

Jahresbericht 2001, 15. Dezember 2001

Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz (Projekttitel, 2. Zeile)

Autor und Koautoren	Niels Jungbluth, Rolf Frischknecht, Mireille Faist
beauftragte Institution	ESU-services
Adresse	Kanzleistrasse 4, CH-8610 Uster
Telefon, E-mail, Internetadresse	Tel. 01 940 61 32, Fax 01 940 61 94, jungbluth@esu-services.ch, www.esu-services.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	Projekt 41458 Vertrag 81427
Dauer des Projekts (von – bis)	2001

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holz 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 die drei in der Schweiz in Betrieb befindlichen Anlagen besucht und von den Anlagenbetreibern Informationen erfragt. Ergänzt wurde diese Erhebung durch eine Literaturrecherche. Für diese drei Schweizer Beispelanlagen, für eine weitere Beispelanlage in den Niederlanden, für drei sogenannte Standardanlagen (Verbrennung von Holzbrennstoffen in Anlagen mit Multi-Zyklon oder mit weitergehender Abgasreinigung (Elektrofilter und Entstickung) sowie für die Altholzverbrennung mit weitergehender Abgasreinigung) wurde je eine Sachbilanz erstellt.

Als wesentliche Einflussgrössen des mit der Methode Eco-indicator 99 (Hierarchist) bewerteten Ergebnisses wurden die direkten Emissionen von Partikeln und NOx identifiziert. Bei der Verbrennung von Altholz sind auch Blei, Cadmium und Zink relevant. Weitere wichtige Grössen für die Beurteilung der Umweltbelastungen des erzeugten Stromes sind die Jahressproduktion an Strom und Wärme mit dem damit zusammenhängenden Holzverbrauch sowie die Aschemenge und deren Entsorgung.

Wärmekraftkopplungsanlagen mit einer weitergehenden Abgasreinigung, die insbesondere die Staubemissionen reduziert, haben in der Regel keine Probleme den Grenzwert für naturemade star einzuhalten. Bei Anlagen, die nur mit einem Multi-Zyklon ausgerüstet sind, ist ein Einhalten des Grenzwertes für effiziente und emissionsarme Anlagen (d.h. vergleichsweise niedrige Staubemissionen und gute Strom- und Wärmeausbeute) ebenfalls möglich. Auch für reine Kraftwerke ohne Wärmenutzung erscheint ein Unterschreiten des Grenzwertes möglich, wenn diese über eine sehr gute Abgasreinigung und einen relativ hohen elektrischen Wirkungsgrad (>20%) verfügen.

In einem weiteren Schritt wurde auch eine Sachbilanz für die Strom- und Wärmeerzeugung aus Holz mit den drei Varianten Holzbrennstoffe mit Multi-Zyklon oder weitergehender Abgasreinigung bzw. Altholz mit weitergehender Abgasreinigung erstellt. Hier erfolgte die Allokation der Umwelteinwirkungen auf Wärme und Strom anhand des Exergegehalts der Energieträger. Diese Sachbilanzen können als Hintergrunddaten für zukünftige Ökobilanzstudien dienen. Allerdings müssen für diese Abschätzung grosse Unsicherheiten durch die Wahl des Allokationsverfahrens und Variationen der spezifischen Parameter zwischen verschiedenen Anlagen berücksichtigt werden.

Projektziele

Ziel der **Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz** [1] ist die Beurteilung verschiedener Anlagen hinsichtlich ihrer Eignung für eine Auszeichnung mit dem Qualitätslabel *naturemade star* für ökologisch erzeugten Strom. Ausserdem wurden Sachbilanzdaten der Strom- und Wärmeleitung aus Holzbrennstoffen und Altholz als Hintergrunddaten für zukünftige Ökobilanzarbeiten erhoben.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Für die Untersuchung der Energie- und Stoffströme wurden zunächst die drei in der Schweiz in Betrieb befindlichen Anlagen besucht und von den Anlagenbetreibern Informationen erfragt. Ergänzt wurde diese Erhebung durch eine Literaturrecherche. Für diese drei Schweizer Beispianlagen und für eine weitere Beispianlage in den Niederlanden wurde je eine Sachbilanz erstellt. Tab. 1 zeigt die wichtigsten Kenngrössen der Schweizer und einer Niederländischen Beispianlagen im Überblick.

TAB. 1 WICHTIGE KENNGRÖSSEN DER VIER BEISPIELANLAGEN. EMISSIONEN IN DIE LUFT BEZOGEN AUF 11% O₂ IM ABGASSTROM (MIT BANDBREITE DER ANGEgebenEN MESSWERTE IN KLAMMERN).

	Waffenplatz Bière	Furnierwerk Lengwil	Fernheizkraftwerk Meiringen	Holzkraftwerk Cuijk
Typ	Dampfturbine mit Organic Rankine Cycle (ORC), Multi-Zyklon	Dampfkolbenmotor (Wasser), Multi-Zyklon	Dampfturbine (Wasser), Elektrofilter	Wirbelschichtfeuerung, Elektrofilter, katalytische und nicht-katalytische DeNOx-Anlage
Holzverbrauch (Sm ³ /a)	12000 (10000 – 14000)	20000	21800	ca. 915000 (275 000 t/a)
Elektrische Leistung (kWel)	335	400	700	25000
Thermische Leistung (kWth)	1440	6400	3600	-
Elektrizitätsproduktion (MWh/a)	371.7	1400	1120	200000
Wärmeleitung (MWh/a)	9000	13000	12100	-
Gesamtwirkungsgrad angeben	82%	83%	72%	29.8%
Gesamtwirkungsgrad berechnet	80%	85%	72%	19%
Staub (mg/Nm ³)	219 (118-305)	89 (80-91)	3	5.3
NOx (mg/Nm ³)	221	174 (149-181)	151	49.3
CO (mg/Nm ³)	70	14 (10-17)	30	n.a.

Ausserdem wurde für drei sogenannte Standardanlagen (Verbrennung von Holzbrennstoffen in Anlagen mit Multi-Zyklon oder mit weitergehender Abgasreinigung (Elektrofilter und Entstickung) sowie für die Altholzverbrennung mit weitergehender Abgasreinigung) je eine Sachbilanz erstellt.

Hier wurde versucht die durchschnittlichen Verhältnisse in der Schweiz zu modellieren. Ausserdem wurden zusätzliche Informationen aus der Literatur berücksichtigt. Die wichtigen Daten für die drei modellierten Standardanlagen werden in Tab. 2 gezeigt. Der Wirkungsgrad entspricht dem Durchschnitt der drei in der Schweiz betriebenen Anlagen.

TAB. 2 WICHTIGE KENNGRÖSSEN DER DREI STANDARDANLAGEN. EMISSIONEN IN DIE LUFT BEZOGEN AUF 11% O₂ IM ABGASSTROM.

	Holz WKK-Anlage, mit Multi-Zyklon	Holz WKK-Anlage, mit weitergehender Abgasreinigung	Altholz WKK, mit weitergehender Abgasreinigung
Holzverbrauch (Sm ³ /a)	15296	15296	15296
Elektrische Leistung (kWel berechnet)	110	107	107
Thermische Leistung (kWth berechnet)	4671	4671	4671
Elektrizitätsproduktion (MWh/a)	964	935	935
Wärmeleistung (MWh/a)	11367	11367	11367
Gesamtwirkungsgrad berechnet	78.4%	78.2%	78.2%
Staub (mg/Nm ³)	121	10	10
NOx (mg/Nm ³)	200	100	100
CO (mg/Nm ³)	100	100	100
Blei (mg/Nm ³)	0.049	0.049	2
Cadmium (mg/Nm ³)	0.0002	0.0002	0.069
Zink (mg/Nm ³)	0.5	0.5	2

Die Sachbilanzen wurden in die Ökobilanz-Software *eco^{mc}* der Firma *ESU-services* eingegeben. Die kumulierten Ergebnisse wurden dann mit verschiedenen Ökobilanz-Bewertungsmethoden ausgewertet. Tab. 3 zeigt die bewerteten Ergebnisse der Ökobilanz für den Anlagenbetrieb pro Betriebsjahr. Die Unterschiede zwischen den Anlagen sind durch unterschiedliche Leistungsklassen und damit verbunden unterschiedlichen Strom- und Wärmeleistungen (Siehe Tab. 1 und Tab. 2) begründet.

TAB. 3 AUSWERTUNG DER ÖKOBILANZ FÜR DEN BETRIEB DER VIER UNTERSUCHTEN ANLAGEN UND FÜR DIE DREI STANDARDANLAGEN.

Modul-Namen eco ^{mc}	Betrieb, Holz	Betrieb, Holz	Betrieb, Holz	Betrieb, Holz	Betrieb, Holz	Betrieb, Holz	Betrieb, Holz
	WKK Meiringen	WKK Biere	WKK Lengwil	Kraftwerk Cuijk, Wirbelschichtfeuerung	WKK-Anlage, mit Multi-Zyklon	WKK-Anlage, mit weitergehender Abgasreinigung	WKK, mit weitergehender Abgasreinigung
Bedarf nichterneuerbarer energetischer Ressourcen	MJ-eq	3850000	1900000	3190000	183000000	2550000	2670000
Bedarf erneuerbarer energetischer Ressourcen	MJ-eq	80800000	51000000	69500000	409000000	66800000	62600000
Treibhauseffekt 100a 2001	kg CO ₂ -equiv.	212000	128000	147000	12100000	202000	209000
EI99-aggregated, Egalitarian	EI99-points	39100	100000	72000	1950000	86200	35900
EI99-aggregated, Hierarchist	EI99-points	44800	126000	88100	2190000	107000	39900
EI99-aggregated, Individualist	EI99-points	29800	184000	117000	1620000	142000	31400
Umweltbelastungspunkte	UBP	726000000	1090000000	4540000000	2880000000	2100000000	1560000000
EI96+ Total	E-09 Pts.	3260	3670	5540	126000	5140	3430
							5750

In einem ersten Schritt der Auswertung wurde die Bedeutung verschiedener Einträge in der Sachbilanz mit unterschiedlichen Bewertungsmethoden überprüft. Bei einer Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (alle drei Perspektiven) [2-4] sind der Holzbezug (inkl. der notwendigen Transporte), die Wärmegutschrift sowie Emissionen von NO_x und Partikeln für den Hauptteil der Umweltbelastungen von Bedeutung.

Im Fall der Altholzfeuerung sind zusätzlich die Emissionen von Zink, Blei und Cadmium relevant. Alle Luftemissionen zusammen (ohne CO₂) sind bei den Anlagen ohne weitergehende Abgasreinigung für über 80% der verursachten Umweltbelastungen verantwortlich (siehe Fig. 1). Hierdurch werden wiederum etwa 80-90% durch die zwei (Partikel und NO_x) respektive fünf (zusätzlich Zn, Pb und Cd) Hauptschadstoffe bei der Holz- bzw. Altholzverbrennung verursacht. Auch die Entsorgung der Asche hat einen relevanten Anteil an den gesamten Umweltbelastungen, insbesondere

dann, wenn sie als Dünger verwendet wird (Bièrè) oder aus der Altholzverbrennung stammt und damit höhere Schwermetallgehalte hat.

Fig. 1 zeigt eine Dominanzanalyse für die mit dem Eco-indicator 99 (H) bewerteten Umweltbelastungen beim Betrieb der vier untersuchten Anlagen und für die drei Standardanlagen. Die Gutschrift für CO₂ (Kohlenstoffbindung beim Wachstum der Bäume) führt zu einem negativen Wert für die Brennstoffbereitstellung. Direkte Emissionen von CO₂ und anderen Schadstoffen sind für den Grossteil der gesamten Umweltbelastungen verantwortlich. Infrastruktur und Entsorgung haben insgesamt eher einen geringen Anteil an den Umweltbelastungen.

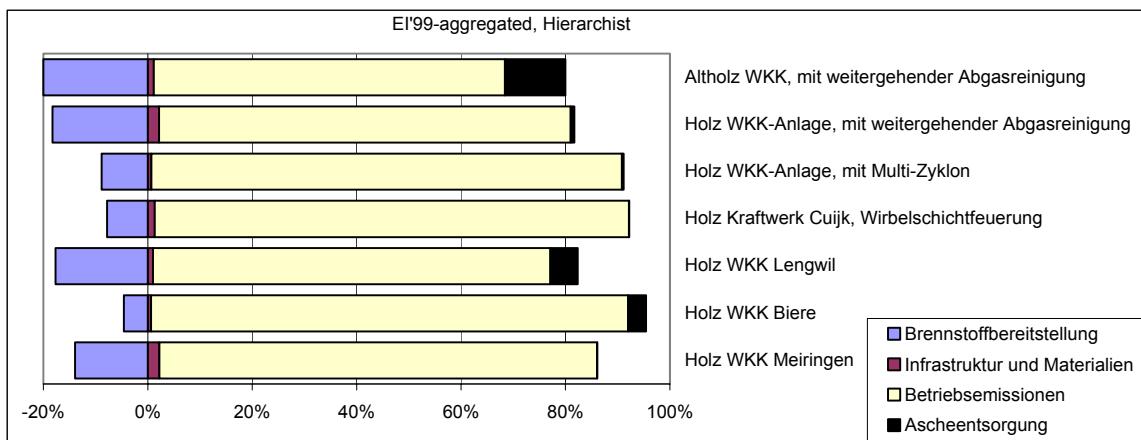


Fig. 1 Dominanzanalyse für die mit dem Eco-indicator 99 (H) bewerteten Umweltbelastungen beim Betrieb der vier untersuchten Anlagen und für die drei Standardanlagen.

Tab. 4 zeigt die Ergebnisse für Strom aus den untersuchten Anlagen bei einer Bewertung mit dem Eco-indicator 99 in EI99 (H) Punkten. Für die Berechnung der Umweltbelastungen wurden zunächst die Gesamtergebnisse der Anlage berechnet. Für die Wärmeerzeugung in der Anlage erfolgt in diesem Modell eine Gutschrift mit 50% der Umweltbelastungen für die gleiche Wärmemenge aus einer kondensierenden Gasheizung. Die restlichen Umweltbelastungen werden dem Strom angelastet. Der Grenzwert für die Auszeichnung mit dem Label *naturemade star* beträgt 0.014 EI99 (H) Punkte pro kWh Strom.

Bei den vier untersuchten Anlagen ergibt sich ein stark unterschiedliches Bild. Am besten schneidet die Anlage in Meiringen ab, die sogar auf eine negative Umweltbelastung kommt. Das heisst, die kombinierte Produktion von Strom und Wärme ist im Vergleich zu einer kondensierenden Gasheizung so gut, dass dem Strom keine Umweltbelastungen zugewiesen werden müssen. Hier wirkt sich insbesondere die weitergehende Abgasreinigung mit besonders niedrigen Emissionen positiv aus. Auch die Anlage in Lengwil bleibt deutlich unter dem Grenzwert. Die Anlage in Lengwil unterschreitet den Grenzwert auch dann noch, wenn neben den gemessenen Luftsabdstoffen noch weitere Luftemissionen entsprechend dem Modell für Standardanlagen berücksichtigt werden. Aufgrund der relativ hohen Staubemissionen liegt die Anlage in Bière deutlich über dem Grenzwert.

Die zum Vergleich untersuchte Anlage aus den Niederlanden verfügt über eine relativ gute Abgasreinigung und einen für diese Technologie relativ hohen elektrischen Wirkungsgrad. Allerdings wird die Wärme bisher nicht genutzt. Sie liegt trotzdem knapp unter dem Grenzwert. Zu berücksichtigen ist bei diesen vier Bilanzen allerdings, dass nur die Emissionen in der Sachbilanz berücksichtigt wurden, für die Messwerte vorlagen. Somit sind die wirklichen Umweltbelastungen noch etwas höher.

Auch für die beiden angenommenen Standardanlagen mit weitergehender Abgasreinigung ist die Umweltbelastung negativ und der Grenzwert für die Auszeichnung mit dem Label *naturemade star* wird problemlos eingehalten. Die Anlage für die Verbrennung von Altholz schneidet etwas schlech-

ter ab als die Anlage zur Verbrennung von Holzbrennstoffen. Dank der im Normalfall besseren Filtertechnologie sind die durchschnittlichen Emissionen der wichtigen Luftschadstoffe relativ gering. Allerdings verursacht die Entsorgung der Asche aus Altholz höhere Umweltbelastungen. Die Standardanlage zur Holzverbrennung, die nur mit einem Multi-Zyklon ausgerüstet ist, erreicht den Grenzwert knapp.

Bei den bisher vorliegenden Werten gibt es relativ grosse Unsicherheiten, da der Holzverbrauch sowie Strom- und Wärmeproduktion jeweils für das gesamte Jahr angegeben wurden. Im Sommerhalbjahr wird aber in den Anlagen Bière und Meiringen kein Strom, sondern nur Wärme produziert. Für die spätere Zertifizierung sind deshalb zusätzliche Informationen zur Aufteilung der Aufwendungen auf Strom und Wärme notwendig.

TAB. 4 ERGEBNISSE FÜR DIE UNTERSUCHTEN ANLAGEN BEI EINER BEWERTUNG MIT DEM ECO-INDICATOR 99 (H) IN EI99 (H) PUNKTEN PRO JAHR BZW. PRO KWH STROM. GRAU HINTERLEGTE WERTE ZEIGEN EIN UNTERSCHREITEN DES GRENZWERTES VON 0.014 EI99 (H) PUNKTE PRO KWH AN.

El'99-aggregated, Hierarchist	Holz WKK Meiringen	Holz WKK Bière	Holz WKK Lengwil	Kraftwerk Cuijk, Wirbelschichtfeuerung	Holz WKK-Anlage, mit Multi-Zyklon	Holz WKK-Anlage, mit weitergehender Abgasreinigung	Altholz WKK, mit weitergehender Abgasreinigung	Holz WKK Lengwil plus Zusatzemissionen
Betrieb pro Jahr	4.48E+4	1.26E+5	8.81E+4	2.19E+6	1.07E+5	3.99E+4	7.31E+4	8.89E+4
Strom (Abz. Gasheizung) pro kWh	-5.53E-2	1.26E-1	-1.90E-2	1.22E-2	6.77E-3	-6.46E-2	-2.90E-2	-1.84E-2

Fig. 2 zeigt den Einfluss der Partikelemissionen auf das Ergebnis für die drei Standardanlagen. Alle übrigen Emissionen und Annahmen wurden bei dieser Berechnung konstant gehalten (siehe Tab. 2). Bis zu einem Emissionswert von etwa 80mg Staub/Nm³ (bei 11% O₂ im Abgas) erreichen die Anlagen zur Verbrennung von Altholz den Grenzwert für das *naturemade star* Label. Für Anlagen, die mit Holzbrennstoffen befeuert werden, könnte der Wert sogar bis etwa 120mg/Nm³ steigen unter der Annahme, dass andere Emissionen und der Gesamtwirkungsgrad unverändert bleiben.

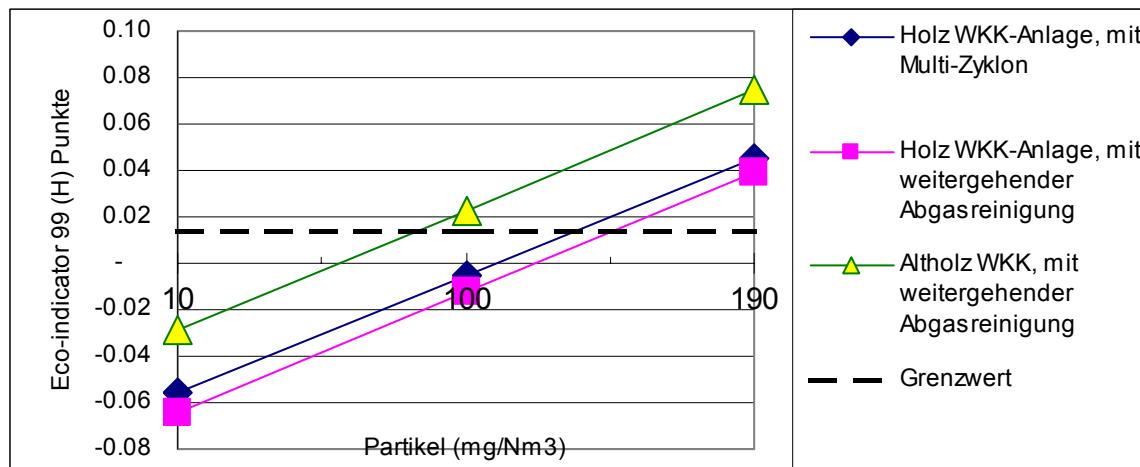


FIG. 2 EINFLUSS DER PARTIKELEMISSIONEN AUF DAS ERGEBNIS FÜR DIE STANDARDANLAGEN. ECO-INDICATOR 99 (H) PUNKTE PRO KWH STROM.

Zur Beurteilung der Stromerzeugung aus Holz im Rahmen der Ökostromzertifizierung wurden die Standardanlagen in einem Kenngrößenmodell modelliert. Vom Betreiber einer Anlage müssen für einen einfachen Vergleich mit dem Grenzwert für das Labelling folgende Daten zur Verfügung gestellt werden: Anlagentyp, Holzverbrauch, Transportdistanz, Kesselwirkungsgrad und –

wärmeabgabe, Emissionen von Staub und NO_x (plus Blei, Cadmium und Zink für Altholzfeuerungen), Jahresproduktion an Strom und genutzte Wärme, die Aschemenge und deren Entsorgungsweg.

Wärmekraftkopplungsanlagen mit einer weitergehenden Abgasreinigung, die insbesondere die Staubemissionen reduziert, haben in der Regel keine Probleme den Grenzwert für *naturemade star* einzuhalten. Bei Anlagen, die nur mit einem Multi-Zyklon ausgerüstet sind, ist ein Einhalten des Grenzwertes für effiziente und emissionsarme Anlagen (d.h. vergleichsweise niedrige Staubemissionen und gute Strom- und Wärmeausbeute) ebenfalls möglich. Auch für reine Kraftwerke ohne Wärmenutzung erscheint ein Unterschreiten des Grenzwertes möglich, wenn diese über eine sehr gute Abgasreinigung und einen relativ hohen elektrischen Wirkungsgrad (>20%) verfügen.

In einem weiteren Schritt wurde auch eine Sachbilanz für die Strom- und Wärmeerzeugung aus Holz mit den drei Varianten Holzbrennstoffe mit Multi-Zyklon oder weitergehender Abgasreinigung bzw. Altholz mit weitergehender Abgasreinigung erstellt. Hier erfolgte die Allokation der Umwelt-einwirkungen auf Wärme und Strom anhand des Exergiegehalts der Energieträger. Diese Sachbilanzen können als Hintergrunddaten für zukünftige Ökobilanzstudien dienen. Allerdings müssen für diese Abschätzung grosse Unsicherheiten durch die Wahl des Allokationsverfahrens und Variationen der spezifischen Parameter zwischen verschiedenen Anlagen berücksichtigt werden.

Die untersuchten Anlagen, die Methode und die Ergebnisse des Projektes wurden in einem Bericht ausführlich dokumentiert [1].

Nationale Zusammenarbeit

Die Ökobilanz wurde in Zusammenarbeit mit dem *Verein für Umweltgerechte Elektrizität* erarbeitet. An der Datenerhebung waren die Interessenverbände *Holzenergie Schweiz* und *IG Altholz* beteiligt. Daten wurde ausserdem von den Besitzern und Betreibern der in der Schweiz gebauten Anlagen zur Holzverstromung bereitgestellt. Die Annahmen zu den besonders wichtigen Emissionen von Luftschatdstoffen und zu den Schwermetallgehalten in Holzaschen wurden von *Dr. Thomas Nussbaumer* und *Dr. Philipp Hasler, Verenum*, Zürich überprüft.

Internationale Zusammenarbeit

Für die Datenerhebung wurden Studien aus dem Ausland berücksichtigt und die Autoren um ergänzende Informationen gebeten [5, 6]. Die Ergebnisse des Projektes wurden im Rahmen des SETAC Case Studies Symposiums vorgestellt [7]. Eine weitere Präsentation ist auf einem Ökobilanz Workshop in Mumbai, Indien [8] geplant.

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Das Projekt wurde im November 2001 unter Erreichung der vorgesehenen Projektziele abgeschlossen. Die Ergebnisse des Projektes wurden dazu genutzt ein Kenngrössenmodell für die Zertifizierung mit dem Qualitätslabel „*naturemade star*“ für umweltgerecht erzeugten Strom zu entwickeln. Vom *Verein für Umweltgerechte Elektrizität* werden zur Zeit die lokalen Kriterien für die Zertifizierung diskutiert. Danach können in der Schweiz betriebene Anlagen das Label für den bei ihnen erzeugten Strom beantragen.

Referenzen

1. Jungbluth, N., Frischknecht, R. and Faist, M. 2001. Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. Forschungs- und P+D Programm Biomasse, Projekt 41458, Vertrag No. 81427, ESU-services for Bundesamt für Energie, www.energie-schweiz.ch, Uster.
2. Goedkoop, M. and Spriensma, R. 2000. The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology Report, 2nd revised ed. PRé Consultants, www.pre.nl/eco-indicator99/, Amersfoort, The Netherlands.
3. Goedkoop, M. and Spriensma, R. 2000. Methodology Annex: The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. 2nd revised ed. PRé Consultants, www.pre.nl/eco-indicator99/, Amersfoort, The Netherlands.
4. Jungbluth, N. and Frischknecht, R. 2000. Eco-indicator 99 - Implementation: Assignment of Damage Factors to the Swiss LCI database "Ökoinventare von Energiesystemen". ESU-services, www.esu-services.ch, Uster.
5. Remmers, R. 2000. 25 MW Holzkraftwerk mit stationärer Wirbelschichtfeuerung in Cuijk (NL). In: Luftreinhaltung, Haus-Systeme und Stromerzeugung, Tagungsband zum 6. Holzenergie-Symposium. ETH Zürich, Bundesamt für Energie.
6. Jungmeier, G., Canella, L., Spitzer, J. and Stiglbrunner, R. 1999. Treibhausgasbilanz der Bioenergie: Vergleich der Treibhausgasemissionen aus Bioenergie-Systemen und fossilen Energiesystemen. Endbericht No. IEF-B-06/99, Joanneum Research, Inst. f. Energieforschung, Graz.
7. Jungbluth, N. and Frischknecht, R. 2001. Environmental labelling of green electricity with LCA key parameter models. In: 9th LCA Case Studies Symposium. Noorwijkherhout, NL, SETAC.
8. Jungbluth, N. and Frischknecht, R. 2002. Environmental labelling of green electricity with LCA key parameter models. In: International Conference on Ecobalance and LCA. Mumbai, India, Indira Gandhi Institute of Development Research (IGIDR).

Abstract

This life cycle assessment (LCA) of electricity production from wood has been carried out with the goal to evaluate different power plants and to analyse the possibilities for a labelling with the Swiss ecolabel naturemade star. Therefore, a life cycle inventory has been compiled for the three existing combined cycle power plants in Switzerland and a fourth power plant in operation in the Netherlands. These case studies are based on information provided by the owners and operators as well as information from literature.

Additionally three standard technologies have been modelled. For that purpose, additional information especially for air pollutant emissions has been considered. These standard plants describe the production of electricity from wood in a combined cycle power plant with multi-cyclone waste gas purification or an advanced filter technology with nitrogen oxide reduction and electrostatic particle filter. Electricity production using waste wood in a plant with advanced waste gas treatment has also been assessed.

A life cycle impact assessment with the method Eco-indicator 99 (hierarchist perspective) showed direct emissions of particles and NO_x as the main parameters for the environmental impacts caused. Further on, emissions of the heavy metals lead, cadmium and zinc are important while burning waste wood. The energy efficiency of the plant, calculated from the amount of wood used and the produced electricity and heat, is another important entry to the inventory. In addition, transports of wood and the waste management for ashes and filter residues are important for the total Eco-indicator 99 (H) points.

These results have been used to develop a key-parameter-model that can be used for an efficient assessment of electricity from wood combustion in comparison to the threshold level for the naturemade star label. Therefore, the environmental impacts of the whole plant must be allocated between the two co-products heat and electricity. Fifty percent of the environmental impacts due to the delivery of an equivalent amount of heat by a modern condensing gas furnace have been subtracted from the yearly environmental impacts of the plant. The remaining environmental impacts are allocated to the electricity produced.

The operator of a plant needs to provide the following information for an efficient assessment of the global labelling criterion: type of plant, (waste) wood consumption, transport distance, boiler energy efficiency and heat production, emission factors for particles, NO_x, (lead, cadmium and zinc for waste wood boilers), yearly production of electricity and heat, type of ash management and amount of ashes.

Plants with an advanced waste gas purification technology cause normally much lower impacts than allowed for the labelling. Good plants with multi-cyclone filter can also achieve the label if they do not have too high emissions of particles and NO_x and if they have a good overall energy efficiency. The same holds true for power plants without co-production of heat. These plants have to have very low emissions and a comparatively good electrical efficiency if they want to achieve the label.

A further part of the study investigates background life cycle inventories for the production of heat and electricity in wood burning power plants. Again the same three types of standard power plants have been used to model the environmental impacts, but in this case these impacts have been allocated to the two products heat and electricity based on the exergy content of the delivered energy (electricity and heat). These inventories may be used as background data for general life cycle assessment studies. Nevertheless, it has to be kept in mind that large variations due to the type of allocation and the specific plant parameters are possible.

Kurzfassung

Ziel der Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holz ist die Beurteilung verschiedener Anlagen hinsichtlich ihrer Eignung für eine Auszeichnung mit dem Qualitätslabel *naturemade star* für ökologisch erzeugten Strom. Wärmekraftkopplungsanlagen mit einer weitergehenden Abgasreinigung, die insbesondere die Staubemissionen reduziert, haben in der Regel keine Probleme den Grenzwert für *naturemade star* einzuhalten. Bei Anlagen, die nur mit einem Multi-Zyklon ausgerüstet sind, ist ein Einhalten des Grenzwertes für effiziente und emissionsarme Anlagen (d.h. vergleichsweise niedrige Staubemissionen und gute Strom- und Wärmeausbeute) ebenfalls möglich. Auch für reine Kraftwerke ohne Wärmenutzung erscheint ein Unterschreiten des Grenzwertes möglich, wenn diese über eine sehr gute Abgasreinigung und einen relativ hohen elektrischen Wirkungsgrad (>20%) verfügen.