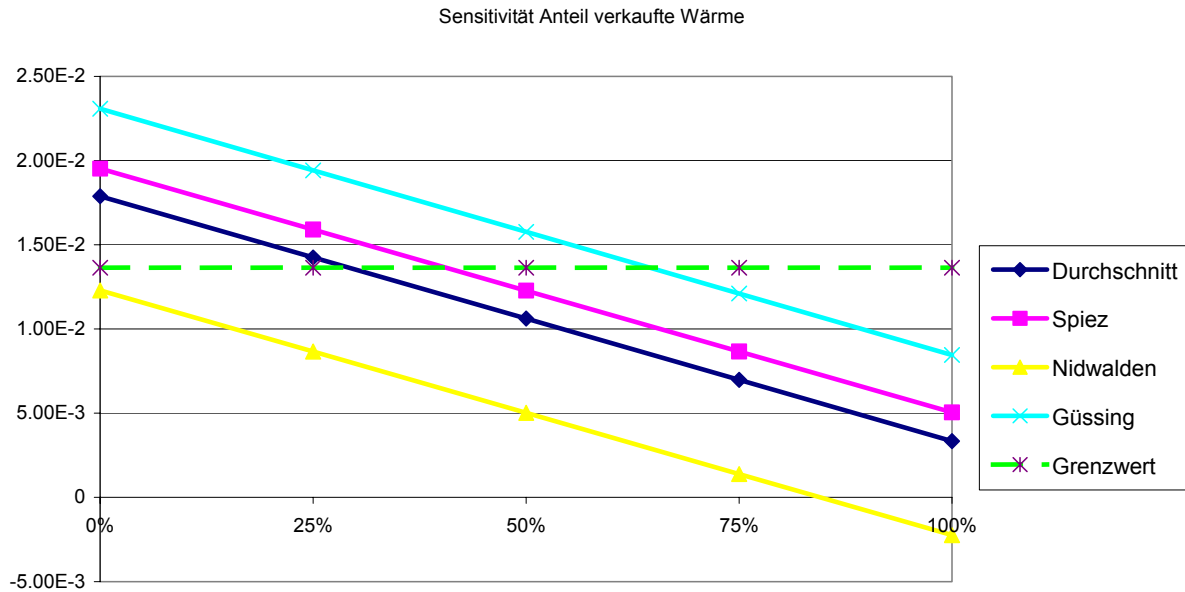


Fig. 6.6 Sensitivitätsanalyse für den Anteil der extern genutzten Wärme, Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))

6.3.3 Rapsmethylester

In Fig. 6.7 wird eine Sensitivitätsanalyse für den Verbrauch von Rapsölmethylester durchgeführt. Der Verbrauch wird in kg pro MJ Holzinput angegeben. Die Anlage in Nidwalden verbraucht nach Planung etwa 0.4 g/MJ. Der Verbrauch könnte bis etwa 1.2 g/MJ ansteigen bis der Grenzwert überschritten wird. Ähnlich sieht es für die Anlage in Güssing aus. Die Anlage in Spiez verwendet zur Zeit kein RME. Bereits bei einem Verbrauch von 0.8 g/MJ wäre das naturemade Kriterium nicht mehr erreicht.

Die Herstellung von RME verursacht vergleichsweise hohe Umweltbelastungen bei einer Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (H,A). Dabei ist die direkte Landnutzung alleine für über 80% der bewerteten Umweltbelastungen verantwortlich. Zinkemissionen aus dem Dünger machen etwa 6% aus. Ammoniak ist der wichtigste Luftschadstoff mit etwa 5% Anteil am Gesamtergebnis. Detaillierte Auswertungen zu den Umweltbelastungen der hier bilanzierten RME Produktion können einer aktuellen Studie entnommen werden (Zah et al. 2007).

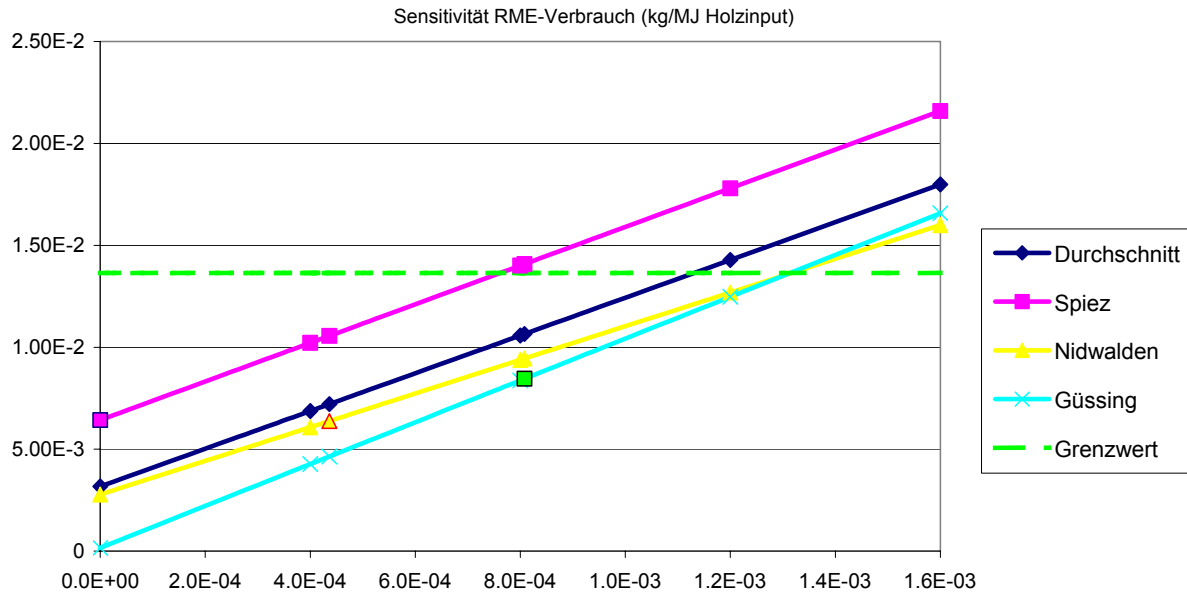


Fig. 6.7 Sensitivitätsanalyse für den Verbrauch von Rapsölmethylester, Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))

6.3.4 Partikelemissionen

Partikelemissionen von 2 mg/Nm^3 machen gemäss der derzeitigen Angaben zu den Emissionen weniger als 2% der gesamten mit dem Eco-indicator 99 (H,A) bewerteten Umweltbelastungen aus. In Fig. 6.8 wird eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der Partikel Emissionen gezeigt. Erst ab Emissionswerten von mehr als 50 mg/Nm^3 würde der Grenzwertes von *naturemade star* überschritten.

Gemäss Besprechung mit Herrn Gemperle und Herrn Wellinger, führen sehr viel höhere Partikelemissionen als hier angenommen zu Schäden am Gasmotor. Aufgrund der geringen Bedeutung und der direkten Bedeutung für einen gesicherten Anlagenbetrieb wurde beschlossen darauf zu verzichten die Partikel als Kenngrösse für die Zertifizierung des globalen Kriteriums zu berücksichtigen.

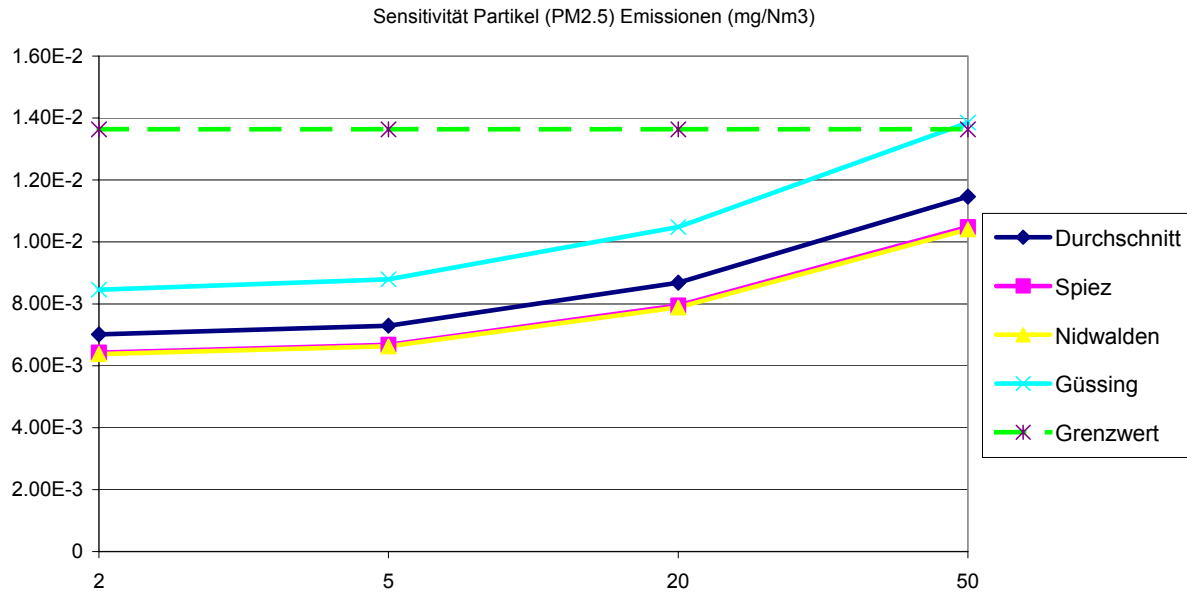


Fig. 6.8 Sensitivitätsanalyse für die Partikelemissionen, Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))

In Fig. 6.9 werden die Ergebnisse der Anlage in Güssing analysiert unter der Annahme, dass die Asche auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden. Nach den vorliegenden Informationen wäre dies genehmigungstechnisch möglich. Die Auswertung zeigt jedoch, dass die Umweltbelastungen in diesem Fall erheblich ansteigen würden. Besonders belastend ist hierbei, dass die in der Asche enthaltenen Schwermetalle direkt von produzierten Nahrungsmitteln aufgenommen werden können und so beim Eco-indicator 99 (H,A) bzgl. Kanzerogenität und Ökotoxizität eine hohe Bewertung verursachen. Im Falle einer Ausbringung von Aschen auf landwirtschaftliche Flächen könnte die Anlage den Grenzwert für das *naturemade star* Kriterium nicht mehr erfüllen.

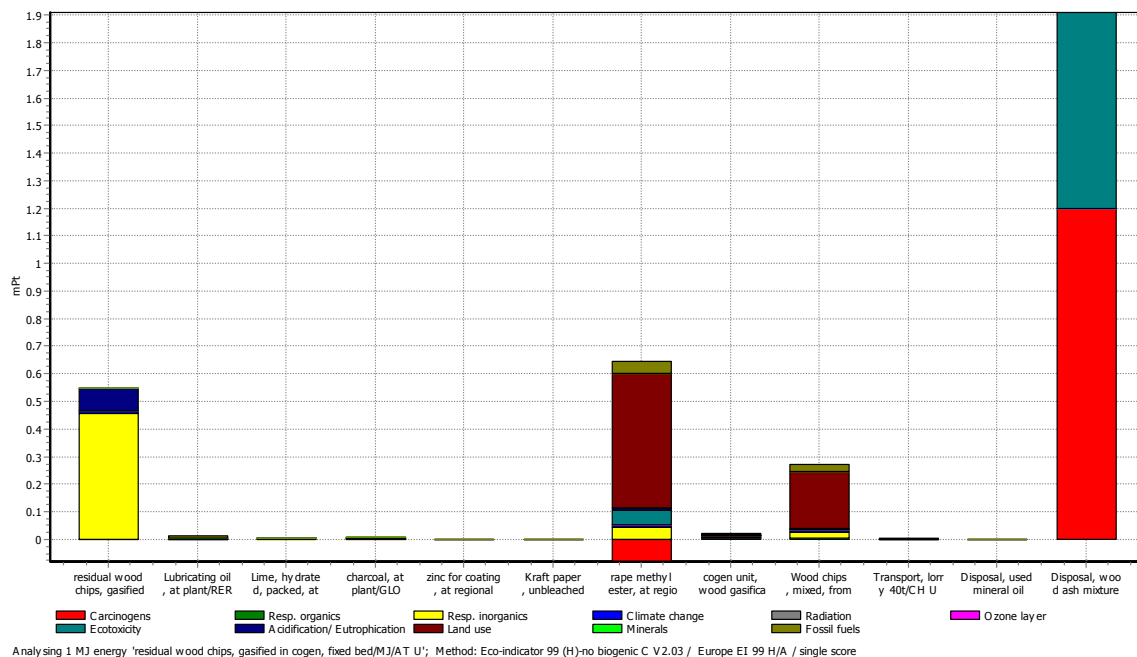


Fig. 6.9 Analyse der Umweltbelastungen der Anlage Güssing pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A)), Ausbringung der Asche auf Landwirtschaftsfläche

6.4 Zusammenfassung der wichtigsten Einflussparameter

In der Auswertung der Umweltbelastungen sind folgende Einflussparameter identifiziert worden, die einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben:

- Holzinput, Menge und Art
- Strom- und Wärmeerzeugung
- NO_x Emissionen
- Verbrauch von Rapsölmethylester
- Entsorgung der Aschen, insbesondere Ausbringung auf Landwirtschaftsfläche
- Transporte von Holz und Abfällen

Bezüglich des Vergleiches mit dem *naturemade star* Grenzwert ist dabei insbesondere die Ausbringung von Asche auf landwirtschaftlichen Böden problematisch. Nach unseren Informationen ist diese Art der Entsorgung in der Schweiz nicht gestattet und sollte somit auch kein Problem bei der Zertifizierung für die Schweiz darstellen.

Die Emission von Partikeln ist gemäss den gegenwärtig angenommenen Mengen nicht relevant für die Bewertung und wird deshalb im Kennwertmodell nicht separat abgefragt.

6.5 Vergleich der Strom- und Wärmeerzeugung

In Fig. 6.10 werden die Holzgas-WKK aus dieser Studie mit der Holzverbrennung verglichen (Bauer 2003). Die Allokation zwischen Strom und Wärme erfolgt bei allen Anlagen nach dem Exergieertrag. Der Vergleich der Anlagen untereinander zeigt wiederum das beste Ergebnis bei der Verwendung von Altholz in der Festbett-Vergasung Nidwalden.

Anlagen, in denen Holz verbrannt wird, schneiden insbesondere bei den Atemwegserkrankungen auf Grund von höheren direkten Staubemissionen schlechter ab. Negativ zu Buche schlägt bei der Holzverbrennung auch, dass in der Studie zur Holzverbrennung postuliert wird, dass 25% der Aschen auf Landwirtschaftsfläche ausgebracht werden (Bauer 2003). Diese Einschätzung ist aufgrund der Studie für naturemade kritisch zu hinterfragen (Jungbluth et al. 2002).

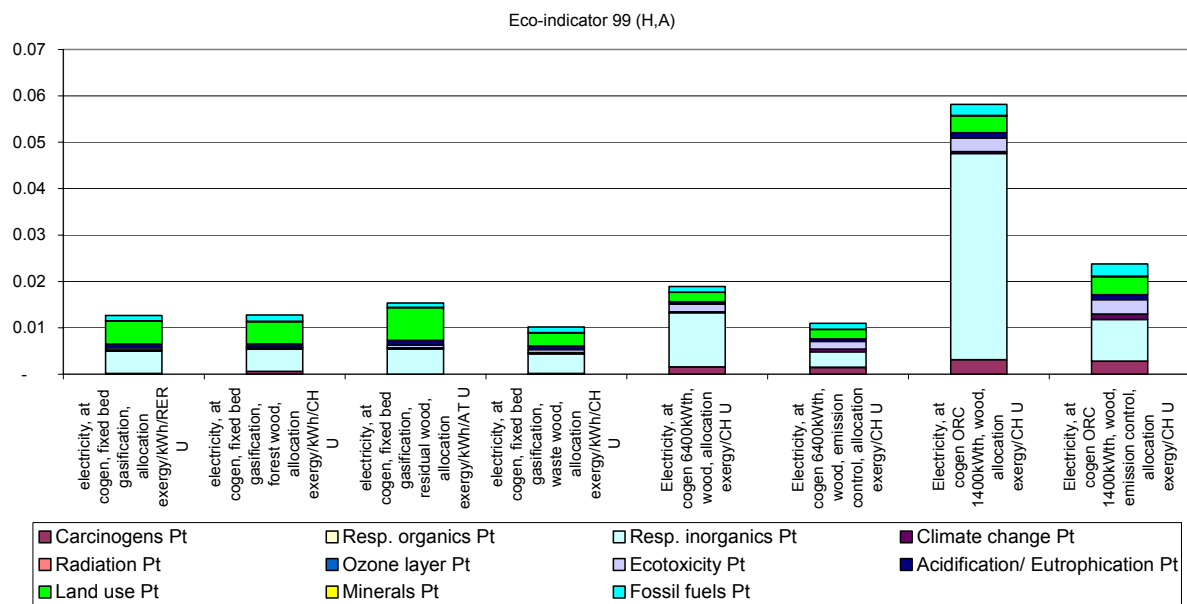


Fig. 6.10 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit Holzverbrennungs-WKK pro kWh Strom bei Allokation nach Exergie (Eco-indicator 99 (H, A))

7 Kenngrössenmodell für die Zertifizierung

7.1 Einführung

Für die Zertifizierung mit dem Qualitätslabel *naturemade star* müssen vom Betreiber verschiedene Informationen zur Anlage zur Verfügung gestellt werden. Diese Informationen werden in einem Kenngrössenmodell eingegeben. Das Kenngrössenmodell erlaubt ein effizientes Berechnen von Ökobilanz-ergebnissen auf Grundlage weniger Angaben zur konkreten Anlage. Ausserdem kann das Ergebnis für die einzelne Anlage mit dem Grenzwert für *naturemade star* verglichen werden.

Ausgehend von den erarbeiteten Sachbilanzdaten und deren Auswertung wird hier das Kenngrössenmodell erarbeitet. Dazu wurden in Kapitel 6.4 die Kenngrössen bestimmt,

- die das Endergebnis substantiell beeinflussen, und
- in denen sich einzelne WKK-Anlagen unterscheiden (können).

Die Dateneingabe und die Ergebnisse werden in einer Excel-Tabelle angezeigt, währenddem die Hintergrunddaten für den Gewichtungssatz (Hierarchist) separat gespeichert sind. Die Ergebnisse werden mit dem festgelegten Grenzwert für Ökostrom (globales Kriterium für „*naturemade star*“) verglichen. Das Layout erlaubt eine einfache Bedienung durch Fachkundige und lehnt sich an die bereits realisierten Kenngrössenmodelle an.

7.2 Wichtige Annahmen

Fig. 7.1 zeigt die Eingabemaske für das Kenngrössenmodell. Die Eingaben zu Holzschnitzelverbrauch und Ascheanfall werden für die Gesamtanlage eingegeben. Der Holzinput muss dabei in Kilogramm Trockensubstanz (kg atro) eingegeben werden. Zusätzlich wird die Feuchte (Wassergehalt pro kg atro) bei der Anlieferung abgefragt um die Transportgewichte richtig zu berechnen. Die Verbrauchsmenge an Rapsölmethylester wird in kg pro Jahr abgefragt.

Die Eingabe der NO_x Emissionen erfolgt in mg/Nm³. Dabei wird gemäss Luftreinhalteverordnung ein O₂-Gehalt von 5% zu Grunde gelegt. Der Grenzwert beträgt 400 mg/Nm³ (LRV 2000b). Als Abgasvolumenstrom wird hiermit ein Wert von 5.99 Nm³/kg trockenes Holz berechnet. Dieser Wert wird zur Umrechnung im Kenngrössenmodell verwendet. Es erfolgt eine Prüfung, ob der NO_x Emissions-Grenzwert eingehalten wird.

Für das Kennwertmodell wird angenommen, dass kein Kondensat zu entsorgen ist. Von den drei geprüften Anlagen war dies bisher nur in Spiez der Fall. Nach Angaben der Betreiber entfällt dies bei zukünftigen Anlagen. Die Bedeutung der Kondensatentsorgung mit Aufbereitung und Verbrennung bzw. Ableitung in die Kläranlage wird gemäss den hier durchgeführten Auswertungen der Ökobilanz als gering eingeschätzt.

Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz in Gleichstrom-Festbett-Vergasung mit trockener Gasreinigung

Eingabe: Deutsch ▼

Anlagenname: **Beispiel Neuanlage** 10.09.2007

Inputs

	kg atro/a	H ₂ O %	km	
Holzschnitzel, Frischholz (Laubbaum)	0	40%	100	Bemerkungen: Jahresverbrauch von Holz in kg atro (Holztrockenmasse). Wassergehalt des Holzes bezogen auf Trockenmasse. Mittlere Transportentfernung ab Wald bzw. ab Schnitzelherstellung.
Holzschnitzel, Frischholz (Nadelbaum)	0	40%	100	
Holzschnitzel, Restholz (z.B. Sägereiabfälle)	0	20%	300	
Holzschnitzel, Altholz	2200000	10%	20	
Holzmenge (kg atro)	2200000	2200000		
Rapsölmethylester (kg/a)	26000		600	

Energieproduktion

Wärmeproduktion Kessel: 3'500'000 kWh/a Wärmeabgabe direkt aus dem Kessels (gemessen)

Stromverkauf: 1'950'000 kWh/a Einschliesslich Verbrauch für die Wärmeverteilung, abzüglich Eigenverbrauch für Brennstofftransport, Rauchgasreinigung und andere Anlagenteile der Stromerzeugung.

Wärme genutzt: 3'430'000 kWh/a Verkauf und externe Nutzung von Wärme aus der Anlage.

Luftemissionen im Reingas

Stickoxide NO_x als NO₂: 350 mg/Nm³ Angaben bezogen auf 5% O₂ im trockenen Abgasvolumen

Abfallentsorgung

Aschen zur Entsorgung: 40'000 kg 100 km Menge, Transportentfernung und Art der Entsorgung

Art der Entsorgung: Reststoffdeponie ▼

Resultate:

Jahresnutzungsgrad WKK (berechnet): **61%**

Im Vergleich zur Standardanlage:

	El'99 (H,A) / kWh		
Beispiel Neuanlage	8.28E-03		118.0%
Ökostrom Schweiz Grenzwert	1.36E-02		60.7%

Ökostromkriterium erfüllt

© 2007, Niels Jungbluth, ESU-services GmbH, Uster, CH

Fig. 7.1: Eingabemaske des Kenngrössenmodells für die Bestimmung der Umweltbelastung von Festbett-Gleichstrom Vergasungsanlagen zur Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. Fiktives Beispiel

Das Kenngrössenmodell modelliert aus den gezeigten Angaben die Umweltbelastungen pro kWh verkauftem Strom und vergleicht sie mit dem Kennwert für *naturemade star*. In einer Grafik wird gleichzeitig die Bedeutung verschiedener Inputs für das Gesamtergebnis gezeigt. Fig. 7.2 zeigt einen Screenprint des Kenngrössenmodells und der Auswertungsgrafik.

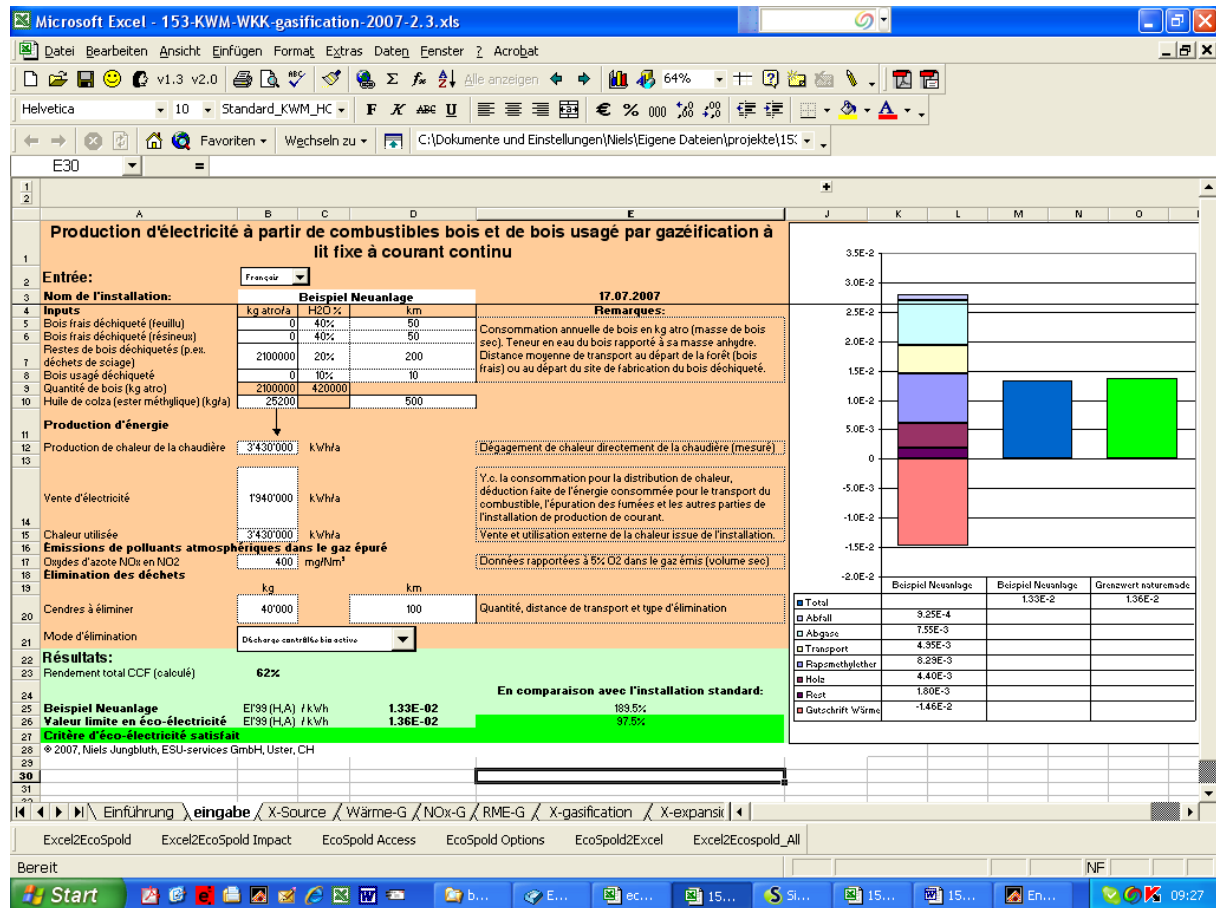


Fig. 7.2: Screenprint des Kenngrößenmodells und der Auswertungsgrafik. Französischsprachige Version

8 Diskussion und Ausblick

8.1 Diskussion und Unsicherheiten

Die Ökobilanz der Stromerzeugung aus Holzgas aus der Festbett-Gleichstrom-Vergasung mit trockener Gasreinigung wurde detailliert ausgewertet. Darauf aufbauend wurden ergebnisbestimmende Parameter festgelegt. Die von den Anlagenentwicklern zur Verfügung gestellten Datengrundlagen waren umfangreich und vertrauenswürdig. Verschiedene Kenngrößen wurden mit Daten für Holz- und Gasverbrennung sowie für Treibstoffherzeugung mittels Vergasungsverfahren verglichen (Jungbluth et al. 2002; Jungbluth et al. 2007b; c).

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass alle umweltrelevanten Aspekte in der Bilanz berücksichtigt werden. Die Hauptunsicherheit besteht bei eventuell notwendigen Änderungen im Verfahrenskonzept oder bei wichtigen Kenngrößen im Rahmen der tatsächlichen Inbetriebnahme der Anlagen.

Gewisse Unsicherheiten bestehen bei der Beurteilung der Kondensat-Entsorgung. In der Literatur wird vor allem Phenol als Problem diskutiert. Hierzu sind allerdings keine Messdaten der tatsächlichen eingeleiteten Menge vorhanden. In der Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (H,A) spielt diese Emission allerdings keine Rolle, da es hierfür keinen Bewertungsfaktor gibt.

Die Bilanz untersucht nicht Verfahren mit einem anderen technischen Ablauf, z.B. einer nassen Gasreinigung oder einer Wirbelschichtvergasung. Das Kennwertmodell und die Ergebnisse dieser Bilanz sind nicht auf Verfahren übertragbar, die eine andere Technologie verwenden.

8.2 Empfehlungen

Es wird empfohlen, die Stromerzeugung aus **Waldholz, Restholz und Altholz** in einer **WKK-Anlage mit Festbett-Gleichstrom-Vergasung mit trockener Gasreinigung** grundsätzlich zur Zertifizierung mit dem Qualitätslabel *naturemade star* zuzulassen. Neben dem Unterschreiten des Grenzwertes bei einer Prüfung der Anlagendaten mit dem Kenngrößenmodell (globales Kriterium) wird vorgeschlagen, folgende Aspekte bei den lokalen Kriterien zu berücksichtigen (in Anlehnung an die Kriterien für Holzverbrennung *naturemade* 2007):

Tab. 8.1 Zertifizierungskriterien *naturemade star*

Als Grundvoraussetzung für die Erteilung des Qualitätszeichens *naturemade star* sind alle Zertifizierungskriterien *naturemade basic* zu erfüllen.

Globale Kriterien:

- GK-1:** Grenzwert Umweltbelastung Die Umweltbelastung der zu prüfenden Anlagen darf die Hälfte der Umweltbelastung eines modernen gasbefeuerten Gas- und Dampfkraftwerkes nicht überschreiten.
Die Überprüfung erfolgt mittels eines für Holzgas aus Holzbrennstoffen und Altholz standardisierten Modells (sog. Kennwertmodell).

Lokal-regionale Kriterien:

- LK-H1:** Gesamtwirkungsgrad Anlagen zur Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz können mit *naturemade star* zertifiziert werden, falls der Gesamtwirkungsgrad der Anlage bei mindestens 60 Prozent liegt.
- LK-H2:** Energiekonzept Für den Gesamtbetrieb verfügt die Anlage über ein Energiekonzept zur Reduktion des Strom- und Wärmebedarfs.

LK-H3: Herkunft der Holzbrennstoffe	Der Betreiber der Anlage zur Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz deklariert die Herkunft der Holzbrennstoffe in Selbstdeklaration.
LK-H4: Tropenholz	Tropenholz in der Verarbeitung stammt aus FSC zertifizierten Lieferungen.
LK-H5: naturbelassenes Holz	Die Herkunft des naturbelassenen Holzes erfüllt einen Standard, der sich am FSC Label orientiert.

8.3 Überprüfung nach Inbetriebnahme

Die Ökobilanz und das Kennwertmodell wurde auf Grundlage von Planungsdaten erstellt. Es ist dringend angeraten, diese Grundannahmen nach Inbetriebnahme der Anlagen in Güssing und Nidwalden zu überprüfen. Dazu werden im Rahmen der ersten Zertifizierung durch naturemade vom Anlagenbetreiber alle relevanten Anlagendaten aus dem Betrieb zur Verfügung gestellt. Von Interesse sind dabei neben den Schlüsselgrößen gemäss Kennwertmodell Daten zu:

- Schwermetallemissionen in die Luft bei der Altholznutzung (Cadmium, Quecksilber, Blei)
- Staubemissionen der Anlage (Messwert)
- Tatsächlicher Entsorgungsweg und Entsorgungsnachweis der Aschen und Schlacken bei allen Anlagen
- Nachweis, dass kein Kondensat in Güssing und Nidwalden anfällt bzw. entsorgt werden muss.
- Nachweis der Jahresbetriebsstunden der Anlagen.

Da die Ökobilanz in vielen wichtigen Punkten auf Planungsdaten beruht ist eine spätere Überprüfung auf Grundlage tatsächlicher Betriebsdaten notwendig. Wenn sich bei den oben genannten Punkten wesentliche Änderungen im Vergleich zu den Planungsdaten ergeben muss die Ökobilanz und das Kennwertmodell entsprechend überarbeitet werden.

9 Literatur

- Bauer 2003 Bauer C. (2003) Holzenergie. In: *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz* (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: www.ecoinvent.org.
- ecoinvent Centre 2006 ecoinvent Centre (2006) ecoinvent data v1.3, Final ecoinvent reports No. 1-16. ISBN 3-905594-38-2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Faist Emmenegger et al. 2003 Faist Emmenegger M., Heck T. and Jungbluth N. (2003) Erdgas. In: *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz* (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Forsberg 1999 Forsberg G. (1999) BioEnergy Transport Systems: Life cycle assessment of selected bioenergy systems. Ph. D. The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, SE.
- Forsberg 2000 Forsberg G. (2000) Biomass energy transport: Analysis of bioenergy transport chains using life cycle inventory method. In: *Biomass and Bioenergy*, **00**(2000), pp. 1-14.
- Frischknecht et al. 1996 Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Dones R., Gantner U., Hirschier 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 1998 Frischknecht R. (1998) Life Cycle Inventory Analysis for Decision-Making: Scope-Dependent Inventory System Models and Context-Specific Joint Product Allocation. 3-9520661-3-3. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Switzerland.
- Frischknecht et al. 2000 Frischknecht R., Braunschweig A., Hofstetter P. and Suter P. (2000) Human Health Damages due to Ionising Radiation in Life Cycle Impact Assessment. In: *Review Environmental Impact Assessment*, **20**(2), pp. 159-189.
- Frischknecht & Jungbluth 2000a Frischknecht R. and Jungbluth N. (2000a) Globale Umweltkriterien für Ökostrom. ESU-services im Auftrag des Vereins für umweltgerechte Elektrizität, Zürich, Uster, retrieved from: http://www.naturemade.org/common/texte/Stromlabel_7.2000.PDF.
- Frischknecht & Jungbluth 2000b Frischknecht R. and Jungbluth N. (2000b) Bewertung von "grünem Strom" mit Ökobilanzen. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, **50**(12), pp. 922-925, retrieved from: www.et-energie-online.de.

- Frischknecht et al. 2004a Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirsch R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2004a) Overview and Methodology. Final report ecoinvent 2000 No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2004b Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirsch R., Humbert S., Margni M., Nemecek T. and Spielmann M. (2004b) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000 No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2007) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Schriftenreihe Umwelt (noch im Entwurf). Bundesamt für Umwelt (BAFU), ÖBU Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmungsführung, Bern.
- Fürnsinn et al. 2005 Fürnsinn S., Bühler R. and Hofbauer H. (2005) Health, Safety and Environment of Biomass Gasification. IEA Bioenergy, Innsbruck, AT, retrieved from: www.gastechnology.org.
- Goedkoop 1995 Goedkoop M. (1995) The Eco-indicator 95 - Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale. Novem, rivm, Amersfoort.
- Goedkoop & Spriensma 1999 Goedkoop M. and Spriensma R. (1999) The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands.
- Goedkoop & Spriensma 2000a Goedkoop M. and Spriensma R. (2000a) The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, retrieved from: www.pre.nl/eco-indicator99/.
- Goedkoop & Spriensma 2000b Goedkoop M. and Spriensma R. (2000b) Methodology Annex: The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, retrieved from: www.pre.nl/eco-indicator99/.
- Hedemann & König 2003 Hedemann J. and König U. (2003) Technical Documentation of the ecoinvent Database. Final report ecoinvent 2000 No. 4. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Institut für Umweltinformatik, Hamburg, DE, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Hofstetter 1998 Hofstetter P. (1998) Perspectives in Life Cycle Impact Assessment: A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and valuesphere. Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-8377-X, Boston, Dordrecht, London.
- Jungbluth et al. 2002 Jungbluth N., Frischknecht R. and Faist M. (2002) Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. 81427. ESU-services for Bundesamt für Energie, Uster, retrieved from: www.energieforschung.ch.
- Jungbluth et al. 2007a Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Spielmann M., Stettler C. and Sutter J. (2007a) Life Cycle Inventories of Bioenergy. Final report ecoinvent No. xx (draft). ESU-services, Uster, CH.

- Jungbluth et al. 2007b Jungbluth N., Frischknecht R., Faist Emmenegger M., Steiner R. and Tuchschnid M. (2007b) Life Cycle Assessment of BTL-fuel production: Inventory Analysis. RENEW - Renewable Fuels for Advanced Powertrains, Sixth Framework Programme: Sustainable Energy Systems, Deliverable: D 5.2.7. ESU-services, Uster, retrieved from: <http://www.renew-fuel.com>.
- Jungbluth et al. 2007c Jungbluth N., Frischknecht R., Faist Emmenegger M., Steiner R. and Tuchschnid M. (2007c) Life Cycle Assessment of BTL-fuel production: Life Cycle Impact Assessment and Interpretation. RENEW - Renewable Fuels for Advanced Powertrains, Sixth Framework Programme: Sustainable Energy Systems, Deliverable: D 5.2.10. ESU-services, Uster, retrieved from: <http://www.renew-fuel.com>.
- LRV 2000a LRV (2000a) Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV): (Stand am 28. März 2000). 814.318.142.1. Schweizerischer Bundesrat, retrieved from: www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html.
- LRV 2000b LRV (2000b) Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV): (Stand am 23. August 2005). 814.318.142.1. Schweizerischer Bundesrat, retrieved from: www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html.
- Mann & Spath 1997 Mann M. K. and Spath P. L. (1997) Life Cycle Assessment of a Biomass Gasification Combined-Cycle Power System. National Renewable Energy Laboratory Operated by Midwest Research Institute, Cole Boulevard Golden, Colorado, retrieved from: www.eren.doe.gov/biopower/benefits/be_life_ca.htm.
- Marimon et al. 2007 Marimon N. P., Rieradevall J., Almera J. and Molins J. B. (2007) Life Cycle Assessment of Wooden by-products and Firewood Gasification in Metropolitan Areas: Case Study of the Metropolitan Area of Barcelona. In: *Int J LCA*, **submitted**, pp.
- Müller & Meier 2007 Müller A. and Meier B. (2007) Betriebsanleitung der Anlage Spiez (Entwurf). PYROFORCE Energietechnologie AG, Spiez, CH.
- naturemade 2007 naturemade (2007) Zertifizierungsrichtlinien: Bestimmungen und Kriterien. Version 1.3, 1.1.2007. Verein für Umweltgerechte Elektrizität (VUE), Zürich, retrieved from: www.naturemade.org.
- Nemecek et al. 2004 Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux. D. and Zimmermann A. (2004) Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent 2000 No. 15. Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Nussbaumer 1994 Nussbaumer T. (1994) Dioxinmissionen von Holzfeuerungen. In: *HeizungKlima*, **3**, pp. 83-87.
- Werner et al. 2003 Werner F., Althaus H.-J., Künniger T., Richter K. and Jungbluth N. (2003) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Final report ecoinvent 2000 No. 9. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

- Zah et al. 2007 Zah R., Böni H., Gauch M., Hischier R., Lehmann M. and Wäger P. (2007) Ökobilanzierung von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Bio-treibstoffen. Schlussbericht. Abteilung Technologie und Gesellschaft, Empa im Auftrag des Bundesamtes für Energie, des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Landwirtschaft, Bern, retrieved from: <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=12653>.

Anhang

Abbildungen

Fig. 1.1:	Ablaufschema Vergabe des Stromlabels <i>naturemade star</i>	1
Fig. 2.1	Schema der Holzvergasung (Müller & Meier 2007)	4
Fig. 2.2	Prozessfliessbild der Bereitstellung von Strom aus einer Holzgas-WKK mit Pyroforce-Festbett-Gleichstrom-Vergasung und trockener Gasreinigung	5
Fig. 4.1	Schematische Darstellung der Holzvergasungs- und WKK-Anlage in Spiez	11
Fig. 5.1	Schematic description of the wood gasification and cogeneration plant in Spiez	20
Fig. 6.1	Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))	27
Fig. 6.2	Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A))	28
Fig. 6.3	Analyse der Umweltbelastungen der Anlage Güssing pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A))	29
Fig. 6.4	Wichtigste Luftschadstoffe, emittiert im Lebenszyklus der Holzgas-WKK pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A), Schädigung der menschlichen Gesundheit), Anlage in Nidwalden mit Altholz	29
Fig. 6.5	Sensitivitätsanalyse für NO _x Emissionen (mg/Nm ³), Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))	30
Fig. 6.6	Sensitivitätsanalyse für den Anteil der extern genutzten Wärme, Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))	31
Fig. 6.7	Sensitivitätsanalyse für den Verbrauch von Rapsölmethylester, Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))	32
Fig. 6.8	Sensitivitätsanalyse für die Partikelemissionen, Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (H,A))	33
Fig. 6.9	Analyse der Umweltbelastungen der Anlage Güssing pro MJ Holzinput (Eco-indicator 99 (H,A)), Ausbringung der Asche auf Landwirtschaftsfläche	34
Fig. 6.10	Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit Holzverbrennungs-WKK pro kWh Strom bei Allokation nach Exergie (Eco-indicator 99 (H, A))	35
Fig. 7.1:	Eingabemaske des Kenngrössenmodells für die Bestimmung der Umweltbelastung von Festbett-Gleichstrom Vergasungsanlagen zur Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. Fiktives Beispiel	37
Fig. 7.2:	Screenprint des Kenngrössenmodells und der Auswertungsgrafik. Französischsprachige Version	38
Fig. 9.1	Unit process flow chart of the cultivation of potatoes including some examples of inputs and outputs	50
Fig. 9.2:	Überblick über die Schritte der Schadensmodellierung ausgehend von Sachbilanzergebnissen (Inventory Analysis) bis zur Schadensbewertung (Damage Assessment)	

am Beispiel der Emission radioaktiver Isotope und den dadurch zusätzlich verursachten Krebserkrankungen (Frischknecht et al. 2000).	53
Fig. 9.3: Vereinfachendes Schema der Vorgehensweise beim Eco-indicator 99. Grau: (Zwischen-) Ergebnisse; Weiss: Modellierungen; Goedkoop & Spriensma (2000a:11).	54
Fig. 9.4 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Umweltbelastungspunkte 2006)	56
Fig. 9.5 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (E, E))	57
Fig. 9.6 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK pro MJ Input (Eco-indicator 99 (I, I))	58

Tabellen

Tab. 4.1 Kennzahlen der 3 WKK-Anlagen	10
Tab. 4.2 Betrieb der Holzvergasungs- und WKK-Anlagen für ein Jahr	13
Tab. 4.3 Sachbilanzdaten des Betriebs der Vergasungs- und WKK-Anlagen	14
Tab. 4.4 Sachbilanzdaten der Erstellung der WKK-Anlagen	15
Tab. 4.5 Sachbilanzdaten für die Wärme- und Stromproduktion mit Holzgas aus Festbett-Vergasung, Allokation nach Exergie	16
Tab. 4.6 Sachbilanzdaten der Stromproduktion mit Holzgas aus Festbett-Vergasung, Systemerweiterung	16
Tab. 4.7 EcoSpold Metadaten der untersuchten Prozessschritte für Holz-Vergasung und Stromproduktion	17
Tab. 5.1 Key data of the three cogeneration plants	19
Tab. 5.2 Operation of the wood gasification and cogeneration units for one year	22
Tab. 5.3 Unit process raw data of the operation of the wood gasification and cogeneration units	23
Tab. 5.4 Unit process raw data of the construction of the cogeneration unit	24
Tab. 5.5 Unit process raw data of heat and electricity production from wood gas produced by fixed bed gasification, allocation by exergy	25
Tab. 5.6 Unit process raw data of electricity production from wood gas produced by fixed bed gasification, system expansion	25
Tab. 5.7 EcoSpold Meta Information of the process stages investigated for gasification of wood and electricity production	26
Tab. 8.1 Zertifizierungskriterien <i>naturemade star</i>	39
Tab. 9.1 Structure of the EcoSpold data format	47
Tab. 9.2 Example for the documentation of a unit process	49
Tab. 9.3 Example of unit process raw data of the production of 1kg potatoes in Switzerland with integrated production technology (excerpt from Nemecek et al. 2004)	51

Description of the electronic data format according to ISO 14048

In accordance with the goal and scope definition, the inventory analysis has been conducted as far as possible in an electronic format in compliance with the technical specification ISO/TS 14048. The EcoSpold format has been used for this purpose. The format has been developed in the ecoinvent project (Frischknecht et al. 2004a). It is based on the Spold format for LCA. All unit process data are available in electronic format as XML files. These files can be directly imported and used with all major LCA software products, e.g. GaBi, SimaPro or Umberto. The format is considered to comply also with the technical specification ISO/TS 14048.

Thus, the data are presented quite often in form of tables, which are a direct printout of the electronic format. Some reading guidance is given in this section. The so called EcoSpold data format is briefly described in this chapter. For a more extensive description, we refer to Hedemann & König (2003) and to the three dataset schemas available via the Internet.⁶

A process, its products and its life cycle inventory data are documented using the ecoinvent data format (EcoSpold) with the basic structure shown in Tab. 9.1.

Tab. 9.1 Structure of the EcoSpold data format

Meta information		
	Process	
	ReferenceFunction	defines the product or service output to which all emissions and requirements are referred to
	TimePeriod	defines the temporal validity of the dataset
	Geography	defines the geographical validity of the dataset
	Technology	describes the technology(ies) of the process
	DataSetInformation	defines the kind of process or product system, and the version number of the dataset
	Modelling and validation	
	Representativeness	defines the representativeness of the data used
	Sources	describes the literature and publications used
	Validations	lists the reviewers and their comments
	Administrative information	
	DataEntryBy	documents the person in charge of implementing the dataset in the database
	DataGenerator AndPublication	documents the originator and the published source of the dataset
	Persons	lists complete addresses of all persons mentioned in a dataset
	Flow data	
	Exchanges	quantifies all flows from technical systems and nature to the process and from the process to nature and to other technical systems
	Allocations	describes allocation procedures and quantifies allocation factors, required for multi-function processes

⁶ www.ecoinvent.ch → Publications → ecoinvent Documents and Technical Specifications → Data exchange format (EcoSpold)

Unit process description (Meta Information)

The following Tab. 9.2 shows an example of the data documentation. Column A provides some additional description for structuring the different lines. It is not part of the XML-files. In column C one can find the data field names. The following columns provide information for one unit process. In the report several such columns for similar processes might be shown together.

In this example, the information refers to the unit process “diesel, used by tractor”. The process has been investigated for the location “RER”. This stands for Europe. Two character location codes like DE, PL, etc. stand for countries and they are similar to the country abbreviations used for internet addresses. They are based on an ISO standard. Three character abbreviations stand for regions like Europe (RER), Global (GLO), Oceans (OCE), etc. A full list of abbreviations can be found on <http://www.ecoinvent.ch/en/publikationen.htm#list%20of%20ecoinvent%20names>.

The following line 4 (*InfrastructureProcess*) defines whether the unit process is an infrastructure process (1) or not (0). Some LCA software generally neglect infrastructure processes and thus this information is necessary for a clear identification.

Line 5 (*Unit*) defines the reference unit of the process. In this case the process refers to one kg of diesel used in a European tractor. Other units are for example MJ, m², kWh, etc. The unit “unit” refers to the inventory of a full item, e.g. one “unit” of a tractor stands for one tractor with the specifications described in the meta information.

For all following rows an explanation is provided in column G of Tab. 9.2. These explanations are not part of the electronic format.

As one can recognize from the numbering of the lines, several rows of the format, which are not of interest for the common reader but for the software developer, have been excluded from this simplifying description. Detailed and complete information is available by Hedemann & König (2003).

Tab. 9.2 Example for the documentation of a unit process

	A	C	D	G
1	Type	Field name		Explanations for the single rows
2	ReferenceFunction	Name	diesel, used by tractor	Definition for the output of the unit process
3	Geography	Location	RER	Definition for the location of the investigated process.
4	ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0	Line 4 (<i>InfrastructureProcess</i>) defines whether the unit process is an infrastructure process (1) or not (0). Some LCA software generally neglect infrastructure processes and thus this information is necessary for a clear identification.
5	ReferenceFunction	Unit	kg	Line 5 (<i>Unit</i>) defines the reference unit of the process. In this case the process refers to one kg of diesel used in an European tractor. Other units are for example MJ, m2, kWh, etc. The unit "unit" refers to the inventory of a full item, e.g. one "unit" of tractor stands for one tractor with the specifications described in the meta information.
14		IncludedProcesses	The inventory takes into account the diesel fuel consumption and the amount of agricultural machinery and of the shed, which has to be attributed to the use of agricultural machinery. Also taken into consideration is the amount of emissions to the air from combustion and the emission to the soil from tyre abrasion during the work process. The following activities where considered part of the work process: preliminary work at the farm, like attaching the adequate machine to the tractor; transfer to field (with an assumed distance of 1 km); field work (for a parcel of land of 1 ha surface); transfer to farm and concluding work, like uncoupling the machine. The overlapping during the field work is considered. Not included are dust other than from combustion and noise.	Line 14 (<i>IncludedProcesses</i>) shows the system boundaries of the unit process with a description of included and excluded parts of the life cycle.
17		Synonyms		In this line 17, synonyms to the process name might be shown. They can be used for an easy search in the different software products.
18		GeneralComment	Average data for use of diesel in agricultural machinery.	The general comment in line 18 (<i>GeneralComment</i>) gives an introducing description about this process.
20		Category	agricultural means of production	The "category" and "subcategory" can be used by different software programmes for structuring of a database.
21		SubCategory	work processes	
24		Formula		Additional information for chemical or technical products can be given in the following fields "formula", "CAS number" etc.
25		StatisticalClassification		
26		CASNumber		
27	TimePeriod	StartDate	1991	
28		EndDate	2002	
30		OtherPeriodText	Measurements were made in the last few years (1999-2001).	The fields for the time period describe in more detail the reference time frame for the investigation of the process, e.g. the time of publication, reference year for technical standards or statistical data, etc.
31	Geography	Text	The inventories are based on measurements made by agricultural research institute in Switzerland.	Line 31 with the field "Geography" describes more detailed the reference region for the dataset.
32	Technology	Text	Emissions and fuel consumption by the newest models of tractors set into operation during the period from 1999 to 2001.	The field on technology provides background about the status of technology, e.g. average, state of the art, etc.
34		ProductionVolume		
35		SamplingProcedure	The inventoried HC, NOx, CO values are measurements made following two test cycles (ISO 8178 C1 test and a specific 6-level-test created by the FAT) and on measurements made during the field work. The other emissions were calculated basing on literature data and the measured fuel consumption.	Lines 34 to 36 give more information about the sampling procedure for the data. It describes the actual production volume and the share considered for the inventory, the sampling procedure and the necessary extrapolations.
36		Extrapolations	Values given in the reference are representative for the average work processes. Processes are typical procedures for Switzerland around the year 2000, they are not statistical average processes.	
37		UncertaintyAdjustments	none	
45		PageNumbers	biomass production	Finally, "page numbers" gives information where more details can be found in the background report. The reference to a report is also part of the electronic format.

Unit process inventory (Flow Data)

The unit process inventory is an inventory of energy and material flows (in- and outputs), which are used or emitted by a unit process. It is also termed as unit process raw data. There are two classes of inputs and outputs: technosphere flows and elementary flows. Technosphere flows take place between different processes, which are controlled by humans, e.g. the delivery of ethanol from the plant to the fuel station. They can be physical or service inputs (e.g. electricity, fertilizer, waste management services or seeds) or outputs (e.g. the product). Elementary flows in this context are all emissions of substances to the environment (output) and resource uses (inputs, e.g. of fresh water or land). An emission is a single output from a technical process to the environment, e.g. the emission of a certain amount of SO₂.

Fig. 9.1 shows the unit process flow chart of potatoes cultivation with some inputs and outputs as an example. Potato seeds are the direct input; potatoes are the major output (product or reference flow) of this unit process. Besides, further inputs, e.g. fertilizer, machinery hours or pesticides are necessary. The unit process causes also some emissions, e.g. pesticides to water or N₂O to air.

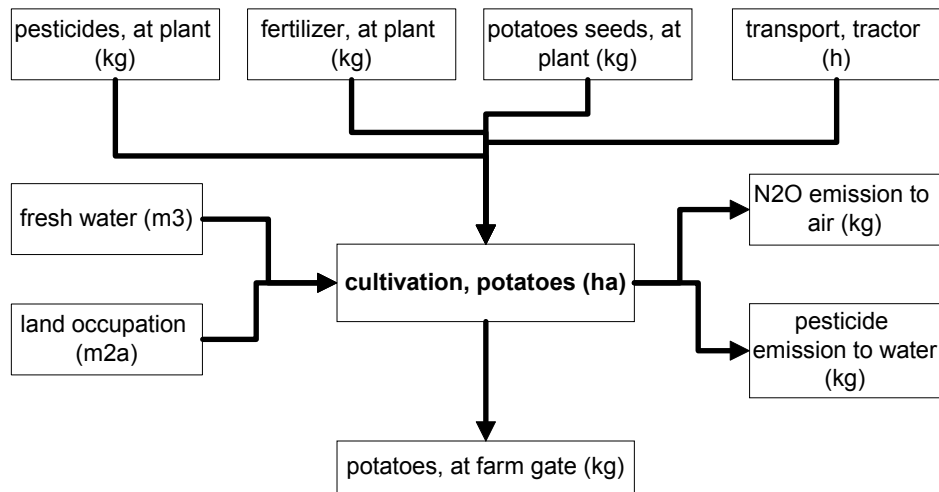


Fig. 9.1 Unit process flow chart of the cultivation of potatoes including some examples of inputs and outputs

Tab. 9.3 shows an example for some unit process raw data. In the first four lines of column L, there is again a description of the reference flow for this unit process. The description equals the structure of the process information shown before (Tab. 9.2). This example refers to the production of 1 kg potatoes in Switzerland (CH) with integrated production (IP) technology (excerpt from Nemecek et al. 2004). Only a part of the recorded 67 inputs and outputs is shown in this table.

Column B is not part of the electronic format, but it helps to structure the information about different inputs and outputs. In column F, G, J and K the different inputs and outputs to and from the unit process are described in detail. For technosphere inputs the nomenclature equals the description for the reference flow. Line 7, for instance, defines the input of a fertilizer (ammonium nitrate, as N, at regional storage). The fertilizer has been produced in Europe (RER). It is not an infrastructure process and the actual amount per kg potatoes in column L is provided with the unit “kg”. Or in other words line 7 can be read as follows: For the production of 1 kg potatoes one needs 0.44 grams of nitrogen in the form of ammonium nitrate fertilizer.

Tab. 9.3 shows some further examples for the input of fertilizers, pesticides and transport services. These technosphere inputs are linked to other unit processes that are described in similar tables.

In lines 49-53 resource uses of carbon dioxide and land are recorded (input flow from nature). The description of flows from and to nature differs a little bit from technosphere flows. There is no necessity for defining the location or the “infrastructure” field. Emissions are distinguished according to the compartments (air, water, soil) and sub compartments (e.g. river, groundwater). We show here different examples.

Finally, the technosphere output or reference flow of the process is defined as 1 kg potatoes from integrated production in Switzerland. This is not shown for all datasets as it is always equal to “1”.

This inventory table also provides information on the uncertainty of the recorded amount of the flows. In this case, the uncertainty type 1 (column M) stands for a lognormal distribution. The standard deviation in column N records the square value for the 95% geometric standard deviation. The mean

value multiplied or divided by the 95% squared geometric standard deviation gives the 97% maximum or the 2.5% minimum value, respectively.

The general comment in column R provides information about the estimation or calculation of each flow. In this example, the amounts of fertilizer are based on statistical data while different air emissions have been calculated with models.

Quite often, a simplified approach has been used for the estimation of uncertainties. The pedigree matrix in the field “general comment” provides the background information about this approach. Here different sources of uncertainty (Reliability, Completeness, Temporal correlation, Geographical correlation, Further technological correlation, Sample size) are estimated with scores between 1 and 5. The higher the single scores the higher is the estimated uncertainty. This means for the example (4,4,1,1,1,5) i.e. that reliability and completeness are rather poor while temporal, geographical and technological correlations of the used data source are good. This assessment of the sources of information is used to calculate the standard deviation in column N. For detailed information, please refer to Frischknecht *et al.* (2004a).

Tab. 9.3 Example of unit process raw data of the production of 1kg potatoes in Switzerland with integrated production technology (excerpt from Nemecek et al. 2004)

	B	F	G	J	K	L	M	N	R
	Explanations	Name	Location	Infrastructure- Process	Unit	potatoes IP, at farm	uncertainty typ e	StandardDeviat ion95%	GeneralComment
3									
4		Location				CH			
5		InfrastructureProcess				0			
6		Unit				kg			
7	Technosphere	ammonium nitrate, as N, at regional storehouse	RER	0	kg	4.35E-4	1	1.07	(2,1,1,1,1,na) statistical data
17		[sulfonyl]urea-compounds, at regional storehouse	CH	0	kg	2.69E-7	1	1.13	(2,2,3,1,1,na) statistical data
23		potato seed IP, at regional storehouse	CH	0	kg	6.78E-2	1	1.07	(2,1,1,1,1,na) statistical data
25		fertilising, by broadcaster	CH	0	ha	8.08E-5	1	1.07	(2,1,1,1,1,na) statistical data
26		harvesting, by complete harvester, potatoes	CH	0	ha	2.69E-5	1	1.07	(2,1,1,1,1,na) statistical data
40		transport, lorry 28t	CH	0	tkm	1.57E-3	1	2.71	(4,5,na,na,na,na) standard assumption
49	resource, in air	Carbon dioxide, in air			kg	3.42E-1	1	1.07	(2,2,1,1,1,na) calculation
50	resource, biotic	Energy, gross calorific value, in biomass			MJ	3.87E+0	1	1.07	(2,2,1,1,1,na) measurement
51	resource, land	Occupation, arable, non-irrigated			m2a	1.27E-1	1	1.77	(2,1,1,1,1,na) statistical data
52		Transformation, from arable, non-irrigated			m2	2.69E-1	1	2.67	(2,1,1,1,1,na) statistical data
53		Transformation, to arable, non-irrigated			m2	2.69E-1	1	2.67	(2,1,1,1,1,na) statistical data
54	air, low population density	Ammonia			kg	4.36E-4	1	1.30	(2,2,1,1,1,na) modell calculation
55		Dinitrogen monoxide			kg	1.29E-4	1	1.61	(2,2,1,1,1,na) modell calculation
57	soil, agricultural	Cadmium			kg	2.62E-8	1	1.77	(2,2,1,1,1,na) modell calculation
58		Chlorothalonil			kg	8.83E-5	1	1.32	(2,2,1,1,1,na) modell calculation
71	water, ground-	Nitrate			kg	9.36E-3	1	1.77	(2,2,1,1,1,na) modell calculation
72		Phosphate			kg	3.06E-6	1	1.77	(2,2,1,1,1,na) modell calculation
73	water, river	Phosphate			kg	1.06E-5	1	1.77	(2,2,1,1,1,na) modell calculation
75	Outputs	potatoes IP, at farm	CH	0	kg	1.00E+0			

RER – Europe; CH – Switzerland; IP – Integrated Production

Schadensorientierte ökologische Bewertung nach Eco-indicator 99

Die Methode Eco-indicator 99 (Goedkoop & Spriensma 2000a; b) ist aus der Methode Eco-indicator 95 (Goedkoop 1995) heraus weiterentwickelt worden. Das Konzept der Schadensmodellierung wurde weiterentwickelt und verfeinert. Zudem konnten im Vergleich zum Eco-indicator 95 weitere Umwelteffekte berücksichtigt werden (insbesondere Ressourcenentwertung und Flächeninanspruchnahme).

Ausgangspunkt dieser Methode ist der Bewertungsschritt, d.h. sie wurde Top-Down entwickelt (und nicht Bottom-Up ausgehend vom Ergebnis der Sachbilanz). Als Schutzgüter, deren Beeinträchtigung mithilfe einer Ökobilanz zu quantifizieren sind, werden

- Menschliche Gesundheit,
- Ökosystem Qualität, und
- Ressourcenentwertung

berücksichtigt. Ausgehend von diesen drei Schutzgütern werden Umweltschadensmodelle für die als wichtig erachteten Umweltwirkungen entwickelt um damit eine Anbindung an die Sachbilanzergebnisse zu ermöglichen. Im Folgenden werden die Schadensmodelle vorgestellt.

Menschliche Gesundheit

Schäden an der menschlichen Gesundheit werden in DALYs (disability adjusted life years) gemessen, ein Indikator welcher von der Weltgesundheitsorganisation und der Weltbank entwickelt wurde und sowohl vorzeitige Todesfälle als auch Krankheiten unterschiedlicher Schweregrade einschließt. Schäden an der menschlichen Gesundheit werden für respiratorische und karzinogene Effekte, Effekte infolge der Klimaänderung, des Ozonschichtabbaus und radioaktiver Strahlung quantifiziert. Die verwendeten Modelle bestehen aus den fünf folgenden Teilschritten (siehe Fig. 9.2):

1. Analyse der Stoffverteilung nach der Emission: Damit wird eine Emission (in Masseinheiten oder als Zerfälle pro Sekunde) mit der vorübergehenden Änderung der Konzentration in Luft, Wasser und/oder Boden verknüpft.
2. Expositionsanalyse: Die modellierte Änderung der Konzentration wird in eine Dosis für die dadurch geschädigten Bevölkerung resp. des dadurch geschädigten Ökosystems überführt.
3. Effektanalyse: Mit der ermittelten Dosis werden die damit verbundenen Gesundheitseffekte (z.B. die Häufigkeit und Arten von Krebs) bestimmt.
4. Schadensanalyse: Die Gesundheitseffekte werden mithilfe des DALY-Konzeptes gewichtet. Dabei werden die Gesamtdauer (in Jahren), während der Personen mit einer Krankheit leben müssen (Years Lived Disabled, YLD), resp. die durch vorzeitigen Tod verlorenen Lebensjahre (Years of Life Lost, YLL) abgeschätzt.
5. Schadensbewertung: Die abgeschätzten beeinträchtigten und verlorenen Lebensjahre werden gewichtet und addiert. Dazu sind Werturteile nötig.

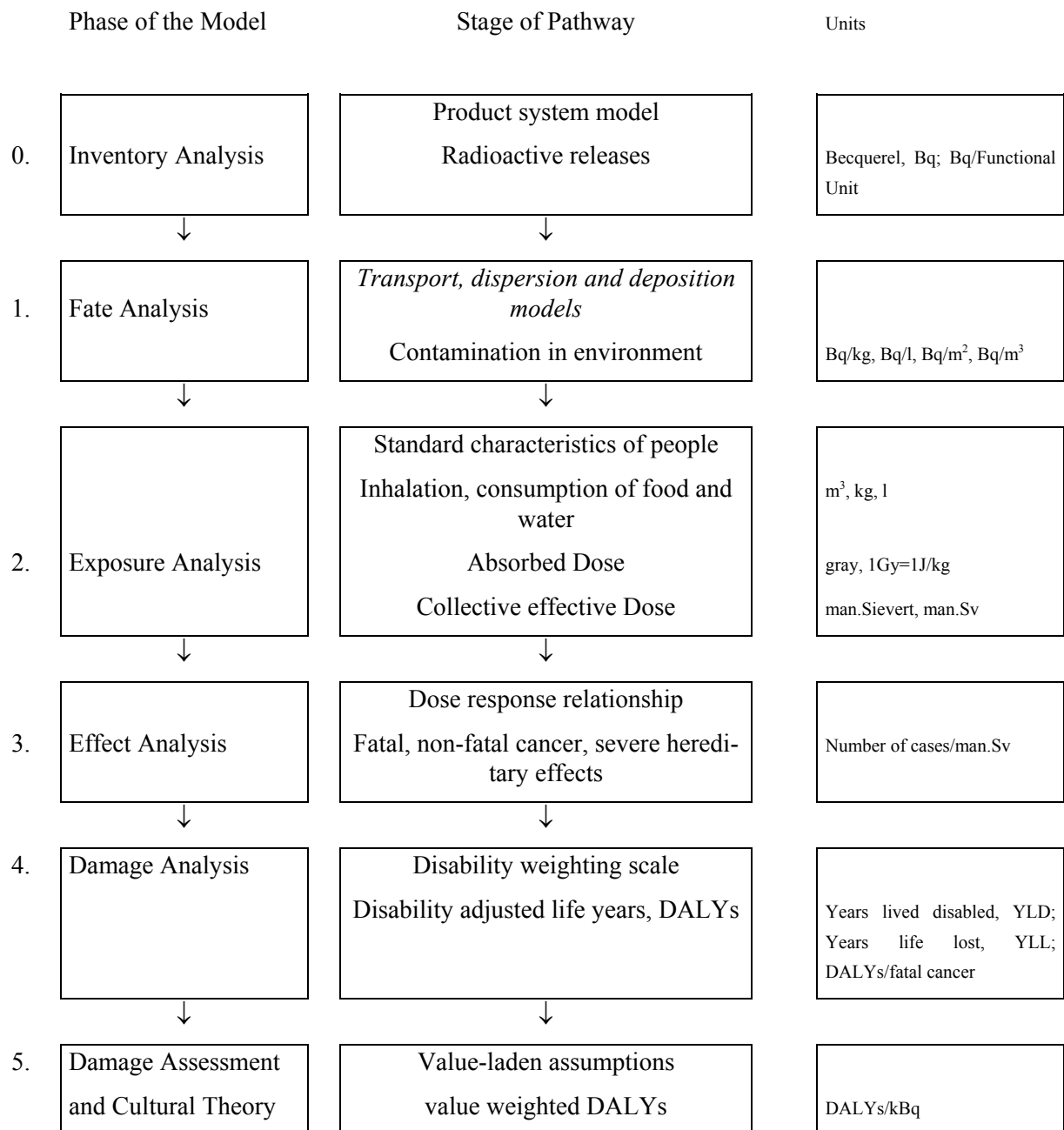


Fig. 9.2: Überblick über die Schritte der Schadensmodellierung ausgehend von Sachbilanzergebnissen (Inventory Analysis) bis zur Schadensbewertung (Damage Assessment) am Beispiel der Emission radioaktiver Isotope und den dadurch zusätzlich verursachten Krebserkrankungen (Frischknecht et al. 2000).

Ökosystem Qualität

Schäden an der Ökosystemqualität werden in Abhängigkeit des Prozentsatzes der durch die Umweltbelastung verschwundenen Arten ausgedrückt. Die Schadensmodellierung ist hier nicht so homogen wie beim Schutzgut „Menschliche Gesundheit“.

- Ökotoxizität wird durch den Anteil Arten quantifiziert, der in der Umwelt unter toxischem Stress leben muss (Potentially Affected Fraction, PAF). Da dieser Schaden nicht real beobachtbar ist,

muss ein grober Umrechnungsfaktor verwendet werden, um toxischen Stress in tatsächlich beobachtbare Schäden überzuführen.

- Versäuerung und Überdüngung werden in einer gemeinsamen Umweltwirkungskategorie modelliert. Die Schadensmodellierung erfolgt über die Schäden an Gefäßpflanzen.
- Schäden durch Landbedarf und Landveränderungen werden basierend auf empirischen Daten über das Auftreten von Gefäßpflanzen in Abhängigkeit des Landtyps und der Flächengröße modelliert. Sowohl der lokale Schaden auf dem besetzten oder veränderten Gebiet als auch der regionale Schaden am Ökosystem werden berücksichtigt.
- Schäden an Ökosystemen infolge von Klimaänderungen, des Ozonschichtabbaus oder der Photo-oxidantenbildung werden in der Methode (noch) nicht berücksichtigt.

Ressourcenentwertung

Der Ressourcenverbrauch wird durch einen Indikator gewichtet, der die Qualität der verbleibenden mineralischen und fossilen Ressourcen beschreibt. Der Indikator drückt den Qualitätsverlust mit Hilfe erhöhter Energieverbräuche des zukünftigen Ressourcenabbaus aus.

Zusammenfassung der Methode

In Fig. 9.3 werden die verschiedenen Teilschritte (weiss) und (Zwischen-)Resultate (grau hinterlegt) für die Modellierung des Eco-indicator 99 gezeigt.

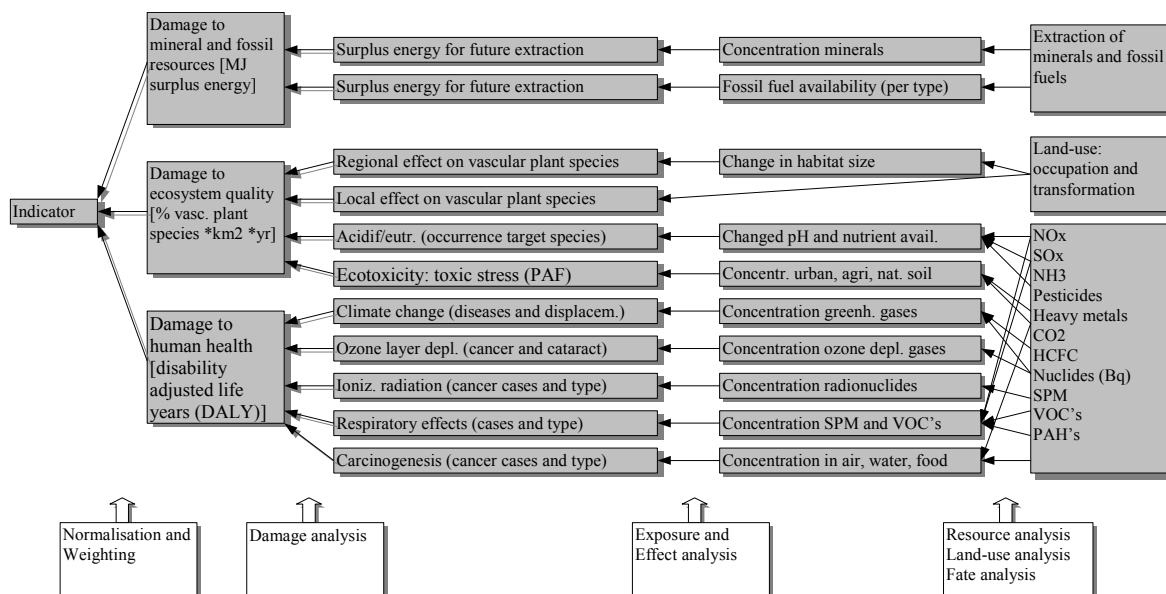


Fig. 9.3: Vereinfachendes Schema der Vorgehensweise beim Eco-indicator 99. Grau: (Zwischen-) Ergebnisse; Weiss: Modellierungen; Goedkoop & Spriensma (2000a:11).

Alle Emissionen, Landinanspruchnahmen und -transformationen werden als in Europa auftretend angenommen. Gleiches gilt für die damit verbundenen Schäden, was eine einschränkende Annahme darstellt. Diese Einschränkung wurde aber für Schäden durch Ressourcenverbrauch, und infolge der Emission von Treibhausgasen, ozonschichtabbauenden Stoffen, persistenten karzinogenen Substanzen, anorganischen Luftschadstoffen mit einer weiträumigen Verfrachtung und einigen langlebigen radioaktiven Isotopen nicht gemacht.

Die Methode berücksichtigt zwei Arten von Unsicherheiten:

- Datenunsicherheiten, die mit technischen Problemen der Messung und der Bestimmung von Expositions-, Effekt- und Schadensfaktoren zusammenhängen und
- Unsicherheiten in den Modellen.

Datenunsicherheiten werden unter Annahme einer lognormalen Wahrscheinlichkeitsverteilung mithilfe der quadratischen geometrischen Standardabweichung quantifiziert. Die Unsicherheiten sind in einzelnen Bereichen beträchtlich und können zwei bis über drei Grössenordnungen betragen.

Modellunsicherheiten können nicht wie Datenunsicherheiten behandelt werden. Modelle sind entweder korrekt oder nicht. Bei der Modellbildung sind Annahmen des Anwenders über Parameter und Modellgrenzen notwendig, die Werturteile beinhalten und die die Ergebnisse beeinflussen können. Drei verschiedene Wertemuster für diese Entscheidungen werden in der Methode benutzt, was zu drei in sich konsistenten Schadensmodellen führt. Die Ausgestaltung der Wertemuster erfolgt auf der Basis der Kulturtheorie (siehe dazu auch Hofstetter 1998:41-79) und umfasst die folgenden drei Typen von Entscheidern (stark vereinfacht):

- E (Egalitarian): Zukünftige Generationen ebenso wichtig wie heutige (Langzeitperspektive); weit entfernt lebende Menschen ebenso wichtig wie die eigene Familie; minimale wissenschaftliche Indizien der Umweltschädlichkeit eines Schadstoffes reichen aus, um ihn in einer Ökobilanz zu bewerten (vorsichtige Grundhaltung).
- I (Individualist): Hier und heute sind sehr wichtig (Kurzzeitperspektive, eigene Familie und nähere Umgebung sind wichtiger als Menschen anderer Regionen); nur wissenschaftlich klar beweisbare Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potenziellen Schadstoffen werden anerkannt (risikofreudige Grundhaltung).
- H (Hierarchist): Wägt jeweils zwischen der Gegenwart und der Zukunft, zwischen dem Hier und der Welt und zwischen Risiken und den Nutzen ab. Ein Konsens der Wissenschaftler/-innen über Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potenziellen Schadstoffen rechtfertigt deren Einbeziehen in Ökobilanzen.

Mit diesen drei Perspektiven umfassen die Ergebnisse einer Bewertung mit dem Eco-indicator 99 somit je drei Datensets für Humangesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen.

Die abschliessende Gewichtung zwischen diesen drei Dimensionen erfolgt auf der Basis der Ergebnisse eines an der ETH Zürich unter Ökobilanz-Experten durchgeführten schriftlichen Panels. Die dort eruierten Gewichtungsfaktoren, die nicht einem europäischen Durchschnitt entsprechen, können als Default-Werte verwendet werden. Andere, z.B. firmen- oder vereinsspezifische Gewichtungstriple sind jedoch denkbar resp. erwünscht. Die Methode wird in der Datenbank gemäss den Angaben in (Frischknecht et al. 2004b) verwendet.

Verwendung anderer Bewertungsmethoden

Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 2006)

Hier wird eine Auswertung mit der neuen Bewertungsmethode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 2006) gemacht (Frischknecht et al. 2007). Diese Methode spiegelt die Ziele der Schweizer Umweltpolitik wieder.

Fig. 9.4 zeigt wiederum den Vergleich der Stromerzeugung mit dem Grenzwert für *naturemade star*. Die Anlage in Spiez (dritte Säule) verursacht etwas mehr als 50% der Umweltbelastungen eines modernen fossilen Kraftwerkes. Die Anlage in Güssing (ganz rechts) schneidet noch etwas schlechter ab. Auch bei der Anlage in Nidwalden werden mit dieser Bewertungsmethode zu hohe Belastungen ausgewiesen (zweite Säule von rechts). Bei allen Anlagen sind hierfür insbesondere die Luftbelastungen insbesondere durch NO_x verantwortlich.

Es erscheint somit im Moment nicht angebracht, diese Bewertungsmethode für eine evtl. Überarbeitung des globalen Kriteriums für die Zertifizierung gemäss *naturemade star* zu verwenden.

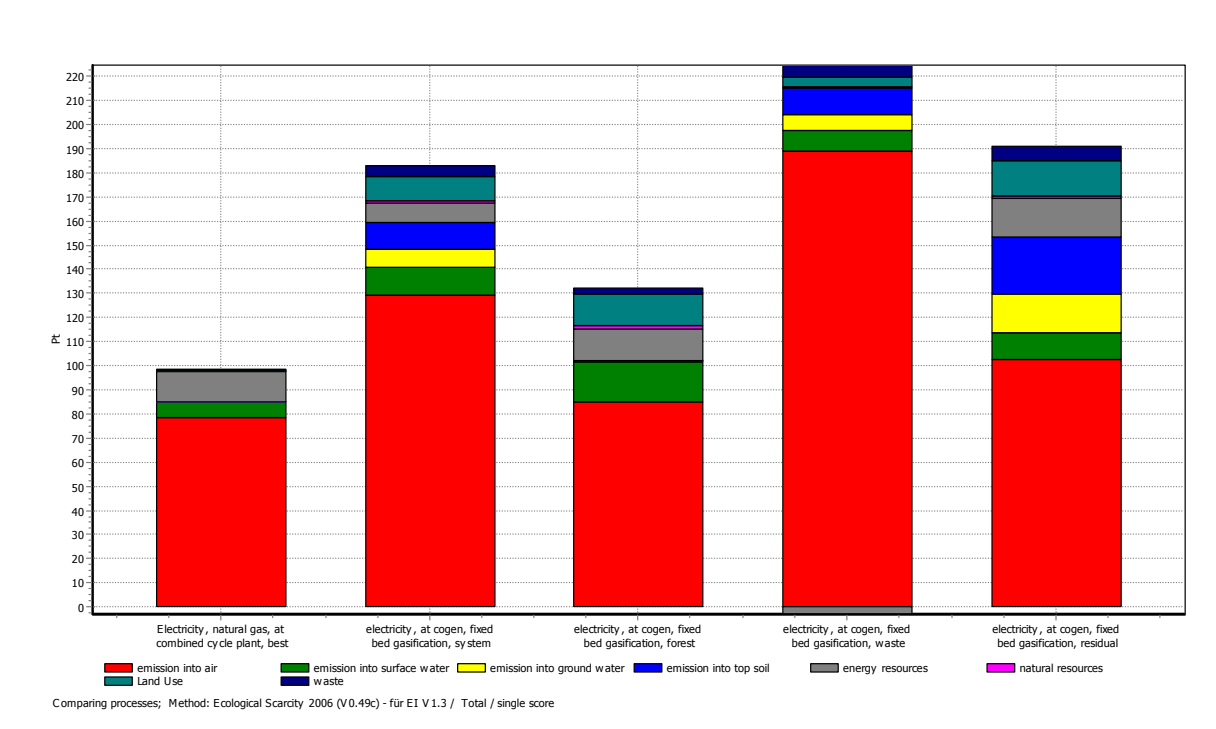


Fig. 9.4 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Umweltbelastungspunkte 2006)

Eco-indicator 99 (E, E) und (I, I)

In Fig. 9.5 werden die Umweltbelastungen mit der Bewertungsperspektive Egalitarian (E, E) bewertet. Auch hier erfolgt ein Vergleich mit dem *naturemade* Grenzwert. Die Methode kommt zu ähnlichen Aussagen wie der Eco-indicator 99 (H,A).

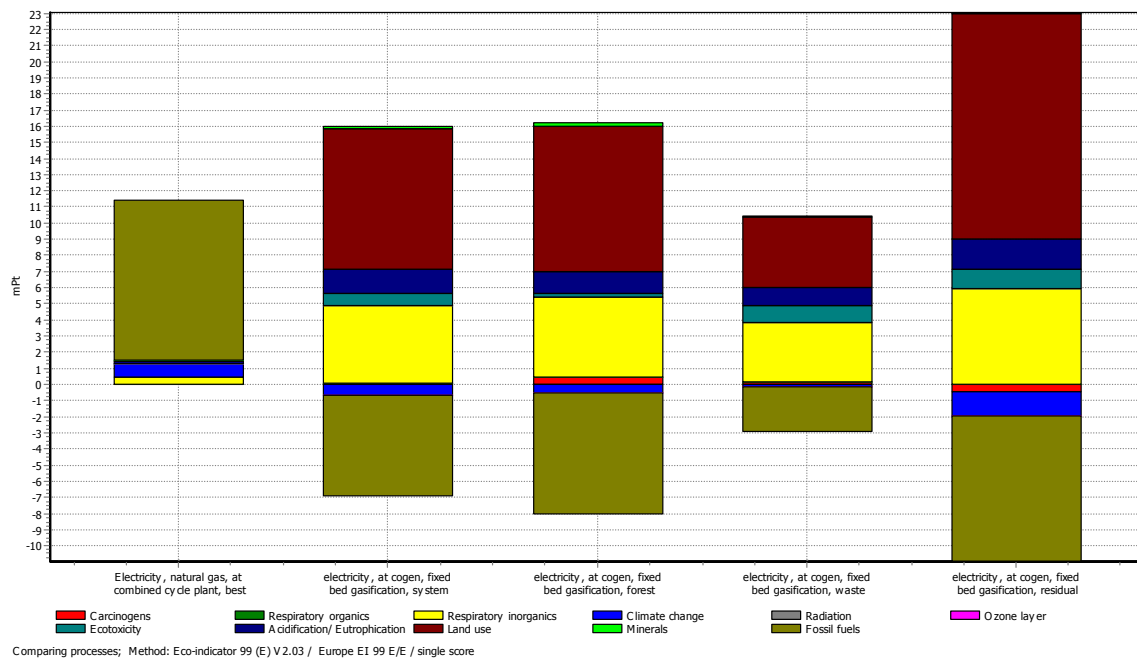


Fig. 9.5 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK mit dem Grenzwert für Ökostrom (Eco-indicator 99 (E, E))

Zu tendenziell anderen Aussagen, kommt eine Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (I,I) wie sie in Fig. 9.6 für den Vergleich der Anlagen durchgeführt wird. Hier hat der Verbrauch von Mineralien eine tendenziell höhere Bedeutung. Der Bau der notwendigen Infrastruktur wird damit deutlich wichtiger. Dies wirkt sich auch nachteilig bei einem Vergleich mit dem konventionellen Gaskraftwerk aus.

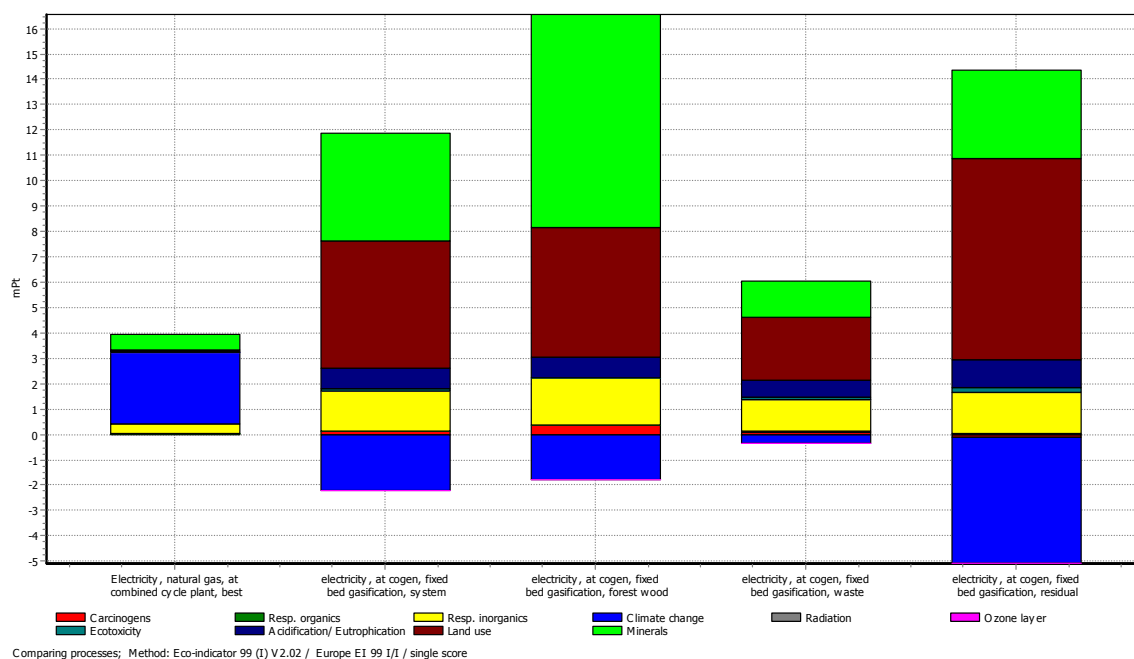


Fig. 9.6 Vergleich der Umweltbelastungen der Holzgas-WKK pro MJ Input (Eco-indicator 99 (I, I))