

Ökobilanz für Energie aus Kehrrechtverbrennungsanlagen



BUWAL

Bundesamt für Umwelt, Wald
und Landschaft



**Baudirektion
Kanton Zürich**

AWEL

Amt für Abfall, Wasser,
Energie und Luft des
Kantons Zürich

Bern/Zürich, 29. Juni 2005

Impressum

Auftraggeber:

BUWAL
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Chef Abteilung Abfall: Dr. Hans-Peter Fahrni
3003 Bern

Baudirektion Kanton Zürich
AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe: Franz Adam
8090 Zürich

Projektleitung, Redaktion:

Energie in Infrastrukturanlagen
Ernst A. Müller, Felix Schmid
Lindenhofstrasse 15
8001 Zürich
Tel. 044 226 30 90, Fax: 044 226 30 99
www.infrastrukturanlagen.ch
energie@infrastrukturanlagen.ch

Autor:

Doka Ökobilanzen
Gabor Doka
Stationsstrasse 32
8003 Zürich
Tel./Fax: 044 463 16 08
www.doka.ch

Bezug (herunterladbar unter):

www.awel.zh.ch/aktuell
www.infrastrukturanlagen.ch

Inhaltsverzeichnis

<i>Glossar</i>	3
<i>Vorwort</i>	4
<u>1 Einleitung</u>	<u>5</u>
<u>2 Ausgangslage</u>	<u>6</u>
<u>3 Zielsetzung dieser Studie</u>	<u>8</u>
<u>4 Methodik</u>	<u>9</u>
<u>5 Inventar</u>	<u>15</u>
<u>6 Ökobilanz-Resultate</u>	<u>19</u>
<u>7 Lokale Kriterien für KVA</u>	<u>24</u>
<u>8 Zusammenfassung</u>	<u>27</u>
<u>Literatur</u>	<u>28</u>

Die hier gefundenen Resultate sind nur für das Vorgehen des naturemade-Labels bzw. daraus abgeleitete Vorgehen gültig, das aber unter Mitwirkung der Elektrizitätswerke, Umweltverbände und Behörden breit abgestützt ist. Es sind andere, hier nicht betrachtete Vorgehensweisen der Ökobilanzierung möglich, die zu anderen Schlüssen führen könnten. In diesem Sinne gelten die Resultate nur für die gewählte Methodik und sollten nicht mit Resultaten aus Studien, die auf anderen Vorgehensweisen basieren, verglichen oder vermischt werden.

Glossar

ARA	Abwasserreinigungsanlage
Eco-indicator	hier Eco-indicator'99 (HA). Bewertungsmethode, die eine Vielzahl ökologischer Belastungen (Schadstoffe, Ressourcenbeanspruchungen) in ihrer Schädlichkeit integral bewertet. Methodische Vorgabe durch den Verein für umweltgerechte Elektrizität (VUE).
GuD	Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
VUE	Verein für umweltgerechte Elektrizität
TVA	Technische Verordnung über Abfälle

Vorwort

Die schweizerischen Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) verbrennen jährlich rund 3 Millionen Tonnen Abfälle. Dabei ist die verbrannte Abfallmenge in den letzten Jahren annähernd gleich geblieben, während sich die verwertete Menge an Siedlungsabfällen dank vermehrter Separatsammlungen in den letzten 20 Jahren verdoppelte. Bei der Abfallverbrennung werden beträchtliche Energiemengen frei, entspricht doch der Heizwert der Abfälle etwa dem von Holz. Zwar nutzen heute praktisch alle KVA die anfallende Energie zur Stromproduktion und – dort wo dies möglich ist – auch als Fernwärme. Der Wirkungsgrad der Anlagen ist jedoch sehr unterschiedlich und vielerorts besteht ein Verbesserungspotenzial. Rund die Hälfte der Energie in KVA stammt aus Biomasse im Abfall und ist somit erneuerbare Energie. Die KVA liefern heute aus Biomasse jährlich 700 Gigawattstunden erneuerbaren Strom. Das sind – ohne Berücksichtigung der Wasserkraft – über 75 Prozent der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in der Schweiz.

Durch eine Steigerung des Wirkungsgrades könnten die KVA noch zusätzlichen Strom erzeugen. Doch angesichts der teilweise tiefen Abnahmepreise besteht für die KVA-Betreiber kaum ein wirtschaftlicher Anreiz für Investitionen in energetische Optimierungen. Schon eine geringfügige Erhöhung der Entschädigung für Strom aus KVA um wenige Rappen pro Kilowattstunde würde die Situation verändern und vielen Projekten, die eine Steigerung der Stromproduktion aus KVA zum Ziel haben, zum Durchbruch verhelfen.

Wie die vorliegende Studie zeigt, weist Strom aus KVA eine ausgezeichnete Ökobilanz auf. Dies erstaunt nicht, da die Gewinnung elektrischer Energie ohne zusätzliche Emissionen der KVA erfolgt. Zudem verursachen die modernen KVA dank hochentwickelter Abgasreinigung nur noch eine geringfügige Umweltbelastung.

Gerne hoffen wir, mit dieser Studie dazu beizutragen, dass in Zukunft die bei der Verbrennung von Abfällen frei werdende Energie besser vermarktet, etwas höher entschädigt und damit letztlich auch effizienter genutzt werden kann.

Amt für Abfall, Wasser,
Energie und Luft des Kantons Zürich
Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe

Bundesamt für Umwelt, Wald
und Landschaft
Abteilung Abfall

Franz Adam

Hans-Peter Fahrni

1 Einleitung

In der vorliegenden Arbeit soll durch einen neutralen Gutachter die Ökobilanz von Strom und Wärme aus der Verbrennung von Biomasseabfällen in KVA untersucht werden. Zu diesem Zweck wird eine Ökobilanz gemäss der gleichen Methodik erstellt, wie sie der Verein für umweltgerechte Elektrizität (VUE) auch bei anderen erneuerbaren Energien verlangt. Dadurch werden die Ergebnisse unter den verschiedenen erneuerbaren Energien vergleichbar. Zudem ist diese Methode in der Schweiz von verschiedensten Kreisen akzeptiert - von Umwelt- und Konsumentenschutz bis hin zur Energie- und Elektrizitätswirtschaft.

Mit dem naturemade-Label des VUE existiert in der Schweiz eine Zertifizierung für Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen. Das Label garantiert relativ geringe ökologische Belastungen des produzierten Stromes und will zu "einer Ökologisierung des schweizerischen Strommarktes" beitragen. Das Label unterscheidet zwei Ausgestaltungen: "naturemade basic" für Wasserkraft und "naturemade star" für Wasserkraft, Sonne, Wind und Biomasse mit weitergehenden Anforderungen.

Die Einhaltung der Label-Kriterien wird durch den VUE kontrolliert. Ein Kriterium (das sogenannte 'globale' Kriterium) ist, dass die gesamte Umweltbelastung des produzierten Stromes bei Neuanlagen unter 33% der Umweltbelastung eines modernen gasbefeuernden Gas-und-Dampf-Kraftwerkes liegt (bei bestehenden Anlagen <50%). Die gesamte Umweltbelastung wird unter Berücksichtigung aller ursächlich notwendigen Vorprozesse und aller ursächlich ausgelösten, nachgelagerten Prozesse mit einer Ökobilanz erfasst (ökologische Lebenszyklusanalyse). Als integrales Mass für die Umweltbelastung wird dabei die Bewertungsmethode Eco-indicator'99 (HA) verwendet.

Gemäss den heutigen gesetzlichen Grundlagen müssen brennbare Abfälle in der Schweiz verbrannt werden, wenn sie nicht anderweitig verwertet werden können (vgl. TVA 2000). In allen Kehrichtverbrennungsanlagen wird heute die anfallende Abwärme energetisch genutzt. Da im Siedlungsabfall grosse Mengen an Biomasse enthalten sind (Papier, Karton, Küchenabfälle etc.), stellt Siedlungsabfall eine Quelle von erneuerbarer Energie dar. Das Potenzial zur Gewinnung erneuerbarer Energie ist hier noch beträchtlich.

2 Ausgangslage

Der VUE entschied auf eine erste Anfrage durch den Fachverband VBSA (Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen) im Jahre 2002, dass Strom aus Kehrichtverbrennungsanlagen nicht gemäss naturemade zertifizierbar ist. Der Entscheid gründete damals auf folgenden Argumenten (VUE 2003, S.9):

- a) *"Kehricht wird als Summe seiner Bestandteile nicht als erneuerbar wahrgenommen, auch wenn einzelne Bestandteile erneuerbar sind."*
- b) *"Um der Glaubwürdigkeit willen müssen für eine Zertifizierung mit naturemade mindestens zwei Drittel des zur Verstromung eingesetzten Rohstoffes (Energieinhalt im Jahresdurchschnitt) erneuerbar sein."*
- c) *"Eine solche Anlage muss nachweislich auf die Stromproduktion aus dem erneuerbaren Rohstoff ausgelegt sein."*

Kommentar zu a): Zurzeit sind etwa 63 Gewichtsprozent aller Abfälle als Biomasse anzusehen (s. Tab. 2.1). Kehricht ist somit massenmässig mehrheitlich erneuerbar.

Kommentar zu b): Die Grenze von minimal zwei Dritteln erneuerbaren Brennstoffen wirkt willkürlich, was aber in die Entscheidungsmacht des VUE fällt¹. Die KVA erfüllen dieses Kriterium nicht: zurzeit machen Biomasseabfälle etwa 53% des gesamten unteren Heizwertes im Kehricht aus (s. Tab. 2.1). Es ist denkbar, dass nur der erneuerbare Anteil der KVA-Stromproduktion zertifizierbar wäre. In der offiziellen Schweizerischen Energiestatistik des Bundesamtes für Energie wird pauschal 50% der erzeugten Energie aus KVA als erneuerbar angesehen (BFE 2003).

Kommentar zu c): Dieselbe Argumentation wurde offenbar bei ARA (Klärgasstrom) und Altholzverbrennungsanlagen, welche beide zertifizierbar sind, nicht beherzigt: Diese Anlagen haben, wie die KVA, in erster Linie eine Entsorgungsfunktion.

Aus der letzten Bemerkung folgt auch, dass die Methode der naturemade-Zertifizierung grundsätzlich auch auf Entsorgungsanlagen ausgedehnt und eine vergleichbare Ökobilanz erstellt werden kann und darf. Auch wenn der VUE dies bisher abgelehnt hat, können auch für KVA-Strom die Zertifizierungskriterien überprüft werden.

¹ Die Festlegung des Grenzwertes für das globale Kriterium auf 50% resp. 33% der Umweltbelastung eines GuD-Kraftwerkes ist ebenso willkürlich.

Tab. 2.1 Biogener Anteil in Abfallfraktionen und Heizwert im Kehricht (BUWAL 2003, Doka 2003).

Abfallfraktionen		Anteil biogen	Abfallmasse biogener An- teil	Unterer Heizwert H _u der Fraktion	Heizwert bio- gener Anteil
G-%			kg/kg	MJ/kg	MJ/kg
Biogene Abfälle	28.5%	100%	28.5%	4.00	1.140
Papier	16.8%	100%	16.8%	14.20	2.382
Kunststoffe	14.4%	0%		30.00	-
Verbundwaren	12.1%	50%	6.06%	1.84	0.111
Mineralien	5.24%	0%		-	-
Glas	4.26%	0%		-	-
Karton	4.13%	100%	4.13%	16.60	0.685
Verbundverpackungen	4.06%	80%	3.25%	17.10	0.556
Textilien	2.88%	80%	2.31%	14.50	0.334
Metalle	2.75%	0%		-	-
Sonderabfälle und Rest	2.16%	0%		-	-
Organische Naturprodukte	2.1%	100%	2.1%	9.00	0.189
Elektronik/Elektrik	0.59%	0%		12.00	-
Batterien	0.0655%	0%		12.00	-
Total	100%			10.12	5.40
Anteil biogen			63.1%		53.4%

Erneuerbare Stromproduktion in der Schweiz

In der Schweiz wird mit Abstand am meisten erneuerbarer Strom mit Wasserkraft erzeugt. Alle anderen Technologien zusammen machten im Jahr 2003 lediglich 2,5% oder 3434 Terajoule der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energien aus (BFE 2003). In Tab. 2.1 werden die Anteile dieser Technologien gezeigt.

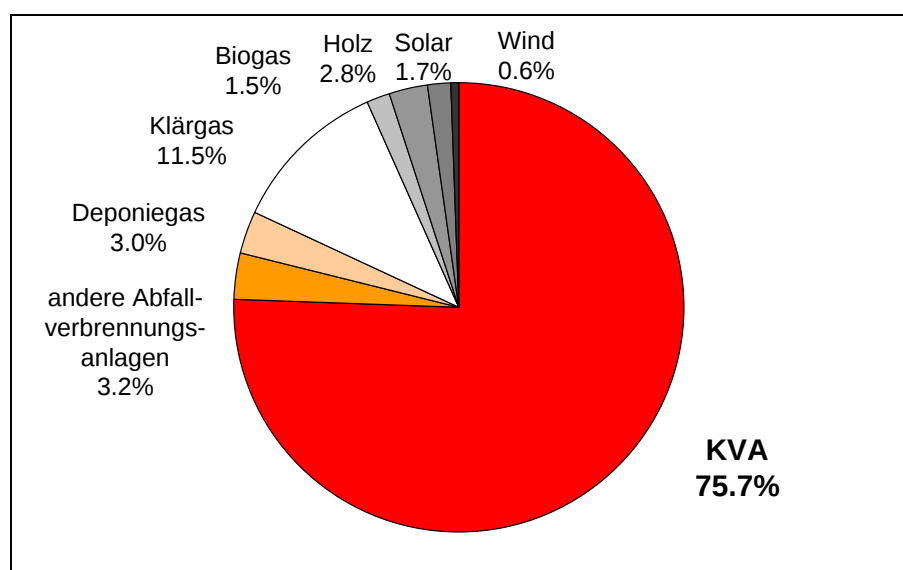


Fig. 2.1 Anteile an der erneuerbaren Stromproduktion der Schweiz 2003 (BFE 2003). 100% entsprechen 3434 TJ/a. Hier nicht dargestellt sind die 131'202 TJ/a Wasserkraft.

Insgesamt trägt Abfall 81,9% an die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien bei (ohne Wasserkraft) – die Kehrichtverbrennungsanlagen alleine 75,7% oder 2598 TJ pro Jahr ². Technologien wie Windkraft oder Photovoltaik haben hingegen untergeordnete Bedeutung. Es fällt also auf, dass der Löwenanteil dieser nicht-hydro Technologien den erneuerbaren Strom aus *Abfallstoffen* erzeugt:

- Klärgas entsteht aus der Vergärung von Rohschlamm aus der aeroben Reinigung kommunaler Abwässer.
- Deponiegas stammt aus vergärbaren Abfällen in Deponien.
- Bei der Holzverstromung werden Abfälle aus Altholz, Restholz, Rinde und Sägemehl verbrannt.
- Biogasanlagen vergären Gülle oder Mist (Landwirtschaft), Grünabfälle, Schlachtabfälle usw. (Industrie und Gewerbe) oder organisches Material aus Industrieabwässer (anaerobe Industriekläranlagen).
- Andere stromproduzierende Abfallverbrennungsanlagen verfeuern industrielle Abfälle wie Altpapier, Karton, Papierschlämme, Zellstoffablaugen, Fette, Tiermehl etc.

Neben Wasserkraft ist demnach die **erneuerbare Stromerzeugung aus festen und flüssigen Abfällen am bedeutsamsten**. Am wichtigsten ist dabei die kommunale Kehrichtverbrennung. Nur schon die *jährliche Zunahme* der erneuerbaren Stromproduktion in KVA zwischen 1999 und 2003 von durchschnittlich 146 TJ/a ist alleine grösser als die gesamte jährliche Produktion aller *bestehenden* Wind-, Solar- und Biogaskraftwerke zusammengekommen (140 TJ/a). Die Kehrichtverbrennung hat somit noch ein grosses Potenzial für die erneuerbare Stromproduktion der Schweiz.

3 Zielsetzung dieser Studie

Die vorliegende Arbeit soll aus den oben genannten Gründen untersuchen, wie Strom aus der Verbrennung von Biomasseabfällen in der KVA gemäss der VUE-Methodik im Vergleich zu anderen Energieträgern und zu den naturemade-Grenzwerten ökologisch abschneidet. Dabei wird von einer durchschnittlichen schweizerischen KVA ausgegangen. Es soll nur der erneuerbare Anteil der Abfälle (Biomasse) betrachtet werden.

Gleichzeitig soll mit einer analogen Methode die Ökobilanz der Wärme-Ausnutzung der KVA (Fernwärme) überprüft werden.

² Das BFE geht für KVA von einem pauschalen Ansatz von 50% erneuerbarer Energie aus (BFE 2003).

4 Methodik

4.1 Methodik für naturemade-Strom

Bestehende Methodik des naturemade-Labels

Für das sogenannte globale Kriterium des naturemade-Labels (Ökobilanz) ist das Vorgehen festgelegt (Frischknecht et al. 2000). Dieses Vorgehen ist auf "reine" Kraftwerke ausgelegt und unterscheidet z.B. auch Pumpspeicher-Wasserkraftwerke³. Für Kläranlagen, welche nicht reine Kraftwerke sind, sondern prioritär eine Entsorgungsfunktion wahrzunehmen haben, wurden ergänzende Richtlinien ausgearbeitet (Frischknecht et al. 2001). Nach einer Genehmigung durch den VUE und in Absprache mit dem BFE wurden diese Richtlinien in einer Ökobilanz der Klärgasverstromung umgesetzt (Ronchetti et al. 2002). Demnach wird die Ökobilanz von Klärgasstrom aus den Daten einer ARA *mit* Schlammfäulung *minus* den Daten einer (theoretischen) ARA *ohne* Schlammfäulung berechnet. So fallen die rein der Abwasserreinigung dienenden, von der Fäulung und der Energieerzeugung unbeeinflussten Prozesse und Anlagenteile, aus der Ökobilanzbetrachtung heraus (Frischknecht et al. 2001, S.8).

Übertragen der Methodik auf die Kehrrechtverbrennung

Die oben dargelegte Methodik für Kläranlagen, die vom VUE vorgegeben wurde, wird hier als allgemeine Vorlage für die naturemade-Ökobilanzierung von Entsorgungsanlagen aufgefasst. Allgemein formuliert werden die Belastungen der Energieproduktion ermittelt, indem eine Anlage *mit* Energieproduktion *minus* eine (reale oder theoretische) Anlage *ohne* Energieproduktion berechnet wird (sogenannte Substitution). Alle nicht zur Energieproduktion gehörigen Prozesse und Anlagenteile fallen so aus der Betrachtung heraus. Dieses Prinzip ist schematisch in Fig. 4.1 gezeigt.

Im Falle der Kläranlage umfassen die energieerzeugenden Anlagenteile und Prozesse den Faulturm für Rohschlamm, die anaerobe Schlammfäulung, die Klärgaserzeugung und die Klärgasnutzung in BHKW-Modulen. Für eine Kläranlage *ohne* Energieproduktion wird eine Schlammbehandlung mit aerober Stabilisierung, aber ohne anaerobe Fäulung angenommen (Ronchetti et al. 2002). Klärschlamm kann gleichsam als *sekundärer Abfall* der Abwasserreinigung angesehen werden, wel-

³ Dies ist eines von vielen möglichen Vorgehensweisen zur Erstellung von Ökobilanzen. Andere Vorgehensweisen wären prinzipiell und auch praktisch möglich. Das Vorgehen des VUE wurde jedoch von Umweltorganisationen, Vertretern von Konsumenten, Elektrizitätswerken, erneuerbaren Energien (Sonne, Wind, Biomasse) und dem BFE akzeptiert und stellt einen breiten Konsens dar. Andere Vorgehensweisen werden hier nicht betrachtet.

cher auf verschiedene Arten entsorgt werden kann – mit oder ohne Energienutzung.

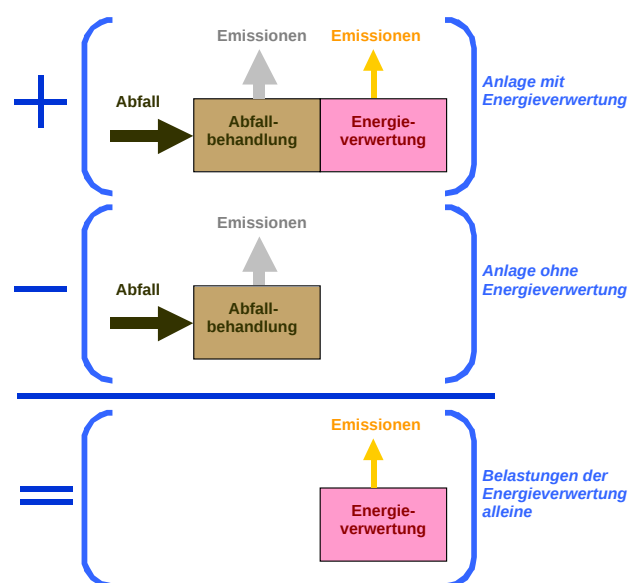


Fig. 4.1 Schematische Darstellung des Vorgehens der naturemade-Ökobilanzierung für energieproduzierende Entsorgungsanlagen

Bei der Kehrichtverbrennung ist die Verbrennung des Abfalls auf der Rostfeuerung gleichzeitig die *geforderte Behandlung des Abfalls* als auch die *Erzeugung von nutzbarer Abwärme*. Die einzige Möglichkeit hier *keine* Energie zu gewinnen, ist die bereits erzeugte Abwärme nicht zu nutzen. In diesem Sinne ist eine KVA ohne Energienutzung eine normale KVA, welche keine Vorkehrungen getroffen hat, die entstandene Abwärme zu nutzen. Das heisst, dass eine solche Anlage keine Dampfturbinen, keine Generatoren und keine Fernwärme-Einspeisung aufweist. Aber auch in einer KVA ohne Energienutzung müssen die Rohabgase aus dem Brennraum abgekühlt werden, insbesondere um Neubildungen von Dioxin zu vermeiden. Dazu genügt ein einfacher Kühlkreislauf mit Kühlturm oder Wassereinspritzung, während bei einer KVA mit Energienutzung eine rasche Abkühlung konventionellerweise durch Abhitzekeessel und Dampferzeuger erreicht wird. Der Aufwand an Stahl für den Abhitzekeessel bei einer KVA ohne Energienutzung ist etwa 25% kleiner gegenüber einer KVA mit Energienutzung⁴.

Wird das in Fig. 4.1 skizzierte System für die Abgrenzung der Energieerzeugung in der KVA angewendet, ergibt sich, dass der KVA-Energieerzeugung nur die Anlagenteile Dampfturbine, Generator sowie das Fernwärmenetz anzulasten sind⁵. Hinzu kommt etwa 25% des Aufwandes für einen konventionellen Abhitzekeessel

⁴ Persönliche Mitteilung von Andreas Kronenberg, Von Roll Umwelttechnik AG, Zürich, 14. Juni 2004.

⁵ Weshalb das Fernwärmenetz hier berücksichtigt werden muss, wird im Kapitel 'Fernwärmenetz' auf Seite 16 erläutert.

und Dampferzeuger⁶. Die Abfallverbrennung selbst, die Behandlung sekundärer Abfallstoffe wie Verbrennungsschlacke, Filterstaub und Rauchgasreinigungsrückstände, Aufwendungen zur Abluftreinigung, Behandlung der Waschwässer, sowie letztendlich die Emissionen in Luft und Wasser werden bei dieser Betrachtung nicht der Energieerzeugung angelastet.

Während also gemäss der VUE-Methodik in der Ökobilanz der Klärgasverstromung die Emissionen aus der Klärgasverbrennung im BHKW berücksichtigt wurden, sind bei analogem Vorgehen in der Ökobilanz der KVA-Energie *keine Verbrennungsemissionen* enthalten. Der Grund dafür ist, dass es keine Kehrichtverbrennung ohne die entsprechenden Verbrennungsemissionen geben kann, während bei der Abwasserreinigung die Erzeugung und Verbrennung von Klärgas nicht zwingend ist.

Auftrennung der Aufwendungen auf Strom und Wärme

Gewisse Anlagenteile werden sowohl für die Strom- als auch für die Wärmenutzung benötigt. Das gilt insbesondere für den Abhitzeessel und die Dampferzeugung. Wenn nur die Belastungen aus der Stromproduktion allein berechnet werden sollen, stellt sich das Problem, wie mit solchen gemeinsam genutzten Anlagenteilen umgegangen werden soll.

Substitution

Analog zu oben könnte die Belastung aus der Stromproduktion alleine aus folgender Differenz berechnet werden: (KVA mit sowohl Strom- als auch Wärmeproduktion) *minus* (KVA mit nur Wärmeproduktion). Da aber diese beiden KVA-Varianten einen identischen Abhitzeessel besitzen, fällt er aus der Rechnung heraus. D.h. so wird die Belastung durch den Abhitzeessel *weder* bei der Strom- *noch* bei der Wärmeproduktion betrachtet, obwohl er gemäss der oben abgeleiteten Methodik enthalten sein müsste.

Alternativ könnte die Belastung aus der Stromproduktion aus folgender Differenz berechnet werden: (KVA mit nur Stromproduktion) *minus* (KVA ohne Energieproduktion). So würde der gesamte Mehraufwand des Abhitzeessels der Stromproduktion angelastet. Umgekehrt würde die Belastung aus der Wärmeproduktion alleine aus der Rechnung (KVA mit nur Wärmeproduktion) *minus* (KVA ohne Energieproduktion) ermittelt. Auch hier würde wiederum der gesamte Mehraufwand des Abhitzeessels alleine der Wärmeproduktion angelastet. In der Realität erzeugt eine KVA meist sowohl Strom als auch Wärme. Nach dieser Berechnungsart würde *sowohl* dem produzierten Strom *als auch* der produzierten Wärme jeweils der Mehraufwand des Abhitzeessels angelastet. D.h. während tatsächlich nur *ein* Mehraufwand getätigt wurde, würde in der Ökobilanz der Mehraufwand

⁶ Da ohne Energieerzeugung dieser Anlagenteil weniger aufwändig realisiert werden könnte.

zweimal auftauchen, einmal für die Stromproduktion und einmal für die Wärme-
produktion. D.h. es käme zu einer ungerechtfertigten Doppelzählung.

Mit dem Vorgehen der Substitution scheint das Problem nur unbefriedigend gelöst werden zu können. Entweder wird der Abhitzekessel gar nicht betrachtet (erste Variante) oder dann der Mehraufwand des Abhitzekessels gleich doppelt gezählt (zweite Variante). Es bestehen aber andere Möglichkeiten, mit diesem Problem umzugehen.

Allokation

Eine Möglichkeit den Mehraufwand des Abhitzekessels konsistent und gerecht der Strom- und Wärmeproduktion anzulasten bietet sich durch die sogenannte Allokation. Dabei werden Belastungen *aufgetrennt und zugeteilt*. Für die Aufteilung ist ein sogenannter Allokationsschlüssel notwendig, d.h. es muss entschieden werden, welcher Anteil des Aufwandes dem Strom und welcher Anteil der Wärme zugesprochen wird. Es gibt verschiedene denkbare Allokationsschlüssel, wie Tab. 4.1 zeigt.

Für die vorliegende Studie wird von einer **Allokation gemäss Exergie** ausgegangen. Sensitivitätsanalysen mit anderen Allokationsschlüsseln sollen zeigen, wie sehr dieser Entscheid das Resultat beeinflusst.

Tab. 4.1 Mögliche Allokationsschlüssel für die KVA-Koppelproduktion von Strom und Wärme

Allokation gemäss	Allokationsschlüssel Strom ÷ Wärme ¹	Vorteile	Nachteile
Energieinhalt	33% ÷ 67%	Einfache, physikalisch eindeutige Berechnung	Berücksichtigt nicht, dass Strom eine universellere und höherwertige Energieform ist als Wärme.
Exergiegehalt	67% ÷ 33% ²	Physikalisch eindeutig. Berücksichtigt Wertigkeit der Energieformen	Kann von Anlage zu Anlage variieren, da abhängig vom Temperaturniveau der Wärme.
Erzielte Preise	56% ÷ 44% ³	Berücksichtigt die ökonomische Nachfrage nach den Energieformen	Nicht eindeutig. Allokation ändert je nach Marktlage. Kann von Anlage zu Anlage variieren.
Motivation Strom	100% ÷ 0%	Berücksichtigt Motivation der Entscheidungsträger	Wärme wird 'quersubventioniert', indem Strom die ganze Belastung übernimmt.
Motivation Wärme	0% ÷ 100%	Berücksichtigt Motivation der Entscheidungsträger	Strom wird 'quersubventioniert', indem Wärme die ganze Belastung übernimmt. Kann von Anlage zu Anlage variieren.

1 Beispielhaft für 1.5 MJ Strom und 3 MJ Wärme pro kg Abfall

2 Exergie für Wärme bei 120°C beträgt 0.25; Exergie für Strom ist = 1

3 Für 5 Rp./kWh Strom und 2 Rp./kWh Wärme (Egli 2003, S.19)

4.2 Methodik für Label 'erneuerbare Wärme'

Naturemade ist ein Label, das ausschliesslich für Elektrizität vergeben wird. Der Auftraggeber dieser Studie wünscht eine Betrachtung, wie KVA-Wärme in der Ökobilanz abschneiden würde, wenn auch für die Wärmeproduktion ein Label mit der analogen Methodik wie bei der Stromproduktion bestünde. Dazu müssen die Kriterien des naturemade-Stromlabels analog auf Wärmesysteme übertragen werden. Es besteht hier nicht die Absicht, ein solches Label zu lancieren oder das naturemade-Konzept auf die Wärmeproduktion auszudehnen. Es soll lediglich betrachtet werden, wie KVA-Wärme abschneidet, wenn ein dem naturemade-Label analoges Ökobilanzverfahren angewendet wird⁷.

Grenzwert für Label 'erneuerbare Wärme'

Im Verfahren für das naturemade-Stromlabel wird ein Grenzwert festgelegt, der von zertifizierten Anlagen unterschritten werden muss. Es wird gefordert, dass zertifizierte Anlagen eine Umweltbelastung aufweisen, die *wesentlich* unter der Umweltbelastung der besten nicht erneuerbaren Technologien liegt. Als beste nicht erneuerbare Technologie wird bei naturemade ein Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk (GuD) gewählt. Die Umweltbelastung pro kWh Strom aus einem solchen Kraftwerk beträgt 0.0279 Punkte (Eco-indicator'99HA-Punkte). Naturemade fordert nun, dass bestehende zertifizierte Anlagen diesen Wert um mindestens 50% unterschreiten. Für zertifizierte Neuanlagen soll der Wert um mindestens 67% unterschritten werden (Frischknecht et al. 2000).

Tab. 4.2 Herleitung Grenzwerte für Naturemade-Stromlabel

Herleitung Naturemade-Strom-Grenzwerte	% des besten fossilen Wertes	Eco-indicator'99HA-Punkte pro kWh
Beste fossile Technologie (GuD-Kraftwerk)	100%	0.0279
Naturemade-Grenzwert bestehende Anlage	50%	0.01395
Naturemade-Grenzwert Neuanlage	33%	0.0093

Analog kann für Wärmesysteme ein Grenzwert festgelegt werden. Dazu muss zuerst eine beste fossile Wärmetechnologie festgelegt werden. Um möglichst kompatibel zu naturemade zu bleiben, wird ebenfalls ein gasbefeuertes System gewählt, hier eine kondensierende low-NOx-Heizung (vgl. ESU 1996). Dann werden analog 50% resp. 33% der Umweltbelastung dieses Systems als Grenzwert angesetzt.

⁷ Um Missverständnisse zu vermeiden, wird deshalb hier von einem Label für 'erneuerbare Wärme' gesprochen, und nicht von 'naturemade-Wärme'.

Tab. 4.3 Herleitung Grenzwerte für 'Erneuerbare Wärme'

Herleitung 'Erneuerbare Wärme'-Grenzwerte	% des besten fossilen Wertes	Eco-indicator'99HA-Punkte pro kWh
Beste fossile Technologie (Gasheizung)	100%	0.0176
Grenzwert bestehende Anlage	50%	0.0088
Grenzwert Neuanlage	33%	0.00587

Die Grenzwerte liegen rund einen Faktor 1.6 unter demjenigen für Strom, weil Wärmesysteme einen besseren Wirkungsgrad haben und weil Wärmesysteme eine weniger aufwändige Infrastruktur besitzen. Unterschiede in den Verbrennungsemissionen pro verbrauchte Erdgas-Einheit sind minimal.

5 Inventar

Gemäss der in Kapitel 'Übertragen der Methodik auf die Kehrichtverbrennung' auf Seite 9 dargelegten Methodik müssen für die erneuerbare KVA-Stromproduktion die Anlagenteile Kessel und Dampferzeugung, Dampfturbine und Generator betrachtet werden. Für die erneuerbare KVA-Wärmeproduktion müssen die Anlagenteile Kessel und Dampferzeugung sowie das Fernwärmenetz betrachtet werden.

Es wird angenommen, dass die Energiegewinnung keinen Einfluss auf den benötigten Landverbrauch hat, d.h. dass eine KVA mit oder ohne Energiegewinnung gleich viel Fläche für die Anlage benötigen.

Aus Konsistenzgründen wurde die Ökobilanz mit der Datenbasis (ESU 1996) gerechnet, die auch bereits in anderen naturemade-Ökobilanzen verwendet wurden⁸.

Die Inventargrössen weisen oft beträchtliche Schwankungsbreiten auf. Zur Vermeidung von unnötigen Rundungsfehlern werden die Grössen *nicht* nur mit den signifikanten Stellen angegeben.

Dampfturbine und Generator

Für die in den KVA installierten Anlagen existiert keine vollständige Übersicht. Die KVA Buchs AG hat beispielsweise eine Entnahme-Kondensationsturbine mit einer maximalen Leistung von 11 MW⁹ und produziert brutto 64'000 MWh Strom pro Jahr (BUWAL 2001a). Dies ergibt ca. 9 MW Nennleistung bei 7000 Betriebsstunden pro Jahr. Die KVA Turgi AG besitzt zwei Turbinen à 5.2 und 4.7 MW Nennleistung (total 9.8 MW) und produziert 86'400 MWh Strom pro Jahr (BUWAL 2001a). Die KVA Weinfelden TG besitzt eine Kondensationsturbine von 8 MW und produziert 44'500 MWh Strom pro Jahr (BUWAL 2001a). Die Turbinen werden üblicherweise mit Frischdampf von 40 bar und 400°C gespiesen.

Für die Gehäuse von Dampfturbinen wird Chromstahl-Guss mit ca. 10% Chrom eingesetzt. Dabei können Legierungen mit Molybdän, Wolfram, Niob und Vanadin zur Anwendung kommen.

⁸ Aktuellere Daten sind mit (ecoinvent 2000) verfügbar. Da aber die naturemade-Methode und insbesondere auch die Grenzwerte auf Daten aus (ESU 1996) basieren, wird dieselbe Datenbasis benutzt.

⁹ http://www.kva-buchs.ch/html/tech_daten.htm



Fig. 5.1 Beispiel einer Dampfturbine mit Generator in der KVA Turgi

Die eingesetzten Materialien werden aus Darstellungen und zusätzlichen Informationen abgeschätzt. Transporte der Materialien werden zusätzlich berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die Materialien verwertet werden, ausser bei Schmierfett, das als Sonderabfall verbrannt wird, und bei Steinwolle, die deponiert wird. Es wird eine Lebensdauer von 15 Jahren und eine totale Stromproduktion von 1'300 GWh angesetzt.

Tab. 5.1 Sachbilanz für Dampfturbine und Generator in Milligramm pro erzeugte kWh Strom

	mg/kWh
Stahl hochlegiert	9.03
Stahl unlegiert	0.309
Kupfer	0.298
Aluminium	0.154
Schmierfett	0.0463
Steinwolle	0.00772
Farbe	0.0369
Entsorgung Schmierfett	0.0463
Entsorgung Steinwolle	0.00772

Fernwärmenetz

Das Fernwärmenetz ist im engeren Sinne nicht Teil der KVA-Anlage. Trotzdem muss es hier berücksichtigt werden. Ohne ein Fernwärmenetz kann die erzeugte Wärme nicht zum Abnehmer transportiert werden. Ein *dem Abnehmer nahes* System wurde als Referenztechnologie gewählt (Gasheizung in Tab. 4.3 auf Seite

14). Daher muss hier ebenfalls das Wärmesystem bis zum Abnehmer berücksichtigt werden, da sonst die Systeme nicht vergleichbar wären¹⁰.

Verschiedene Fernwärmenetze sind in (ESU 1996) pro abgelieferte Energie bilanziert. Hier wird ein Warmwassernetz mit Kunststoffrohren betrachtet. Die Übertragungsverluste im Netz betragen 7%. Die Effizienz der Hausübergabestation beträgt 93%. Der gesamte Übertragungswirkungsgrad beträgt somit 86.5%.



Fig. 5.2 Beispiel einer Fernwärme-Einspeisung (rechts) in der KVA Turgi

Tab. 5.2 Sachbilanz für Fernwärme-Übertragung pro abgelieferte kWh Wärme (ESU 1996)

	Einheit	pro kWh Fernwärme
Stahl unlegiert	mg	216
PUR Hartschaum	mg	10.8
HD-Polyethylen	mg	54
Aushub Frontlader	cm ³	7.2
Pumpenstrom Niederspannung	kWh	0.01
Abfall in Inertstoffdeponie	mg	72
PUR in KVA	mg	10.8
Polyethylen in KVA	mg	54

¹⁰ Beim Stromlabel wird die Übertragung ins Elektrizitätsnetz hingegen *nicht* betrachtet, da dieser Teil für alle Systeme identisch ist. Bei einer Berücksichtigung des Elektrizitätsnetzes würden sich die Belastungen für Strom bei allen Systemen um einen konstanten Betrag von rund 1650 Mikropunkten pro kWh erhöhen. In diesem Sinne werden Kraftwerke auf der Basis 'Endenergie ab Kraftwerksklemme' verglichen; Wärmesysteme dagegen auf der Basis 'abgelieferte Nutzwärme beim Konsumenten'.

Kessel und Dampferzeugung

Die Abkühlung im Kessel und die Dampferzeugung erfolgt in einer ca. 20 m hohen Stahlkonstruktion. Ca. 25% des Aufwandes für den Kessel können der Energieproduktion angelastet werden, bzw. ohne Energieproduktion könnte der Kessel 25% weniger aufwändig gebaut werden¹¹. Der Aufwand für den Kessel wird aus Darstellungen und Plänen abgeschätzt.

Tab. 5.3 Sachbilanz für Kessel und Dampferzeuger

Material		ganzer Kessel	25% des Kessels
Stahl	kg	160'140	40'035
Feuerfestmaterial	kg	95'200	23'800

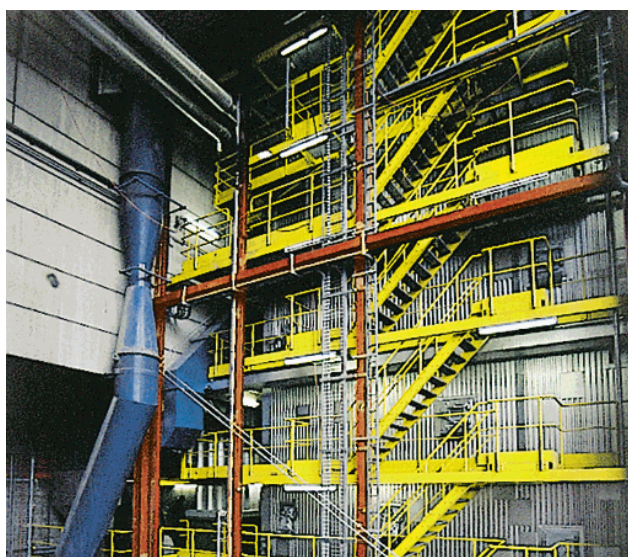


Fig. 5.3 Beispiel eines Abhitzekeessels in der KVA Turgi

¹¹ Persönliche Mitteilung von Andreas Kronenberg, von Roll Zürich, 13. Juni 2004.

6 Ökobilanz-Resultate

Vorbemerkung: In den gezeigten Tabellen werden Zahlen mit mehreren Stellen gezeigt. Dies soll nicht bedeuten, dass alle diese Stellen signifikant oder die Daten besonders genau sind. Aber dies hilft die unnötige Akkumulation von Rundungsfehlern zu vermeiden, falls die vorliegenden Zahlen weiterverwendet werden sollten. Aufgrund der ausgedehnten und hoch aggregierten Natur von Ökobilanzresultaten sind die effektiven Unsicherheitsbereiche wohl gross, z.Z. aber noch nicht quantifizierbar.

Resultat Stromproduktion

Für die erneuerbare Stromproduktion ab KVA wird aufgrund der durchgeführten Analysen eine Umweltbelastung von 0.0000128 Punkten bzw. 12.8 Mikropunkten pro kWh berechnet¹². Dieses Ergebnis ergibt sich mit der angewendeten Methode auch für den nicht erneuerbaren Anteil des KVA-Stroms. Das heisst, der KVA-Strom unterschreitet den VUE-Grenzwert von 13'950 Mikropunkten für bestehende Anlagen somit um rund einen Faktor 1100. Die Belastung kann je nach Auslastung der Turbine gut zwischen 10 und 15 Mikropunkten schwanken.

KVA-Strom kann demnach als sehr guter Kandidat für das naturemade-Label gelten. Es ist kaum vorstellbar, dass eine KVA den gesetzten Grenzwert nicht unterbieten kann. Selbst wenn extrem schlecht ausgelastete Turbinen betrieben werden oder die Anlagen sehr viel aufwändiger wären als die hier bilanzierten, wird der Grenzwert sehr wahrscheinlich stark unterschritten.

Wichtigste Verursacher der Umweltbelastung sind zu etwa gleichen Teilen die Dampfturbine und der Generator. Von geringerer Bedeutung sind der Kessel und die Materialtransporte. Der Grund für den gesamthaft doch recht geringen Ökobilanz-Wert ist, dass für KVA-Strom weder direkte Emissionen anzulasten sind (KVA-Emissionen werden vollständig der Entsorgungsfunktion angelastet), noch dass die Herstellung der eingesetzten Brennstoffe verrechnet wird. Der Aufwand zur Herstellung von Biomasseprodukten, die im Abfall enden - wie z.B. Papier, das in der KVA verbrannt wird - wird nicht der Abfallentsorgung angelastet, sondern dem Konsumenten des Papiers. Ohne direkte Schadstoffemissionen und ohne Brennstoff-Bereitstellung (Precombustion) schneidet KVA-Strom sehr gut ab¹³.

¹² Allokation des Kessels gemäss Exergie.

¹³ Im Gegensatz dazu wird z.B. bei der Holzverstromung sowohl die Verbrennungsemissionen als auch die Brennstoffbereitstellung angelastet.

Resultat Wärmeproduktion

Für die Wärmeproduktion ab KVA wird aufgrund der durchgeführten Analyse eine Umweltbelastung von 0.000168 Punkten bzw. 168 Mikropunkten pro kWh berechnet¹⁴. Die Wärme aus KVA unterschreitet den gewählten Grenzwert von 8800 Mikropunkten für bestehende Nutzwärme-Anlagen somit um rund einen Faktor 52. Im Vergleich zu Wärme ab einer modernen Gasheizung ist KVA-Fernwärme rund einen Faktor 100 weniger belastend. Die Belastung kann je nach Auslastung der KVA gut zwischen 135 und 202 Mikropunkten pro kWh schwanken.

Auch KVA-Wärme kann demnach als sehr umweltfreundliche Wärmequelle angesehen werden, welche die Bedingungen an ein naturemade-analoges 'Wärmelabel' sehr gut einhalten würde.

Der wichtigste Beitrag an die Umweltbelastung stellt das Fernwärmenetz dar. Insbesondere der Pumpenstrom ist von Bedeutung und somit der angesetzte Strommix¹⁵. Von geringerer Bedeutung sind der Anteil Abhitzeessel in der KVA und die Materialtransporte. Dass eine Kilowattstunde Wärme mehr Umweltbelastung erzeugt als eine Kilowattstunde Strom mag auf den ersten Blick überraschen (168 im Vergleich zu 12.8 Mikropunkte pro kWh). Der Grund ist, dass mit dem Fernwärmenetz eine sehr aufwändige Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden muss, damit die Wärme aus KVA wie jene aus konventionellen Heizungen genutzt werden kann. Bei der Stromproduktion ist hingegen die Energieübertragung nicht im System enthalten (s. auch Fussnote 10 auf Seite 17).

Vergleich mit anderen Energiequellen

In (Frischknecht et al. 2000) wurden die Umweltbelastungen von verschiedenen Stromsystemen gemäss der naturemade-Methodik untersucht. Die hier gefundenen Resultate lassen sich mit diesen Angaben vergleichen.

¹⁴ Allokation des Kessels gemäss Exergie.

¹⁵ Hier Schweizer Strommix inklusive Importanteilen.

Tab. 6.1 Vergleich der Umweltbelastung verschiedener Stromsysteme

Mikropunkte pro kWh Strom	Minimal	Median	Maximal	Quelle
GuD-Kraftwerk		27'900		Frisknecht et al. 2000
naturemade-Grenzwert		13'950		Frisknecht et al. 2000
Strom für bestehende Anlage				(50% des GuD-Kraftwerkes)
naturemade-Grenzwert		9'300		Frisknecht et al. 2000
Strom für neue Anlage				(33% des GuD-Kraftwerkes)
Wind ¹	1'160	9'680	127'000	Frisknecht et al. 2000
Photovoltaik ¹	6'730	9'470	19'000	Frisknecht et al. 2000
Klärgas ^{1, 2}	-3'100	5'000	67'000	Ronchetti et al. 2002
				Frisknecht et al. 2001
Fluss- und Speicher- Wasserkraftwerk ¹	367	399.5	634	Frisknecht et al. 2000
Trinkwasser-Kleinkraftwerk ³		41.4		Frisknecht et al. 2000
KVA-Strom	10	12.8	15	Diese Studie

1 Werte aller untersuchten Anlagen

2 Werte für neue und alte Anlagen aus (Ronchetti et al. 2002) sowie ARA Buholz (Frisknecht et al. 2001)

3 Nur Wert einer einzigen Anlage vorhanden (Fallbeispiel)

Im Vergleich mit anderen konventionellen und erneuerbaren Stromsystemen weist KVA-Strom eine sehr geringe Umweltbelastung auf. Die Umweltbelastung der KVA-Stromproduktion ist um Faktoren geringer als bei modernen Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerken, aber auch geringer als bei erneuerbaren Energiesystemen wie Sonne, Wind oder Flusskraftwerken.

Erneuerbare und fossile Wärmesysteme wurden in (ESU 1996) untersucht und werden hier als Vergleichsbasis herangezogen.

Tab. 6.2 Vergleich der Umweltbelastung verschiedener Wärmesysteme

Mikropunkte pro kWh Wärme	Minimal	Median	Maximal	
Moderne Gasheizung		17'600		ESU 1996
Grenzwert Wärme für bestehende Anlage		8800		Diese Studie ⁴
Grenzwert Wärme für neue Anlage		5866		Diese Studie ⁴
Ölheizung ¹	19'597	21'330	22'583	ESU 1996
Holzwärme ¹	12'070	14'964	17'220	ESU 1996
Wärme aus Abwasser ²	3'051	3'813	4'576	Faist et al. 2004
Solarkollektor ^{1, 3}	2126	2193	5694	ESU 1996
Geothermie ⁴	2266	2833	3400	ESU 1996
KVA-Wärme	135	168	202	Diese Studie

1 Werte aller untersuchten Anlagen

2 Mit Wärmepumpe und CH-Strommix. Wert für ein Fallbeispiel mit $\pm 20\%$ Schwankungsbereich. Berechnet aus einem Wert von 1059 Mikropunkten pro MJ Nutzwärme in (Faist et al. 2004; p.7 und 25)

3 Reine Solarwärme, ohne Zusatzheizung

4 In Analogie zur naturemade-Methodik 50% respektive 33% des Wertes der Gasheizung.

5 Untiefe Geothermie (150 m tiefe Sonde). Mit Wärmepumpe und CH-Strommix. Wert für ein Fallbeispiel mit $\pm 20\%$ Schwankungsbereich.

Im Vergleich mit anderen erneuerbaren Wärmesystemen weist KVA-Wärme ebenfalls eine sehr geringe Umweltbelastung auf. Hier ist die KVA das mit Abstand am wenigsten umweltbelastende System. Auch die Geothermie-Wärmepumpe hat trotz relativ wenig belastendem Schweizer Strommix eine vergleichsweise hohe Belastung.

Sensitivitätsanalyse Allokation

Wie im Kapitel 'Allokation' auf Seite 12 dargelegt, gibt es mehrere Möglichkeiten die Umweltbelastung des Kessels bzw. des Dampferzeugers an die Energieprodukte anzulasten. In den obigen Resultaten wurde die Allokation gemäss Exergie gewählt. Im Folgenden wird gezeigt, dass dieser Entscheid die gefundenen Resultate wenig beeinflusst.

Tab. 6.3 Ökobilanzresultate für verschiedene Allokationsarten des Kessels

Allokationsart	Belastung Strom μPunkte pro kWh	Belastung Wärme μPunkte pro kWh
Energie	11.1	169.3
Exergie (Default)	12.8	168.3
Preise	12.3	168.7
Motivation Strom	14.6	167.3
Motivation Wärme	9.37	170.3

Je nach Allokationsart können die Resultate leicht schwanken. Dass sich die Allokationsart nur leicht auswirkt, spiegelt die Tatsache, dass der Kessel/Dampferzeuger für die Umweltbelastung von Strom und auch Wärme nur eine untergeordnete Bedeutung hat, d.h. andere Systemteile sind wichtiger.

Die Allokationsart ist unbedeutend für die obigen Resultat-Aussagen: Für alle Allokationsarten sind die Belastungen von KVA-Strom und -Wärme um mindestens Faktor 50 besser als die gesetzten Grenzwerte und ein Vielfaches besser als bei konventionellen Energieträgern.

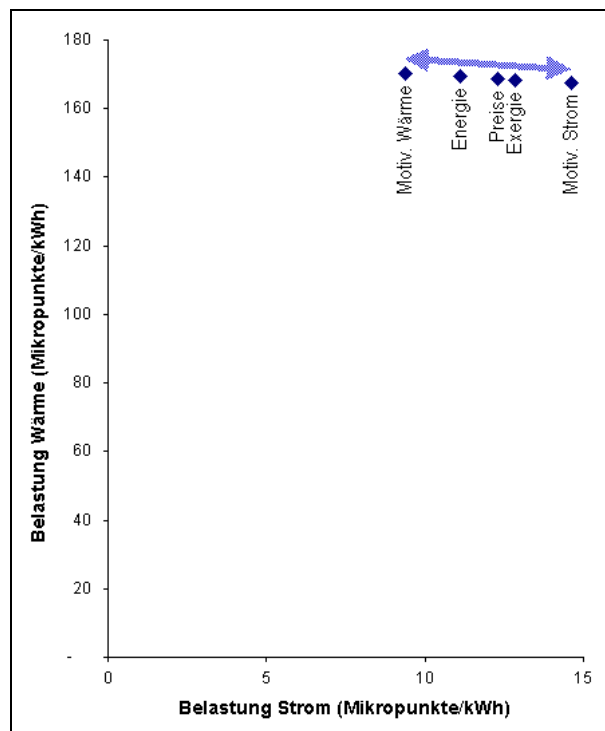


Fig. 6.1 Schwankung der Resultate bei verschiedenen Allokationsarten für den Kessel und Dampferzeuger. Alle möglichen Resultate liegen auf einer Linie.

7 Weitere Kriterien für KVA

Neben dem 'globalen Kriterium' des naturemade-Labels, welches für die Ökobilanz entscheidend ist, werden vom VUE für die Zertifizierung einer einzelnen Anlage zusätzliche Kriterien verlangt, sogenannte lokal-regionale Kriterien. In diesen können Anforderungen formuliert werden, die in einer Ökobilanz nicht berücksichtigt werden können. Trotzdem eine Zertifizierung nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, sollen hier über den Rahmen einer Ökobilanz hinaus **Hinweise** für weitere ('lokal-regionale') Kriterien für KVA gemacht werden.

Nur erneuerbaren Anteil zählen

KVA entsorgen eine Vielzahl verschiedener Stoffe. Für die erneuerbare Energieproduktion darf aber nur der Anteil an Abfällen aus erneuerbaren Stoffen gezählt werden. Dazu gehören Papier, Karton, Kompostierbares wie z.B. Rüstabfälle sowie weitere Biomasseprodukte wie Leder und Holz.

Es ist nicht einfach, den Anteil an erneuerbaren Materialien in Siedlungsabfällen anzugeben. Es existieren Durchschnittswerte, die aber insbesondere bei den erneuerbaren Materialien relativ grosse Schwankungsbereiche aufweisen. Gemäss Untersuchungen des BUWAL in 33 Gemeinden können die erneuerbaren Fraktionen im Einzelfall leicht um einen Faktor 2 und mehr vom Mittelwert abweichen (BUWAL 2003, S.33).

Tab. 7.1 Schwankungsbereiche in den erneuerbaren Abfallanteilen im Kehricht von 33 Gemeinden (BUWAL 2003)

Erneuerbare Fraktionen	Minimalwert	Mittelwert kg pro Einwohner	Maximalwert
Papier total	10.5	34	81
Karton	2.4	8.2	22
Biomasseprodukte	0.89	3.5	17
Kompostiergut	14	61	145

In der Statistik der erneuerbaren Energien in der Schweiz wird pauschal von einem erneuerbaren Heizwert von 50% im Kehricht ausgegangen (BFE 2003). Für eine *gesamtschweizerische Statistik* ist dies ein gut vertretbarer Wert. Bei Einzelanlagen kann dieser Wert bei einem so heterogenen Material wie Kehricht schwanken¹⁶ und mit der Zeit ändern. Das Festlegen des Anteils an erneuerbaren

¹⁶ Die Heterogenität des Abfalles zeigt sich nicht nur auf der Ebene der Gemeinden, sondern auch auf der Ebene der Kantone. So fallen bei den verschiedenen KVA recht unterschiedliche Schlackemengen zwischen 182 kg und 314 kg pro Tonne Kehricht an, bei einem mittleren Wert von 228 kg/t (BUWAL 2001b). Die Menge der anfallenden Schlacke ist nicht verknüpft mit dem Anteil erneuerbarer Materialien, zeigt aber, dass es keine 'Schweizer Kehrichtzusammensetzung' gibt, die für alle KVA gültig ist.

Stoffen im Abfall ist für eine Einzelanlage nicht ganz einfach, da eine repräsentative Probenentnahme von Kehrrecht einen wesentlichen Aufwand darstellt¹⁷.

Gesamtökologische Qualität hat Vorrang vor Energiesparen

KVA verbrauchen für den Eigenbedarf beträchtliche Strommengen. Eine Optimierung des Eigenstromverbrauchs, wie das auch für das naturemade-Label gefordert wird¹⁸, ist deshalb sinnvoll. Bei KVA ist der primäre Zweck die sachgemässe Entsorgung von Abfällen. Es gilt deshalb das - gesamtlich betrachtet - am wenigsten umweltbelastende Verfahren anzuwenden. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren bei den KVA Rauchgasreinigungsanlagen eingebaut. Diese verbrauchen Strom, führten aber zu einer deutlichen Verminderung der Umweltbelastungen der KVA. Mögliche energetische Effizienz-Verbesserungen sind dort durchzuführen, wo sie sinnvoll und umweltverträglich sind. Sie sollen also immer der Entsorgungsqualität untergeordnet werden und die Umweltaspekte berücksichtigen. Umgekehrt sollen für Verbesserungen der Entsorgungsqualität die energieeffizientesten – oder noch besser die umwelteffizientesten – Technologien eingesetzt werden. Das Potenzial für Energieeinsparungen respektive für verbesserte Energieausnutzung in KVA wird als sehr gross eingeschätzt (Egli 2003).

Recycling fördern

Bei Abfallbehandlungsanlagen gilt es zu beachten, dass sie in erster Linie eine Entsorgungsfunktion haben. Generell muss deshalb die *Verminderung der zu behandelnden Abfallmenge* weiterhin Priorität geniessen. Innerhalb dieses Rahmens kann und soll aber die freigesetzte Energie möglichst umfassend und sinnvoll genutzt werden.

Die Energieproduktion aus Biomasseabfällen in der KVA kann mit Recht als erneuerbar bezeichnet werden, da diese Abfälle aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Die Verbrennung von Abfällen ist aber im Sinne des Schweizerischen Abfallleitbildes nur *eine* mögliche Behandlung von Abfällen, mit höherer Priorität sollen Abfälle – wenn möglich – der **stofflichen Verwertung** zugeführt werden.

¹⁷ Eventuell wäre es denkbar durch Isotopenanalyse im Rohgas auf die Menge erneuerbarer Stoffe rückzuschliessen. Das Rohgas ist im Vergleich zum unverbrannten Abfall homogen. Oliver Cencic von der TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, hat ein Rechenmodell entwickelt, welches den Anteil erneuerbarer Stoffe im Abfall aus routinemässig gemessenen Parametern wie Abgasvolumen, Rohgas-Konzentrationen etc. berechnet (Persönliche Kommunikation mit Oliver Cencic an 1.4.2005).

¹⁸ Zertifizierungskriterium Nr. 3 "Es muss ein wesentliches Ziel der Unternehmenspolitik sein, ... den effizienten Einsatz von elektrischer Energie zu erhalten und zu fördern." (VUE 2000). Siehe auch (VUE 2001, S.6): "Frage: Trägt das naturemade-Label dazu bei, dass Energie eingespart wird? Antwort: Für die Stromproduktion verlangt der VUE den Nachweis, dass der Stromproduzent die nachhaltige Bereitstellung und den effizienten Einsatz elektrischer Energie erhalten bzw. fördern muss. Diese Anforderung wird durch die unabhängige und akkreditierte Auditierungsstelle im Rahmen des Audits überprüft. Mit der ab 10 MW Leistung geforderten Einrichtung eines Umweltmanagementsystems wird somit auch eine Energieeinsparung sichergestellt."

Tatsächlich ist die verbrannte Abfallmenge in den letzten Jahren annähernd gleich geblieben, obwohl die anfallende Menge an Siedlungsabfällen sich in den letzten 20 Jahren verdoppelt hat. Das ist auf die Zunahme der verwerteten Siedlungsabfälle mit Separatsammlungen zurückzuführen. Das zeigt, dass wir hier in der Schweiz auf dem richtigen Weg sind und die Bemühungen weitergeführt werden sollen.

Legal Compliance

Die Anlagen, insbesondere die Rauchgasreinigung, sollen modernen Anforderungen genügen und die gesetzlichen Grenzwerte einhalten und i.A. eine DeNOx-Stufe enthalten (BUWAL 2004). Alle Schweizer KVA besitzen gemäss Stand 2003 eine weitergehende Rauchgasreinigung (nass oder quasitrocken), sodass hierzu keine speziellen Kriterien notwendig sind. Weitergehende Verbesserungen wie Metallrückgewinnung aus Schlacken sind generell wünschbar, stehen aber in keinem direkten Zusammenhang mit der Nutzung der erneuerbaren Energie im Siedlungsabfall.

Finanzielle Verbesserung der Stromvergütung

Eine Steigerung der Stromproduktion durch Wirkungsgradverbesserungen ist also ökologisch erwünscht; das Potenzial ist noch gross. Leider lohnen sich angesichts der heutigen Stromabnahmepreise entsprechende Massnahmen kaum. Eine vollständige Vergütung der effektiven Gestehungskosten für die Energieproduktion ist also dringend erforderlich, damit in die Optimierung der Abwärmenutzung, in die notwendige Sicherheit und auch in neue Anlagen mit wesentlich verbesserten Wirkungsgraden investiert wird.

8 Zusammenfassung

Wird für KVA-Strom eine Ökobilanz entsprechend dem Vorgehen im naturemade-Label durchgeführt, ergibt sich für den erneuerbaren Anteil des KVA-Stroms eine Umweltbelastung von 12.8 Mikropunkten pro Kilowattstunde (0.0000128 Eco-indicator'99HA-Punkte pro kWh). Das gleiche Ergebnis ergibt sich auch für den nicht erneuerbaren Anteil des KVA-Stroms. Diese Umweltbelastung ist um einen Faktor 1100 kleiner als derjenige des naturemade-Grenzwertes für bestehende Anlagen von 13'950 Mikropunkten pro kWh.

KVA-Strom aus den biogenen und auch aus den restlichen Abfällen ist folglich wenig umweltbelastend, auch im Vergleich mit anderen erneuerbaren Energiequellen. Angesichts des grossen Potenzials in der Schweiz wird KVA-Strom somit zu einem sehr attraktiven Energieprodukt. Die Stromerzeugung in KVA schneidet ökologisch weit besser ab als andere Elektrizitäts-Systeme wie z.B. konventionelle GuD-Kraftwerke oder Wind-, Solar- und Wasserkraftwerke.

In Anlehnung an das naturemade-Vorgehen für die Stromproduktion wurde eine analoge Ökobilanz für erneuerbare KVA-Wärme durchgeführt. Für erneuerbare KVA-Fernwärme ergibt sich eine Umweltbelastung von 168 Mikropunkten pro Kilowattstunde. Dies ist um einen Faktor 52 besser als ein Grenzwert für bestehende Nutzwärme-Anlagen von 8800 Mikropunkten, welcher in Analogie zur naturemade-Methodik hergeleitet wurde. Auch KVA-Wärme kann trotz relativ aufwändiger Fernwärmenetz-Infrastruktur als wenig umweltbelastende Wärmequelle angesehen werden. Erneuerbare KVA-Wärme schneidet bei dieser Betrachtung sogar besser ab als Wärme aus Solarkollektoren, Holzheizungen oder Geothermie-Anlagen.

Die KVA hat in erster Linie eine Entsorgungsfunktion. Die Verminderung der zu behandelnden Abfallmenge muss weiterhin Priorität geniessen. Innerhalb dieses Rahmens kann und soll aber die freigesetzte Energie möglichst umfassend und sinnvoll genutzt werden.

Die hier gefundenen Resultate sind nur für das Vorgehen des naturemade-Labels bzw. daraus abgeleitete Vorgehen gültig, das aber unter Mitwirkung der Elektrizitätswerke, Umweltverbände und Behörden breit abgestützt ist. Es sind andere, hier nicht betrachtete Vorgehensweisen der Ökobilanzierung möglich, die zu anderen Schlüssen führen könnten. In diesem Sinne gelten die Resultate nur für die gewählte Methodik und sollten nicht mit Resultaten aus Studien, die auf anderen Vorgehensweisen basieren, verglichen oder vermischt werden.

Literatur

- BFE 2003 Bundesamt für Energie, "Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2003", Bundesamt für Energie, Bern, August 2004. Online-Version unter http://www.eicher-pauli.ch/ids/_publications/default.asp?TopicID=59
- BUWAL 2001a BUWAL (2001) Energieerzeugung und Nutzung in KVA 2000, Stand 11.12.2001. Industrie- und Gewerbeabfälle, Bern, Switzerland Online-Version vom 3. März 2002 von http://www.buwal.ch/abfall/docu/pdf/tab10_d.pdf
- BUWAL 2001b BUWAL (2001) Entsorgung der KVA-Schlacke 2000, Stand 11.12.2001. BUWAL, Bern, Switzerland Online-Version vom 2. März 2002 von http://www.buwal.ch/abfall/docu/pdf/tab7_d.pdf
- BUWAL 2003 BUWAL "Erhebung der Kehrrechtzusammensetzung 2001/02", Schriftenreihe Umwelt Nr. 356, BUWAL, Bern, 2003. Online-Version vom 28. November 2003 von <http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/shop/files/pdf/phpTTUmk8.pdf>
- BUWAL 2004 BUWAL (2004) Stammdaten der Kehrrechtverbrennungsanlagen im Jahre 2003, Stand 9.7.2004. BUWAL, Bern, Switzerland. Online-Version vom 22. Juli 2004 von http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/abfall/tab5-03_d.pdf
- Doka 2003 G. Doka "Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services". Final report ecoinvent 2000 No. 13. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2003. Nur erhältlich für ecoinvent-2000-Mitglieder unter www.ecoinvent.ch
- ecoinvent 2000 Swiss Centre for Life Cycle Inventories "ecoinvent data v1.01" Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2003. ISBN 3-905594-38-2. Nur erhältlich für ecoinvent-2000-Mitglieder unter www.ecoinvent.ch
- Edelmann/Schleiss 1999 W. Edelmann, K. Schleiss (1999): Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe, Schlussbericht zuhanden von BFE/BUWAL, 3003 Bern
- Egli 2003 S. Egli "Zahlen und Fakten zur Energieerzeugung und -nutzung in Schweizer Kehrrechtverbrennungsanlagen" Revidierte Fassung 28. September 2003. Aktion 'Energie in Infrastrukturanlagen' des Programms 'EnergieSchweiz'.
- ESU 1996 R. Frischknecht, P. Suter, U. Bollens, S. Bosshart, M. Ciot, L. Ciseri, G. Doka, R. Hirschier, A. Martin, R. Dones, U. Gantner, "Ökoinventare von Energiesystemen", Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt (ESU), ETH Zürich und PSI, Villigen, 3. Auflage, Juli 1996
- Faist et al. 2004 M. Faist Emmenegger, R. Frischknecht "Ökobilanz einer Wärmepumpe mit Abwärmenutzung aus Rohabwasser". Schlussbericht Juni 2004. Im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich. Vertrauliches Exemplar erhalten von E.A. Müller im Juli 2004.

- Frischknecht et al. 2000 R. Frischknecht, N. Jungbluth, "Globale Umweltkriterien für Ökostrom – Schlussbericht", ESU-services, Uster, 5. Mai 2000. Online-Version vom 31. Januar 2001 von http://www.naturemade.org/common/texte/Stromlabel_7.2000.PDF
- Frischknecht et al. 2001 R. Frischknecht, N. Jungbluth, "Festlegung der Systemgrenze für die Zertifizierung von Ökostrom gemäss naturemade star", ESU-services, Uster, 10. August 2001, im Auftrag von eam Energie & Umwelt, Zürich. Vertrauliches Exemplar erhalten von E.A. Müller im Februar 2004.
- Ronchetti et al. 2002 C. Ronchetti, P. Bienz, R. Pridal, "Ökobilanz Klärgasverstromung", Swiss TS Technical Services, Thun, November 2002. Im Auftrag des BFE, Bern, und der Aktion 'Energie in Infrastrukturanlagen'. Vertrauliches Exemplar erhalten von E.A. Müller im Februar 2004.
- TVA 2000 Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990 (Stand am 28. März 2000). Online-Version vom 29. Mai 2001 von <http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.600.de.pdf>
- VUE 2000 VUE, "Grundsätze zur Zertifizierung mit Naturemade Star für Produzenten, Version 3.0", Verein für Umweltgerechte Elektrizität (VUE), 1. November 2000, Online-Version vom 31. Januar 2001 von http://www.naturemade.org/common/texte/Grunds%20E4tze_mL2.pdf
- VUE 2001 VUE, "naturemade – Fragen und Antworten. Version 2", Verein für Umweltgerechte Elektrizität (VUE), 27. Juli 2001, Online-Version vom 4. Februar 2004 von http://www.naturemade.org/common/texte01/Fragen_und%20Antworten_deutsch%20_2.pdf
- VUE 2003 VUE, "Jahresbericht 2002", Verein für Umweltgerechte Elektrizität (VUE), 1. November 2000, Online-Version vom 2. Februar 2004 von <http://www.naturemade.org/common/texte01/JB2002deutsch.pdf>