

# Aktualisierung und Ergänzung der naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums

**Projektphase 1 (Klärschlamm)**  
**Projektphase 2 (Holzverbrennung, Biogas)**

Auftraggeber  
**Verein für umweltgerechte Energie (VUE)**  
Molkenstrasse 21  
CH - 8004 Zürich  
[www.naturemade.org](http://www.naturemade.org)

Auftragnehmer  
**ESU-services GmbH**  
Niels Jungbluth, Rolf Frischknecht, Amélie Orthlieb, Sybille Büsser,  
Marianne Leuenberger  
Kanzleistrasse 4  
CH - 8610 Uster

Uster

Zwischenbericht Stand September 2010

ESU-services Ltd.  
Rolf Frischknecht  
Niels Jungbluth  
Sybille Büsser  
Marianne Leuenberger  
Matthias Stucki  
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 61 38  
T +41 44 940 67 94  
F +41 44 940 61 94

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

---

## Impressum

Titel	Aktualisierung und Ergänzung der naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums
Zitervorschlag	Jungbluth N., Frischknecht R., Orthlieb A., Büsser S. and Leuenberger M. (2010) Aktualisierung und Ergänzung der naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums von Energieprodukten (Zwischenbericht Juli 2010). ESU-services im Auftrag vom Verein für umweltgerechte Energie (VUE), Uster, retrieved from: <a href="http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=naturemade">http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=naturemade</a>
Auftraggeber Begleitgruppen	Verein für umweltgerechte Energie (VUE), <a href="http://www.naturemade.org">www.naturemade.org</a> naturemade Geschäftsstelle: Maren Kornmann, Yvonne Bopp, Cornelia Brandes, Charlotte Spörndli, Regina Bulgheroni AG Biogas: Beat Ammann, ARA Bern (Kläranlagen) Stefan Mutzner, Ökostrom Schweiz (landwirtschaftliche Anlagen) Daniel Würigler, Kompogas (Grüngutanlagen) Reto Steiner, Ernst Basler + Partner (VUE Experte) AG Biomethan Michael Reichert, Marc Zysset, Erdgas Zürich AG Holzenergie: Georg Meier, EKZ René Nijsen, Durena AG Christoph Rutschmann, Holzenergie Schweiz Peter Müller, Simon Inauen, EWZ AG Wärmepumpe: Georg Dubacher, Gerhard Emch, Brigitta Künzli, EWZ Stephan Peterhans, FWS AG Kriterien: Gerhard Emch, ewz Patrick Hofstetter, WWF Schweiz Franco Milani, Rätia Energie, neu: Repower Luca Vetterli, Pro Natura Arthur Wellinger, Biogas-Forum
Version	jungbluth-2010-naturemade_KWM_Zwischenbericht.doc, 02.09.2010 15:37
Urheberrecht	Soweit nicht anders vermerkt bzw. direkt vereinbart sind sämtliche Inhalte in diesem Bericht urheberrechtlich geschützt. Das Kopieren oder Verteilen des Berichts als Ganzes oder in Auszügen, unverändert oder in veränderter Form ist nicht gestattet und bedarf der ausdrücklichen Zustimmung von ESU-services GmbH und/oder dem VUE. Es ist nicht gestattet, den Bericht oder Teile davon auf Websites ausserhalb <a href="http://www.esu-services.ch">www.esu-services.ch</a> und <a href="http://www.naturemade.ch">www.naturemade.ch</a> zum Download bereitzustellen. Auch in veränderter Form bedarf die Weiterverbreitung der Inhalte der ausdrücklichen Genehmigung durch ESU-services GmbH und/oder dem VUE.
Haftungsausschluss	Die Informationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. ESU-services GmbH und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung, oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. ESU-services GmbH und die Autoren lehnen jede rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder Folge-Schäden oder welche Schäden auch immer, ausdrücklich ab.
Autoren	Niels Jungbluth, Rolf Frischknecht, Amélie Orthlieb, Sybille Büsser, Marianne Leuenberger ESU-services GmbH Kanzleistrasse 4, 8610 Uster Tel. +41 44 940 61 32, Fax +41 44 940 61 94 <a href="mailto:jungbluth@esu-services.ch">jungbluth@esu-services.ch</a> <a href="http://www.esu-services.ch">www.esu-services.ch</a>

---

# Inhalt

<b>IMPRESSUM</b>	<b>I</b>
<b>INHALT</b>	<b>II</b>
<b>GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN</b>	<b>IV</b>
<b>1 EINFÜHRUNG UND ÜBERSICHT</b>	<b>6</b>
1.1 Auftrag .....	6
1.2 Kennwertmodelle.....	6
1.3 Zertifizierte Energieprodukte und Nebenprodukte .....	6
1.4 Zusammenhang der verschiedenen Produkte und Systeme .....	8
1.5 Querschnittsaufgaben .....	9
1.6 Vorgehen.....	9
1.7 Offene Punkte .....	9
1.8 Vergleich mit alten Kennwertmodellen.....	9
<b>2 QUERSCHNITTAUFGABEN</b>	<b>10</b>
2.1 Bewertungsmethode für das globale Kriterium .....	10
2.2 Umweltdeklaration für Energieprodukte .....	10
2.2.1 Eingaben .....	10
2.2.2 Berechnung und Allokation .....	11
2.2.3 Umwelt-Indikatoren .....	12
2.2.4 Beispiel einer Umweltdeklaration im Kennwertmodell .....	12
2.2.5 Standardwerte konventioneller Systeme .....	13
2.2.6 Kompensationsberechnung und CO <sub>2</sub> -Zertifikate .....	13
<b>3 REFERENZSYSTEME UND GRENZWERTE</b>	<b>15</b>
3.1 naturemade Energieprodukte.....	15
3.1.1 Strom.....	15
3.1.2 Wärme.....	16
3.1.3 Kälte .....	17
3.1.4 Biomethan .....	18
3.2 Nicht-energetische Nebenprodukte.....	20
3.2.1 Kläranlage: Entsorgung Abwasser und Klärschlamm, Klärschlamm als Brennstoff .....	20
3.2.2 Verarbeitung von Co-Substraten: Entsorgung und Kompost .....	22
3.2.3 Verarbeitung von Co-Substraten: Holzschnitzel als Brennstoff.....	26
3.2.4 Vergärung in der Landwirtschaft: Lagerung von Hofdünger .....	27
3.2.5 Referenz für einige direkte Emissionen der Biogasanlage .....	27
3.3 Zusammenfassung der Grenz- und Referenzwerte .....	30
3.4 Prüfung des globalen Kriteriums .....	30
<b>4 BESCHREIBUNG DER KENNWERTMODELLE</b>	<b>33</b>
4.1 Einführung .....	33
4.2 Bedienung .....	33
4.3 Allgemeine Systemgrenzen für das Kennwertmodell .....	33
4.4 Datengrundlagen und Berechnung .....	34

---

4.5	Holzenergieanlagen .....	34
4.5.1	Auswertungen .....	35
4.5.2	Systemgrenzen .....	37
4.5.3	Kenngrossen .....	38
4.5.4	Lokale Kriterien .....	41
4.6	Biogasanlagen.....	42
4.6.1	Auswertungen .....	42
4.6.2	Systemgrenzen .....	44
4.6.3	Kenngrossen .....	46
4.6.4	Lokale Kriterien .....	50
4.7	Gasaufbereitung und -verteilung.....	51
<b>5</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>52</b>

## Glossar und Abkürzungen

Abfall	Material, dass gegen Entgelt einem Verarbeiter abgegeben wird.
COP	Coeffizient of Performance für die Anlage. Verhältnis Energieverbrauch der Anlage (Wärmepumpe, Kompressionskälte) im Verhältnis zum Output.
Eco-indicator 99 (H,A)	Methode zur Zusammenfassung und Bewertung einer Reihe von unterschiedlichen Emissionen in Luft, Wasser und Boden sowie Ressourcenverbräuche von Land, Energie und Mineralien. In dieser Arbeit wird die Hierarchist Perspektive genutzt.
ecoinvent	Datenbank für die Erstellung von Ökobilanzen (ecoinvent Centre 2010).
Energieprodukt	Als naturemade Energieprodukte werden Strom, Wärme, Kälte und Biomethan betrachtet.
Grenzwert	Der Grenzwert beschreibt die maximale Umweltbelastung für ein zertifiziertes naturemade Energieprodukt. Der Grenzwert beträgt 50% der Umweltbelastung, ausgedrückt in Eco-indicator 99 (H,A) Punkten, des festgelegten Referenzsystems für ein Energieprodukt.
Gutschrift	Abzug der Umweltbelastungen eines Referenzsystems in der Ökobilanz. In den früheren Kennwertmodellen wurden Gutschriften für die Nebenprodukte berücksichtigt. Im neuen Modell werden keine Gutschriften mehr erteilt.
Globales Kriterium	Prüfung des Einhaltens des Prüfwertes (Summe Grenz- und Referenzwerte) für die Anlage in einem Kennwertmodell mit einer vereinfachten Ökobilanz.
Indikator	Masszahl zur Bewertung von Umweltbelastungen. Indikatoren sind z.B. „kg CO <sub>2</sub> -eq“ für die Emission von Treibhausgasen oder „Eco-indicator 99 (H,A) Punkte“ als Mass für alle Arten von Umweltbelastungen.
JAZ	Anlagen Jahresarbeitszahl. Weiter gefasst als COP. Erfasst Gesamtverbrauch des Systems, z.B. inklusive Pumpenergie.
Kennwertmodell	Ein Kennwertmodell erlaubt die Erstellung einer vereinfachten, anlagenspezifischen Ökobilanz für ein Energiesystem. Das Modell wird in einer EXCEL Tabelle erstellt. Vom Benutzer sind einige anlagenspezifische Kenngrößen einzugeben, die für die Berechnung der Umweltbelastungen besonders relevant sind. Diese werden zusammen mit allgemeinen Ökobilanzdaten zum untersuchten System verknüpft.
KM	Kompressionskältemaschinen
kWh	Kilowattstunden. Standardeinheit für energetische Inputs und Outputs. Bei Brenn- und Treibstoffen wird der untere Heizwert zur Umrechnung verwendet.
Lokales Kriterium	Zusätzliche systemspezifische Anforderungen zur Zertifizierung von Energieprodukten mit dem Label naturemade star.

---

Multi-Output-Prozess	Technischer Prozess der mehr als ein Produkt liefert, z.B. Wärme-Kraft-Kopplung mit Strom und Wärme als Produkte. Umweltbelastungen müssen auf alle Produkte verteilt werden (Allokation).
Nebenprodukt	Produkt eines Systems, das nicht energetisch genutzt wird, z.B. Kompost oder Entsorgungsdienstleistung.
Produkt	Energieprodukt oder Nebenprodukt der Anlage
Prüfwert	Summe der Grenz- und Referenzwerte multipliziert mit den Produktionsmengen einer Anlage.
Referenzsystem	<p>Das Referenzsystem für ein Energieprodukt beschreibt ein konventionelles Energiesystem auf Basis nicht-erneuerbarer Energieträger (Erdgas) zur Bereitstellung eines Energieproduktes.</p> <p>Das Referenzsystem für nicht-energetische Nebenprodukte beschreibt den aktuellen Stand der Technik für eine alternative Bereitstellung dieser Nebenprodukte ohne gleichzeitige Erzeugung des Energieproduktes.</p>
Referenzwert	Der Referenzwert beschreibt die Umweltbelastung für die Bereitstellung eines Nebenproduktes in einem System das keine Energieprodukte erzeugt (→ Referenzsystem). Er wird ausgedrückt in Eco-indicator 99 (H,A) Punkten.
Sm <sup>3</sup>	Schüttkubikmeter (auch Schnitzelkubikmeter oder Schüttraummeter). Allgemein gebräuchliches Raummass zur Bestimmung der Holzschnitzelmenge.
VUE	Verein für umweltgerechte Energie

# 1 Einführung und Übersicht

## 1.1 Auftrag

Der Verein für umweltgerechte Energie (VUE) hat die Einführung der Zertifizierung von Wärme, Kälte und Biomethan aus erneuerbaren Energien beschlossen. Im Zusammenhang mit dieser Erweiterung der zu zertifizierenden Energieprodukte sollen die bestehenden Kennwertmodelle zu Strom aktualisiert beziehungsweise überarbeitet und erweitert werden.

Ausserdem soll eine Umweltdeklaration für die im Kennwertmodell eingegebene Anlage und deren Produkte erfolgen.

In diesem Bericht wird eine Übersicht zu den bisher durchgeführten Arbeiten gegeben. Der Bericht enthält auch eine detaillierte Beschreibung der Methode und der analysierten Systeme.

## 1.2 Kennwertmodelle

Im Rahmen des Auftrags werden im Kapitel 4 Kennwertmodelle (KWM) für die nachstehend aufgelisteten Anlagentypen beschrieben. Zum Teil wurden die Arbeiten noch nicht vollständig abgeschlossen.

Tab. 1.1 Kennwertmodelle, zertifizierte Produkte und Energieträger zur Zertifizierung. Grau unterlegt sind die Teile für die bereits eine Finanzierung zugesagt wurde und die in diesem Bericht bearbeitet werden

Anlagentyp / Kennwertmodell	Energieträger	Zertifizierte Produkte	Status Mitte 2010
Holzenergie	Restholz Altholz Stückholz Holzschnitzel Holzpellets	Strom Wärme Fernwärme Biomethan	Abgeschlossen
Biogasanlage (Landwirtschaft, Kompostgas, Kläranlage)	Gülle Biogene Abfälle nachwachsende Rohstoffe Klärschlamm	Strom Wärme Fernwärme Biomethan	Abgeschlossen
Sonnenkollektoren	Sonnenenergie	Wärme	geplant
Wärmepumpe	Umweltwärme und Strom aus erneuerbaren Energien	Wärme Fernwärme	
Kompressionskältemaschine	Strom aus erneuerbaren Energien	Kälte Fernkälte	
Ad-/Absorptionskältemaschinen	Wärme aus erneuerbaren Energien	Kälte	
Biomethannutzung	Biomethan aus erneuerbarer Energie	Strom Wärme Kälte	

## 1.3 Zertifizierte Energieprodukte und Nebenprodukte

Für die Zertifizierung einer Anlage ist es notwendig, hinsichtlich der vier verschiedenen Energieprodukte Strom, Wärme (inkl. Fernwärme), Kälte (inklusive Fernkälte) und Biome-

than zu unterscheiden. Von den Nutzern der KWM wird angegeben, welche Produkte in welchen Mengen von der Anlage produziert und genutzt werden.

Im Kennwertmodell wird überprüft, ob das globale Kriterium für alle Energieprodukte einer Anlage erfüllt ist. Bestätigt wird das positive Ergebnis der Prüfung für jedes der zur Prüfung vorgeschlagenen Energieprodukte und deren Produktionsmenge.

- Prüfung, Strom
- Prüfung, Wärme (inklusive Fernwärme)
- Prüfung, Kälte (inklusive Fernkälte)
- Prüfung, Biomethan (96 Vol.-% Methan)

Für jedes dieser Energieprodukte wird in diesem Bericht ein Referenzsystem und der nature-made Grenzwert festgelegt. **Der Grenzwert entspricht dabei 50% der Umweltbelastungen des Referenzsystems.**

Einige Anlagen stellen nicht nur diese Energieprodukte, sondern auch zusätzliche Produkte oder Dienstleistungen her. Diese Nebenprodukte werden in den bisherigen Kennwertmodellen mit einer Gutschrift in Höhe eines Referenzsystems berücksichtigt. Neu wird auch für diese Produkte ein Referenzsystem und -wert (entsprechend der bisherigen Gutschrift) bestimmt und in der Gesamtberechnung berücksichtigt. Dabei wird der Referenzwert als 100% von dessen Umweltbelastung angenommen. Folgende Nebenprodukte werden in den hier bilanzierten Anlagentypen produziert:

- Entsorgungsdienstleistung:
  - Grüngut und Co-Substrat
  - Abwasser
  - Klärschlamm
- Produktion von Kompost
- Lagerung von Hofdünger
- Produktion von anderen Brennstoffen
- Direkte Emissionen aus der Gärgutbehandlung

Bei der Diskussion des grundsätzlichen Vorgehens wurde entschieden, dass es nicht sinnvoll oder möglich ist, die Erreichung des Grenzwertes getrennt für die einzelnen Energieprodukte zu prüfen.<sup>1</sup>

Im KWM wird geprüft, ob die Gesamtumweltbelastung der Anlage unter dem Prüfwert (Summe aller Grenz- und Referenzwerte multipliziert mit der Produktionsmenge) bleibt.

Die detaillierte Methodik zur Bestimmung von Grenz- und Referenzwerten wird im Kapitel 3 beschrieben.

---

<sup>1</sup> Andernfalls wäre es möglich, ein Energieprodukt mittels einer Quersubvention durch die anderen Energieprodukte zu zertifizieren.

## 1.4 Zusammenhang der verschiedenen Produkte und Systeme

Fig. 1.1 zeigt einen generellen Überblick zum Zusammenhang der verschiedenen Systeme, Produkte, Referenz- und Grenzwerte, die im Rahmen des Projektes festgelegt werden müssen.

Ausgangspunkt ist ein erneuerbarer Energieträger. Dieser wird in einer Anlage in Endenergie in Form von Strom, Wärme oder Methan überführt. Ausserdem werden im Energiesystem unter Umständen Nebenprodukte bereitgestellt.

In einem zweiten System kann Strom zu Wärme oder Kälte umgewandelt werden. Ebenfalls möglich ist die Umwandlung von Wärme in Kälte.<sup>2</sup>

Je nach Standort des Abnehmers müssen Wärme und Kälte über ein Verteilnetz transportiert werden. Die damit verursachten Umweltbelastungen werden im KWM ebenfalls erfasst.

Sowohl Ökobilanz-Hintergrunddaten als auch Eingaben zu Kenngrössen werden in den jeweiligen KWM genutzt, um die Gesamtumweltbelastungen einer spezifischen Anlage zu berechnen. Diese Umweltbelastungen werden mit der Summe der produktspezifischen Referenz- und Grenzwerte verglichen.

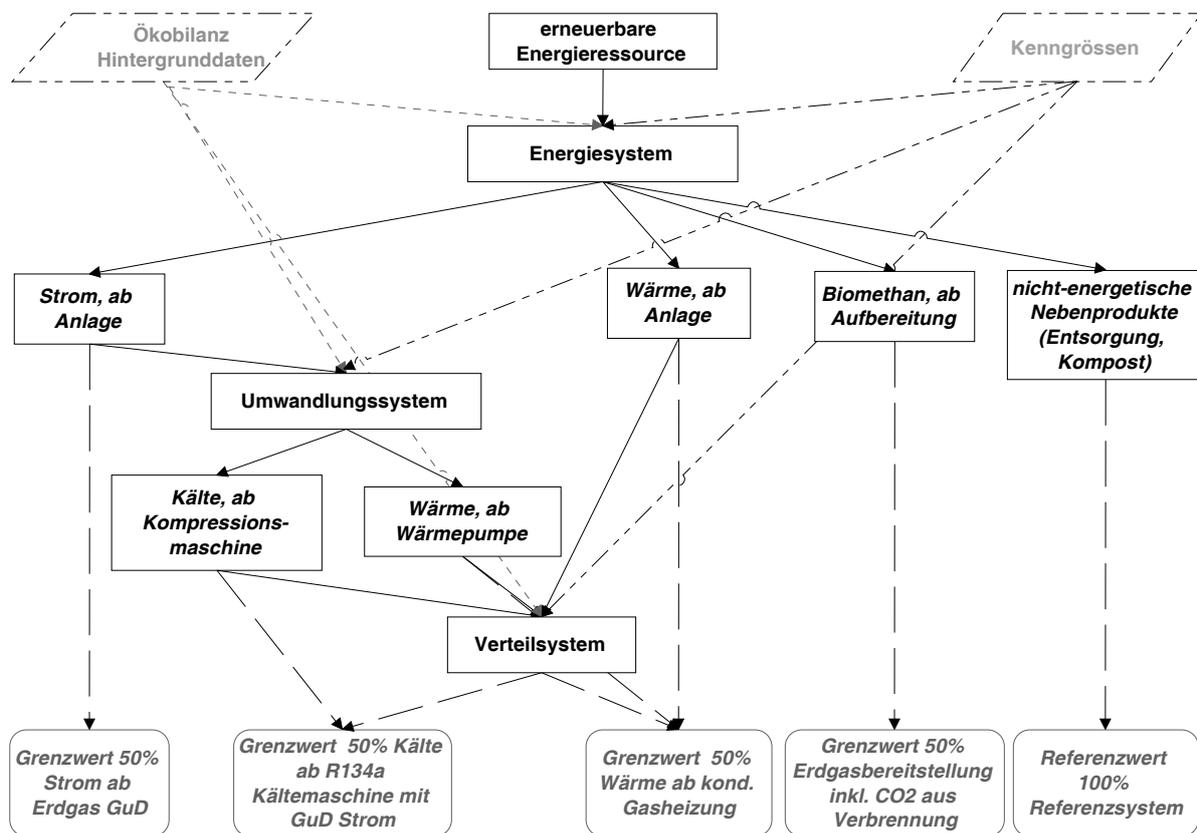


Fig. 1.1 Übersicht zum Vorgehen bei der Unterscheidung von Energiesystemen, Umwandlung und Verteilung. Zuordnung des Referenzsystems sowie der Grenz- und Referenzwerte zu den verschiedenen Produkten. Abfrage von Kenngrössen in der Modellierung.

<sup>2</sup> Noch nicht betrachtet.

## 1.5 Querschnittsaufgaben

Neben der Erstellung der Kennwertmodelle sind auch noch Querschnittsaufgaben notwendig. In der Überprüfung des globalen Kriteriums wurde abgeklärt, ob zukünftig eine andere Bewertungsmethode und ein anderer Grenzwert verwendet werden kann (Kapitel 2.1).

Mittels der Kennwertmodelle kann auch eine Umweltdeklaration für die Anlagen erstellt werden. Dafür werden in einem gesonderten Blatt die Umweltbelastungen für den Energiebedarf, Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte 2006 und Eco-indicator 99 (H,A) für die Gesamtanlage und pro Produkteinheit berechnet. Die Methodik hierfür wird im Kapitel 2.2 erläutert.

Für die neu zu bilanzierenden Energieprodukte wie z.B. Wärme oder Kälte müssen einige, für alle Systeme relevante Daten erhoben werden. Dazu gehört beispielsweise das Herstellen von Kälteanlagen oder Bau und Betrieb von Fernwärmenetzen. Die neu erhobenen Daten werden in einem vertraulichen Anhang zu diesem Bericht dokumentiert.

## 1.6 Vorgehen

Mit dem Ziel auch Biomethan sowie Wärme und Kälte zu zertifizieren, wurden die bestehenden Kennwertmodelle dahingehend erweitert, dass Strom, Wärme, Kälte und Biomethan in einem einzigen Kennwertmodell zertifiziert werden können. Dadurch vermindert sich der Aufwand nicht nur bezüglich Unterhalt der Kennwertmodelle sondern auch bezüglich des Einarbeitungsaufwandes auf Seiten der Anlagenbetreiber und Zertifizierer.

Da auch die Bewertungsmethode und damit die Grenzwerte zur Diskussion stehen, wurden die zu aktualisierenden Kennwertmodelle so vorbereitet, dass ein Wechsel von Methode und Grenzwert mit möglichst geringem Aufwand möglich ist.

## 1.7 Offene Punkte

In diesem Bericht wird ein Zwischenstand des Projektes nach Fertigstellung der Modelle für Biogas und Holzenergie vorgestellt. Das Projekt läuft im Moment weiter um auch für andere Systeme die entsprechenden Modelle zur Verfügung zu stellen.
---

## 1.8 Vergleich mit alten Kennwertmodellen

Die bisherigen Kennwertmodelle für die Zertifizierung von umweltgerechtem Strom (Frischknecht & Jungbluth 2000) basieren auf einer teilweise deutlich unterschiedlichen Methodik. Da alle Nebenprodukte bei der Berechnung in Abzug gebracht wurden, wurden auch negative Umweltbelastungen ausgewiesen. Mit dem neuen Modell verursacht hingegen jede Anlage absolut gesehen Umweltbelastungen grösser Null. Damit ist es nicht möglich absolute oder prozentuale Werte aus alten und neuen Kennwertmodellen direkt miteinander zu vergleichen. Die Schwelle bei welcher ein Produkt bzw. ein System den Grenzwert erreicht bleibt durch diesen Wechsel des Modells unbeeinflusst.

## 2 Querschnittsaufgaben

### 2.1 Bewertungsmethode für das globale Kriterium

Es sollte abgeklärt werden, ob zukünftig eine andere Bewertungsmethode und ein anderer Grenzwert verwendet werden kann. Bei einer Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (H,A) ist es für alle Energieprodukte aus ackerbaulich produzierter Biomasse kaum möglich, den naturemade Grenzwert zu erreichen. Im Eco-indicator 99 (H,A) wird vor allem die Landnutzung stark negativ bewertet. Dabei wird in der Bewertung nicht hinsichtlich möglicher Unterschiede wie z.B. Bioanbau oder landwirtschaftlicher Anbau mit geringem Düngemittel- und Pesticideinsatz differenziert. Mit neueren Bewertungsmethoden wäre dies eher möglich.

Folgende Bewertungsmethoden wurden in einer Evaluation berücksichtigt und deren Ergebnisse analysiert:

- Eco-indicator 99 (H,A) (Goedkoop & Spriensma 2000)
- Umweltbelastungspunkte 2006 (Frischknecht et al. 2008)
- Impact 2002+ (Margni et al. 2003)
- EPS environmental priority strategies (Steen 1999)
- EDIP (DK LCA Center 2007)
- RECIPE (Goedkoop et al. 2009) (Auswertung noch nicht durchgeführt)<sup>3</sup>

Zu diesem Teil wurde dem VUE im März 2008 ein Kurzbericht zugestellt. Daraufhin wurde entschieden, zunächst die Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (H,A) weiterzuführen.

### 2.2 Umweltdeklaration für Energieprodukte

#### 2.2.1 Eingaben

Mittels der Kennwertmodelle wird eine Umweltdeklaration für die Anlagen erstellt. Dafür sollen in einem gesonderten Blatt die Umweltbelastungen wie z.B. Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte 2006, etc. für die Gesamtanlage und pro Produkteinheit berechnet werden. Damit können Anlagenbetreiber die mit dem Bezug von naturemade Produkten verbundenen Umweltbelastungen auf einfache Art ermitteln.

Als Grundlage werden die Daten des Kennwertmodells verwendet. Es werden keine zusätzlichen Kenngrößen im Modell abgefragt, auch wenn diese unter Umständen für die Berechnung der Indikatoren einen relevanten Einfluss haben könnten. Damit soll der Aufwand zum Ausfüllen des KWM nicht weiter wachsen.

---

<sup>3</sup> Status März 2009. Die Methode ist jetzt veröffentlicht. Die Emissionen von CO<sub>2</sub> und der Verbrauch fossiler Energie dominieren die Resultate in den meisten Fällen.

## 2.2.2 Berechnung und Allokation

Die Umweltbelastungen der Gesamtanlage müssen auf die verschiedenen Produkte der Anlage aufgeteilt werden (Allokation). Hierfür gibt es folgende Ansätze:

1. Energie oder Exergie Gehalt der Produkte. Exergie ist in der ecoinvent Datenbank die Standardmethode bei Energiesystemen. Hierbei ergibt sich aber das Problem fehlender Kriterien für Nebenprodukte wie Kompost oder Entsorgungsfunktionen.
2. Preise der verkauften Produkte. Damit starke Abhängigkeit für die spezifische Situation vor Ort und evtl. schlechte Vergleichbarkeit verschiedener Anlagen wenn sehr unterschiedliche Preise gezahlt werden.
3. Durchschnittliche Marktpreise der Produkte. Diese spiegeln die besondere Qualität der naturemade Energieprodukte nicht wieder.
4. Kombination von ökonomischer Allokation zwischen Energieprodukten und Nebenprodukten und dann Exergie Allokation für Energieprodukte.
5. Grenzwert bzw. Referenzwert der Umweltbelastungen für die erzeugten Produkte.

Bei Vorschlag 1-4 ist es möglich, dass einzelne Produkte höhere Umweltbelastungen ausgedrückt in Eco-indicator 99 (H,A) Punkten haben, als der naturemade Grenzwert (siehe z.B. Strom aus Holz-WKK in Fig. 3.1). Ansatz 4 mit Marktpreisen entspricht am ehesten dem Vorgehen in der ecoinvent Datenbank.

Es wurde entschieden, die Allokation der Gesamtbelastungen auf die einzelnen Produkte anhand der naturemade Grenzwerte durchzuführen. Dies entspricht Vorschlag 5 (siehe Tab. 2.1). Die Umweltbelastung jedes einzelnen Produktes entspricht dann der Multiplikation des produktspezifischen Grenz- bzw. Referenzwertes mit der prozentualen Reduktion der Umweltbelastungen (Gesamtbelastung der Gesamtanlage geteilt durch Prüfwert).

Ein Beispiel zur vorgeschlagenen Allokation für die Umweltdeklaration zeigt Tab. 2.1. Aus der Produktion und den Grenz- bzw. Referenzwerten wird zunächst die Grenz-Belastung der Anlage ermittelt. Hiermit wird der prozentuale Anteil der Produkte berechnet. Die gesamten CO<sub>2</sub>-eq Emissionen (50 Tonnen) werden dann an Hand dieser Prozentanteile auf die verschiedenen Produkte umgerechnet und als Wert pro Produkteinheit angegeben.

Tab. 2.1 Fiktives Beispiel für die Umweltdeklaration einer Gesamtanlage und der Allokation auf ihre Produkte mit dem Indikator Treibhausgasemissionen.

	Einheit	Grenz- bzw. Referenzwert EI'99 Pkt/Einheit	Produktion Jahr	Prüfwert EI'99 Pkt/a	Anteil %	CO <sub>2</sub> -eq kg/a	CO <sub>2</sub> -eq kg/Einheit	
Energieprodukte	Elektrizität	kWh	100'000	1'370	10%	5'237	5.24E-02	
	Wärme	kWh	500'000	3'835	29%	14'658	2.93E-02	
	Fernwärme	kWh	0.0077	10'000	77	1%	293	2.93E-02
	Kälte	kWh	JAZ abhängig			0%	-	-
	Fernkälte	kWh	JAZ abhängig			0%	-	-
	Biomethan	kWh	0.0078	1'000'000	7'770	59%	29'698	2.97E-02
	Nebenprodukte	Frischklärschlamm Entsorgung	m <sup>3</sup>	-				
Entsorgung Co-Substrat		CHF	0.0298	1'000	30	0.2%	114	1.14E-01
Gärgut, fest		kg	0.0008	-	-	0%	-	-
Gärgut, flüssig		kg	0.0002					
Lagerung Hofdünger		m <sup>3</sup>	0.0030					
Klärschlammbehandlung		kg	0.0013					
<b>Total</b>		-	-	13'082	100%	50'000		

### 2.2.3 Umwelt-Indikatoren

Als Indikatoren werden folgende Grössen für die Umweltdeklaration berechnet:

- Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-eq), (Faktoren 2007, Solomon et al. 2007)
- nicht-erneuerbarer Energiebedarf (fossil, nuklear) (MJ-eq), (Frischknecht et al. 2007)
- Umweltbelastungspunkte 2006, (Frischknecht et al. 2008)
- Eco-indicator 99 (H,A), (Goedkoop & Spriensma 2000, Langzeit-Emissionen werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt).

In der ecoinvent Datenbank wird für Strom immer die Referenzeinheit kWh verwendet. Für Wärme, Kälte und Gas wird hingegen zur Unterscheidung die Einheit MJ genutzt (1 kWh = 3.6 MJ). Der VUE wünscht kWh als Bezugsgrösse für die Umweltdeklaration aller Produkte. Damit müssen die Umweltbelastungen für einen Vergleich mit ecoinvent Daten auf die Einheit MJ umgerechnet werden.

### 2.2.4 Beispiel einer Umweltdeklaration im Kennwertmodell

Tab. 2.2 zeigt ein Beispiel für die Umweltdeklaration. Im oberen rötlichen Teil stehen jeweils die Gesamtbelastungen pro Jahr für verschiedene Umweltindikatoren und für verschiedene Teilbereiche der Anlage. Links unten wird das Ergebnis der Prüfung des globalen Kriteriums gezeigt (rot). Es wird auch angezeigt wie viel Prozent vom erlaubten Prüfwert die bilanzierte Umweltbelastung beträgt (hier 55%). Im unteren rechten Teil (grün) wird die Umweltdeklaration mit den Belastungen der Energieprodukte pro kWh gezeigt. Im gezeigten Beispiel verursacht der Bezug von naturemade Strom z.B. 48 Gramm CO<sub>2</sub>-eq Emissionen pro kWh.

Zur Erfüllung des globalen Kriteriums muss der Prüfwert kleiner sein als die Umweltbelastung der Anlage. Das Verhältnis wird unten rechts angegeben und die Prüfung ist bestanden wenn der Prozentwert kleiner ist als 100%.

Tab. 2.2 Fiktives Beispiel für die Umweltdeklaration einer im naturemade Kennwertmodell geprüften Anlage

Pilotanlage 2008				Bedarf			
		EI'99- aggregated, Hierarchist Pkt	Anteil	EI'99- aggregated, Hierarchist Pkt	Treibhauseffekt 100a 2007 kg CO2-eq	nichterneuerbarer energetischer Ressourcen MJ-eq	Umweltbelastungen punkte 2006 Pkt
Infrastruktur			0%	258	2'447	23'455	3'278'878
Fremdenergiebedarf			0%	274	7'044	484'726	21'191'204
eingekaufte Substrate			0%	-	-	-	-
direkte Emissionen			0%	-	-	-	-
Transporte			8%	21'442	231'266	3'815'984	276'304'854
Verbrennung, Verteilung			12%	31'203	935'494	933'984	725'105'889
Gärgut Behandlung und Lagerung			80%	207'933	491'605	14'221'076	10'203'002'150
<b>Total</b>			<b>100%</b>	<b>261'110</b>	<b>1'665'408</b>	<b>19'455'770</b>	<b>11'225'604'097</b>

Prüfwert				Pilotanlage 2008			
		Total a		Pkt	kg CO2-eq	MJ-eq	Umweltdeklaration Pkt
Grenzwert Strom		5'090'106 kWh	69'739	0.0075	0.048	0.56	321
Grenzwert Wärme		274'590 kWh	2'106	0.0042	0.027	0.31	180
Grenzwert Methan		12'000'000 kWh	93'242	0.0042	0.027	0.32	182
Referenz Entsorgung		0 CHF	-				
Referenz Güllelager		0 t FM	-				
Referenz Kompost		279'511 t FM	-				
Referenz Frischklärslamm		239'875 t FM	313'576				
Referenz, Brennstoff, Zementwerk		8'842 t FM	-				
Referenz direkte Emissionen		-	-				
<b>Total</b>			<b>478'663</b>				

<b>Globales naturemade Star Kriterium erfüllt</b>	<b>55%</b>
---	------------

## 2.2.5 Standardwerte konventioneller Systeme

Ein Vergleich der Umweltbelastungen aus der Umweltdeklaration mit den in der ecoinvent Datenbank bilanzierten durchschnittlichen Systemen ist möglich (Tab. 2.3). Es kann sich allerdings eine unterschiedliche Verteilung der Umweltbelastungen auf die einzelnen Produkte ergeben, wenn Daten aus der ecoinvent Datenbank für erneuerbarer Systeme zum Vergleich herangezogen werden. So trägt z.B. bei der Allokation gemäss naturemade Grenzwerten Strom aus Holz-WKK tendenziell einen höheren und die Wärme aus der gleichen WKK-Anlage einen tieferen Anteil der Umweltbelastung als bei einer Allokation nach Exergie.

Tab. 2.3 Umweltbelastungen verschiedener konventioneller Energiesysteme für Strom, Wärme und Methan (ecoinvent Centre 2009). IPCC 2001 (= Klimaänderungspotential)

Name			IPCC 2001	cumulative energy demand	ecological scarcity 2006	eco-indicator 99, (H,A)
Location			GWP 100a	non-renewable	total	total
Unit		Unit	kg CO2-Eq	MJ-Eq	UBP	points
electricity mix	CH	kWh	0.11	7.9	346	0.005
electricity, production mix CH	CH	kWh	0.02	5.5	202	0.002
electricity, nuclear, at power plant	CH	kWh	0.01	13.0	459	0.002
electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology	RER	kWh	0.42	7.4	192	0.027
heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW	CH	kWh	0.36	5.0	243	0.024
heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating	CH	kWh	0.32	4.7	171	0.019
heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating	CH	kWh	0.34	5.0	181	0.020
heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW	CH	kWh	0.33	4.9	191	0.020
heat, natural gas, at boiler condensing modulating >100kW	RER	kWh	0.24	4.2	113	0.015
heat, natural gas, at boiler modulating >100kW	RER	kWh	0.25	4.5	120	0.016
heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	RER	kWh	0.26	4.5	122	0.016
heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW	RER	kWh	0.28	4.9	137	0.018
natural gas, high pressure, at consumer	CH	kWh	0.04	4.3	44	0.014
natural gas, low pressure, at consumer	CH	kWh	0.05	4.3	49	0.015
natural gas, from high pressure network (1-5 bar), at service station	CH	kWh	0.04	4.4	49	0.014
natural gas, from medium pressure network (0.1-1 bar), at service station	CH	kWh	0.04	4.5	54	0.014
natural gas, from low pressure network (<0.1 bar), at service station	CH	kWh	0.06	4.8	69	0.015
natural gas, production mix, at service station	CH	kWh	0.04	4.4	50	0.014

## 2.2.6 Kompensationsberechnung und CO<sub>2</sub>-Zertifikate

Die Berechnung von allgemeinen „Einsparungen“ oder „Kompensationen“ durch die Nutzung von naturemade star Produkten auf Grundlage der in Tab. 2.3 gezeigten Werte ist aus Ökobilanz Sicht nicht sinnvoll. Es wird hier davon abgeraten, solche Zahlen zu kommunizieren. Im Einzelfall kann der Abnehmer der naturemade Produkte mit Hilfe der Umweltdeklaration (Tab. 2.2) eine solche Berechnung durchführen. Dafür muss aber die im Einzelfall nachgefragte Art und Menge des Energieproduktes vor dem Bezug des naturemade Energieproduktes bekannt sein. Es muss ausgewiesen werden, auf welchen Referenzzustand (zeitlich, Verbrauch, Energiemix) sich die „Einsparung“ bezieht. Zur Berechnung sollte im Zweifelsfall ein Ökobilanz-Experte zu Hilfe beigezogen werden.

Ferner ist zu beachten, dass mit den naturemade Energieprodukten der gesamte ökologische Mehrwert und alle CO<sub>2</sub>-Einsparungen an den Kunden weiterverkauft werden. In der Zertifizierung muss sichergestellt werden, dass vom Anlagenbetreiber keine zusätzlichen Einnahmen aus dem Verkauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten oder ähnlichen Instrumenten bestehen. Der Anlagenbetreiber darf wegen dem Betrieb der Anlage auch keine sonstigen Umweltvorteile gelten machen z.B. hinsichtlich seines Eigenbedarfs an Energie, der nicht aus der Anlage gedeckt

---

wird. Lediglich der Käufer des naturemade Energieproduktes ist dazu berechtigt, sich alle Vorteile anrechnen zu lassen.

## 3 Referenzsysteme und Grenzwerte

### 3.1 naturemade Energieprodukte

In diesem Kapitel werden die Grenzwerte und ein geeignetes Referenzsystem für alle naturemade Energieprodukte festgelegt. Dafür wurden bereits verfügbare Sachbilanzen als Grundlage ausgewertet. Für Strom und Wärme wurden bereits früher Grenzwerte festgelegt (Frischknecht & Jungbluth 2000). Diese werden überprüft und um Grenzwerte für Methan und Kälte ergänzt. Dafür werden die aktuellen Hintergrunddaten der ecoinvent Datenbank (ecoinvent Centre 2010) mit SimaPro (PRé Consultants 2010) ausgewertet.

#### 3.1.1 Strom

Verschiedene Systeme zur Bereitstellung von Strom aus erneuerbarer Energie wurden mit aktuellen Daten ausgewertet (siehe Fig. 3.1). Für Strom aus einem Gaskombikraftwerk wurde bereits mit einem Faktor von 50% gerechnet, so dass dessen Umweltbelastung direkt dem bisherigen naturemade Grenzwert entspricht. Eine Beispiel Holz-WKK-Anlage liegt beim Allokationskriterium Exergie über dem Grenzwert. Allerdings zeigt Fig. 3.2, dass das gleiche System für die Wärme deutlich unter dem Grenzwert liegt. Bei Multi-Output Systemen hat also auch die Allokation der Umweltbelastungen auf die Produkte eine wesentliche Bedeutung.

Für die Zertifizierung von Strom gibt es keine grundsätzlichen Änderungen. Als Grenzwert werden 50% der Umweltbelastungen, ausgedrückt in Eco-indicator 99 (H,A) Punkten, eines modernen GuD-Kraftwerkes (Referenzsystem) festgelegt (14 Millipunkte pro kWh).

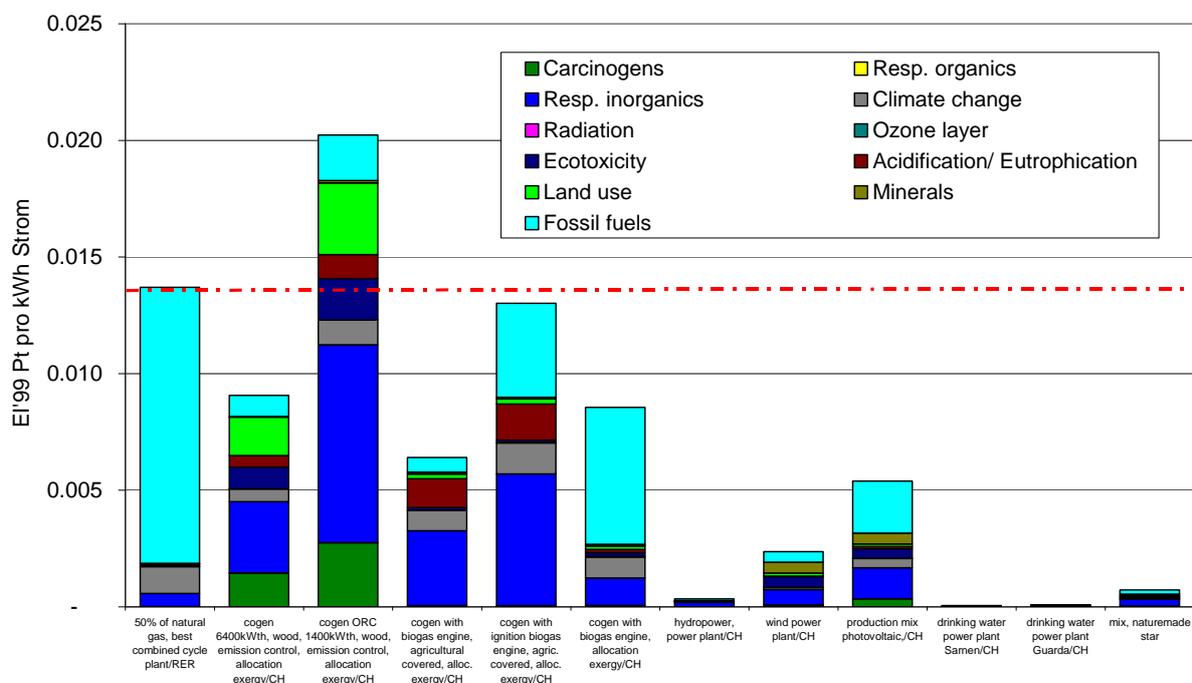


Fig. 3.1 Umweltbelastungen verschiedener Kraftwerke (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh Strom)

### 3.1.2 Wärme

Im Zusammenhang mit der Überprüfung des globalen Kriteriums muss für die Wärme ein Grenzwert festgelegt werden. Gemäss der bisherigen Praxis zur Zertifizierung von Strom wird eine kondensierende und modulierende Erdgas-Heizung als Referenzsystem verwendet. In der ecoinvent Datenbank gibt es eine kleine (<100 kW) und eine grosse (>100 kW) Anlage.

Fig. 3.2 zeigt die Umweltbelastungen verschiedener Heizsysteme. Für die Wärme aus beiden Erdgasheizungen wurde bereits der Faktor von 50% angewendet, so dass diese direkt als Grenzwert mit den anderen Systemen verglichen werden kann. Die meisten Systeme auf Basis erneuerbarer Energie bleiben deutlich unter dem Grenzwert.

Probleme könnten für reine Holzheizungen mit Waldholz auftreten. Die Partikelemissionen der 1000 kW Heizung sind gemäss der zu Grunde gelegten Daten etwa doppelt so hoch wie die der 50 kW Heizung. Deshalb schneidet die kleinere Heizung bei einer Bewertung etwas besser ab.

Die Luftreinhalteverordnung schreibt seit 1.1.08 strengere Werte bei Partikelemissionen von grösseren Holzheizungen vor. Diese strengen Werte wurden in den ecoinvent Daten noch nicht berücksichtigt. Es dürfen nur Anlagen zertifiziert werden, welche die Anforderungen der neuen LRV erfüllen. Eventuell sind noch zusätzliche Anforderungen bzgl. Emissionen im KWM notwendig, damit der Grenzwert unterschritten wird.

Die abgebildete Wärmepumpe (heat pump) wird mit Strom aus einer Erdgas-WKK-Anlage betrieben und erreicht deshalb einen relativ hohen Wert.

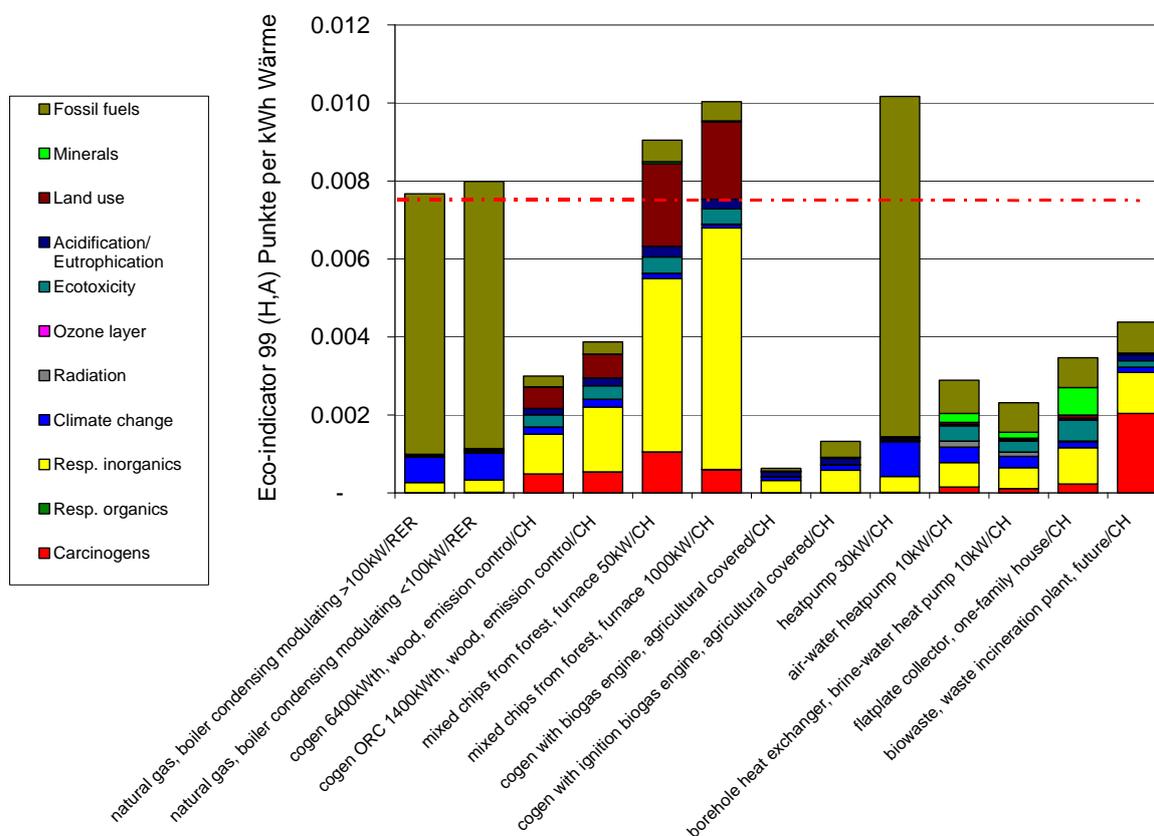


Fig. 3.2 Umweltbelastungen verschiedener Heizsysteme (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh). ORC-Organic Ranking Cycle.

Wärme aus erneuerbarer Energie bzw. Abwärme wird teilweise auf einem eher niedrigen Temperaturniveau zur Verfügung gestellt. Mit fossil betriebenen Systemen können hingegen alle Temperaturniveaus erreicht werden.

Bei Wärme wird nicht hinsichtlich unterschiedlicher Temperaturniveaus unterschieden. Der Grenzwert für Wärme wird bei 50 % der Umweltbelastung des Referenzsystems „kondensierende und modulierende Erdgas-Heizung, >100kW“ festgelegt. Dies entspricht 7.7 Millipunkten pro kWh Wärme ab Anlage (2.13 Millipunkte/MJ). Für Fernwärme wird der gleiche Grenzwert verwendet aber die Verteilung in der Bilanz der Anlage berücksichtigt.

### 3.1.3 Kälte

Basis für die Ökobilanzen bilden einerseits die Sachbilanzdaten in der ecoinvent Datenbank und andererseits Sachbilanzdaten, die in Fallstudien und Forschungsprojekten erhoben worden sind (Frischknecht 1999a; b; Jungbluth & Frischknecht 2001).

Betrachtet werden in Projektphase 1 zunächst nur Kompressionskältemaschinen (KM), die mittels Elektrizität Kälte (oder Wärme) erzeugen.

In den lokalen Kriterien für WP/KM wird geregelt, dass nur natürliche Kältemittel eingesetzt werden dürfen.

Gemäss Georg Dubacher, ewz, entspricht die R134a-Kältemaschine dem heutigen Stand der Technik. Deshalb wird eine mit GuD-Kraftwerksstrom betriebene R134a-Kältemaschine als Referenzsystem für die Prüfung der Kältebereitstellung festgelegt. Auch hier beträgt der Grenzwert 50% der Umweltbelastungen dieses Systems. Damit orientiert sich die Definition des Grenzwertes möglichst nahe an den bereits bestehenden Systemen.

Die Umweltbelastungen der beiden bereits bilanzierten Anlagen werden in Fig. 3.3 gezeigt. Demnach ergibt sich ein vorläufiger Grenzwert von etwa 14 Millipunkten pro kWh bei Gefrierkühlung und 4.3 Millipunkten bei Raumkühlung.

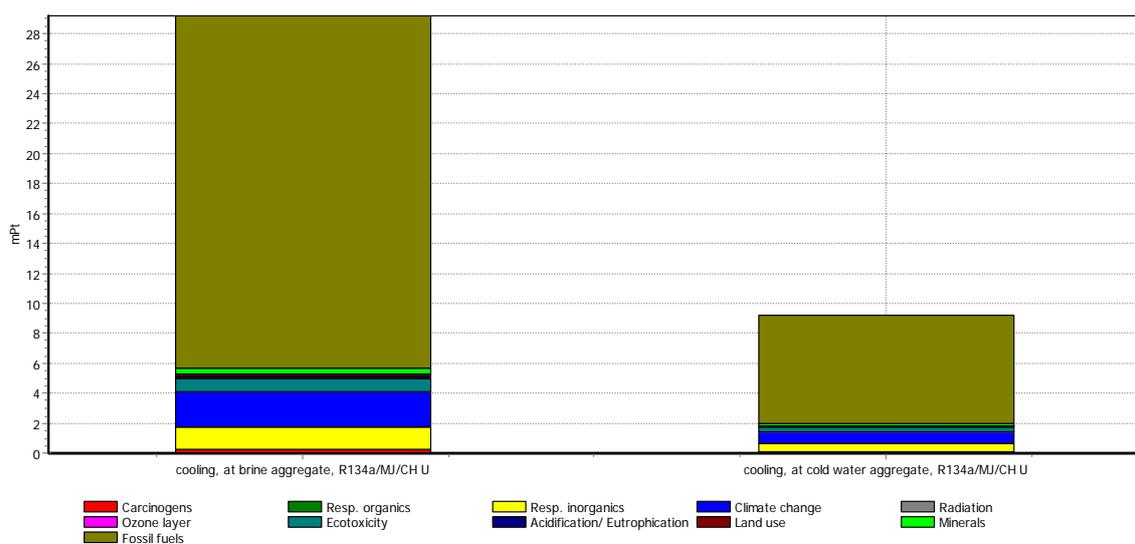


Fig. 3.3 Umweltbelastungen verschiedener R134a Kältesysteme (Eco-indicator 99 (H,A) Millipunkte pro kWh Kälte)

Die Umweltbelastung hängt hauptsächlich von der Anlagen-Jahresarbeitszahl und somit vom Stromverbrauch ab. Sie hängen einerseits vom technischen Standard ab. Andererseits ist aber auch die spezifische Auslegung der Anlage von Bedeutung, z.B. das zu erreichende Temperaturniveau und die Umgebungsbedingungen. Damit muss für jede einzelne KM ein geeignetes Referenzsystem bestimmt werden.

Es wurden Richtwerte für die Anlagenjahresarbeitszahlen (JAZ) erfragt. Die Werte gelten für Kältemaschinen mit luftgekühlten Kondensatoren und sind Auslegungswerte unter Berücksichtigung der Hilfsaggregate (z. B. Kondensator-Ventilatoren):<sup>4</sup>

- Kaltwassersatz luftgekühlt ( $t_A=32^\circ\text{C}$ ) für Klimatisierung: JAZ ca. 3.0<sup>5</sup>
- Glykolkühlsatz luftgekühlt ( $t_A=32^\circ\text{C}$ ) für Pluskühlung: JAZ ca. 1.8
- Gefrierkühlung, meist als Kaskade auf Pluskühlung, JAZ 3.2 der Pluskühlung entspricht einem Gesamt-Anlagen-JAZ der Kaskade für die Gefrierkühlung von 0.85.

Als Referenzsystem für Kälteanlagen wird eine mit GuD-Kraftwerksstrom betriebene R134a-Kältemaschine verwendet. Der Grenzwert liegt bei 50% der Umweltbelastung.

Ferner werden 3 Kühlniveaus mit folgenden ungefähren Anlagen Jahresarbeitszahlen der Referenzanlage unterschieden: Raumkühlung (3.0), Pluskühlung (1.8) und Gefrierkühlung (0.85). Das Kennwertmodell soll im ersten Schritt für die Raumkühlung erstellt werden.

Für die Anlagen-Jahresarbeitszahl soll ein Modell erstellt werden mit dem diese für jede Anlagenauslegung spezifisch berechnet werden kann. Damit kann der entsprechende Grenzwert dynamisch modelliert werden.

Für Fernkälte wird der gleiche Grenzwert festgelegt. Die Verteilung wird zur Bilanz hinzuaddiert.

### 3.1.4 Biomethan

Als Produktionsmenge wird der Energiegehalt (kWh) des ins Netz eingespeisten bzw. ab Tankstelle verkauften Biomethan erfasst. Biomethan (96 Vol.-%) hat einen unteren Heizwert von 45.8 MJ/kg (12.7 kWh/kg).

Für die Festlegung des Grenzwertes muss berücksichtigt werden, dass bei der Verbrennung von Biomethan freiwerdendes  $\text{CO}_2$  nicht zum Treibhauseffekt beiträgt. Dies ist ein wesentlicher Umweltvorteil des aus Biomasse produzierten Methans. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Gutschrift der aus der Atmosphäre aufgenommenen  $\text{CO}_2$  Menge in der Bilanz des Biomethan und direkter Vergleich zu Erdgas.
- Berücksichtigung der  $\text{CO}_2$ -Emission bei der Verbrennung von Erdgas in der Bilanz der Erdgasbereitstellung ab Netz.
- Bilanz der Verwendung von Biomethan in Heizungen und Vergleich mit moderner Erdgasheizung.

<sup>4</sup> Persönliche Mitteilung Günther Reiner, SSP Kälteplaner AG, 11.7.2008.

<sup>5</sup>  $t_A$  - Aussentemperatur (wichtig für luftgekühlte Kondensatoren)

- Bilanz der Verwendung von Biomethan in Fahrzeugen und Vergleich mit Erdgasfahrzeug.

Die absoluten Unterschiede bezüglich einer festgelegten Menge Biomethan sind bei allen vier Möglichkeiten etwa gleich. Je nach Definition kann es aber beträchtliche Unterschiede geben, ob ein Grenzwert leichter oder schwieriger zu erreichen ist, wenn dieser als Prozentsatz einer Referenz festgelegt wird (vgl. hierzu die Ausführung zu prozentualen Unterschieden in Jungbluth et al. 2008). Beim ersten Vorschlag ist ein Grenzwert von 50% am leichtesten zu erreichen, beim letzten am schwersten. Dies hängt damit zusammen, dass beim ersten Vorschlag das bilanzierte System am engsten eingegrenzt wird während beim letzten Vorschlag der Lebenszyklus über zusätzliche Prozessschritte hinweg bilanziert wird.

Die Umweltbelastung verschiedener Systeme zur Bereitstellung von Biomethan aus erneuerbarer Energie werden in Fig. 3.4 gezeigt (Jungbluth et al. 2007). Bei möglichen Referenzsystemen für Erdgasbereitstellung wurde bereits mit einem Faktor von 50% gerechnet, so dass das Ergebnis direkt dem Grenzwert entspricht. Bei den Biomethanprodukten wurde der biogene Kohlenstoffgehalt vorerst nicht als CO<sub>2</sub>-Aufnahme in Abzug gebracht. Somit wären die Belastungen hier noch um etwa 1.1 Millipunkte pro kWh geringer bzw. beim Erdgas entsprechend höher wenn die CO<sub>2</sub>-Neutralität bzw. die Emission des fossilen CO<sub>2</sub> aus Erdgas in die Betrachtung mit einbezogen wird.

Als Referenzsystem für das Kennwertmodell wird ein Vergleich auf Basis des Energiegehaltes mit durchschnittlichem Erdgas ab Schweizer Hochdrucknetz verwendet. Der Unterschied zwischen den drei Verteilniveaus und der Unterschied zwischen Lieferung zur Tankstelle oder zum Haushalt ist gering. Auf eine Unterscheidung Druckniveau/Einspeisung/Direktverkauf wird verzichtet, da dies das KWM eher komplizierter machen würde, ohne dass dies einen wesentlichen Einfluss auf die Bewertung hat (Fig. 3.4).

Der Grenzwert für Biomethan liegt bei 50% der Umweltbelastung des Erdgases auf Basis eines Vergleichs des Energiegehaltes. Dies entspricht 7.2 Millipunkte pro kWh Biomethan. Zusätzlich wird die fossile CO<sub>2</sub> Emission bei der Nutzung von Erdgas berücksichtigt und bewertet (Addition 5.45 Millipunkte pro kg CO<sub>2</sub>). Damit ergibt sich ein Grenzwert von 7.8 Millipunkten pro kWh bereitgestelltes Biomethan. Für Biomethan wird die Aufbereitung und Einspeisung ins Hochdrucknetz in der Ökobilanz berücksichtigt.

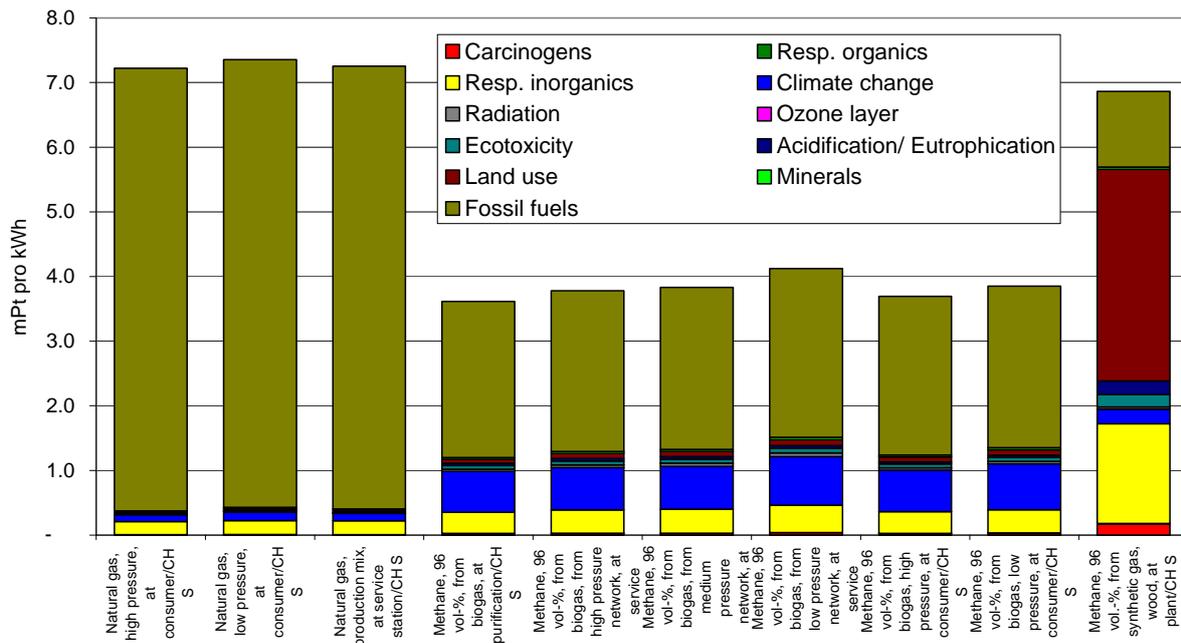


Fig. 3.4 Umweltbelastungen der Bereitstellung von Erdgas (50%-Grenzwert) und Biomethan (Eco-indicator 99 (H,A) Millipunkte pro kWh)

## 3.2 Nicht-energetische Nebenprodukte

### 3.2.1 Kläranlage: Entsorgung Abwasser und Klärschlamm, Klärschlamm als Brennstoff

Die Entsorgung und Behandlung des Abwassers ist die zentrale Funktion einer Kläranlage. Im Rahmen der Energiezertifizierung gelten diese Dienstleistungen als nicht energetische Nebenprodukte der Kläranlage. Die Festlegung des Referenzsystems wurde in einem früheren Bericht ausführlich diskutiert (Frischknecht & Jungbluth 2001).

Das System der Klärgas-Ökobilanz umfasst gemäss verabschiedetem Konzept die Schlamm-Stabilisierung sowie die Strom- und Wärme-, beziehungsweise die Biomethan-Produktion. Da die Stabilisierung neben Faulgas auch Faulschlamm erzeugt, stellt sich die Frage der Zuordnung der Aufwendungen und Emissionen auf diese beiden Produkte.

#### 3.2.1.1 Bisheriges Vorgehen

Das bisherige Kennwertmodell für die Klärschlammvergasung ist aus verschiedenen Gründen nicht mehr geeignet. Bisher wird eine Kläranlage ohne Schlammvergasung als Referenz angenommen und mit der geprüften Anlage verglichen. Der Technologiestand 1995 für die Kläranlage entspricht nicht mehr dem geforderten aktuellen Stand der Technik für eine moderne Anlage, der für andere Referenzsysteme gefordert wird.

Als Strominput wurde der Schweizer Strommix verwendet statt mit Strom aus einem Erdgas GUD Kraftwerk zu rechnen. Beim Strom verursacht hingegen die normale Referenz GuD höhere Umweltbelastungen als der Schweizer Strommix, wodurch der Grenzwert eher schwieriger erreicht wird. Bei der Wärme wird Heizöl als Referenz genommen. Da diese rela-

tiv hohe Umweltbelastungen verursacht, gibt es eine deutliche Bevorzugung gegenüber Systemen, bei denen Wärme aus Erdgas als Referenz verwendet wird.

Die Umweltbelastungen einer so modellierten Referenzanlage werden von den Umweltbelastungen der zu zertifizierenden Anlage abgezogen. Für die meisten der begutachteten Anlagen gibt es deshalb insgesamt negative Gesamtumweltbelastungen da die Referenz einen worst-case abbildet.

Es ist notwendig, sich auch beim Referenzsystem für die Reinigungsleistung möglichst eng an die anderen Modelle anzulehnen. Hierfür muss einerseits das Referenzjahr mindestens für den Energieverbrauch der Anlage an die heutige Situation angepasst werden. Der Bedarf von Strom- und Wärme der Referenzanlage sollte entsprechend der vorhergehenden Definitionen mit 50% der Umweltbelastungen eines GuD-Kraftwerks bzw. einer Erdgas-Heizung modelliert werden.

Das bisherige Vorgehen ist nicht kompatibel mit dem Vorgehen bei anderen Systemen. Stattdessen wird die Zertifizierung entsprechend des früher diskutierten Konzeptpapiers erfolgen (Frischknecht & Jungbluth 2001). Dies wird im nächsten Kapitel erläutert.

### *3.2.1.2 Umsetzung des ursprünglichen Konzeptes*

Die Vergärung von Klärschlamm wird im neuen KWM losgelöst von der Kläranlage betrachtet. Es wird angenommen, dass die Vergärung von Klärschlamm keinen Einfluss auf die Reinigungsleistung hat (analog zum Vorgehen in der ecoinvent Datenbank (siehe Jungbluth et al. 2007)). Der Einfluss auf die Klärschlamm Entsorgung wird für das KWM grob abgeschätzt.

In der Bilanz werden nur die Infrastruktur der für die Vergärung und Gasaufbereitung notwendigen Anlagenteile und die direkten Emissionen verbucht. Ausserdem werden Transporte der Substrate berücksichtigt. Es wird auch die Art und Menge der für die Vergärung eingesetzten Energieträger (Strom und Wärme) erfasst. Berücksichtigt wird auch die Behandlung des Abwassers aus der Schlamm Trocknung. Falls Biogas in einem BHKW verbrannt wird, werden die daraus entstehenden Emissionen berücksichtigt. Die Umweltbelastungen dieser Anlage werden den Produkten Strom, Wärme und Biomethan zugeschrieben. Dabei werden nur die Produktionsmengen gezählt, die ausserhalb der eigentlichen Vergärungsanlage genutzt werden.

Es gibt keinen Vergleich mit der Abwasserreinigung einer Kläranlage ohne Vergärung. D.h. die Energieeffizienz und Reinigungsleistung der eigentlichen Kläranlage spielen für das globale Kriterium keine Rolle und ein Referenzwert wird nicht bestimmt. Dafür kann die Umweltbelastung der eigentlichen Vergärung deutlich genauer erfasst werden. Weitergehende Ansprüche an die Gesamtkläranlage und die Schlamm Entsorgung müssen über lokale Kriterien festgelegt werden.

Im Falle der Co-Vergärung von Bioabfällen in einer Kläranlage wird ein Referenzwert für die Entsorgungsdienstleistung entsprechend der Festlegung im Kapitel 3.2.2 verwendet.

### *3.2.1.3 Bereitstellung von Brennstoff für Zementwerke*

Ausgefaulter Klärschlamm wird von Zementwerken als Brennstoff eingesetzt. Soweit es sich hier um ein Produkt handelt, das von der Kläranlage an das Zementwerk verkauft wird, kann ein entsprechendes Referenzprodukt berücksichtigt werden. Wird der Klärschlamm hingegen gegen Entgelt abgegeben, werden die Umweltbelastungen der Vergärungsanlage zugerechnet.

Folgende Angaben werden hierfür verwendet. Klärschlamm mit 92% Trockensubstanzgehalt enthält etwa 50% mineralische Materie. Diese ersetzt in der Zementherstellung verschiedene Inhaltsstoffe (Kalkstein, Ton, Kalkmergel, etc.). Ferner hat der ausgefaulte Klärschlamm einen Energiegehalt von etwa 11 MJ pro kg Trockensubstanz (ca. 10 MJ pro kg ausgefaulte und getrocknete Klärschlamm). In der Realität verwenden Zementwerke eine Vielzahl unterschiedlicher Brennstoffe wie z.B. Schweröl, Altreifen, etc. Trotzdem wird hier aus Konsistenzgründen mit Erdgas als Referenzsystem gerechnet. In der Bilanz wird die Energiebereitstellung mit 50% Erdgas ab Netz als Referenzenergieträger abgeschätzt.<sup>6</sup> Zusätzlich wird berücksichtigt, dass dieser Energieträger nur biogenen Kohlenstoff enthält, der bezüglich Treibhauseffekt nicht berücksichtigt werden muss. Damit wird dieser Teilaspekt konsistent zu den Grenzwerten von Biomethan abgebildet.

### 3.2.2 Verarbeitung von Co-Substraten: Entsorgung und Kompost

#### 3.2.2.1 Ausgangslage

Als biogene Abfälle werden Biomasseabfälle z.B. aus Haushalten oder lebensmittelverarbeitenden Betrieben bezeichnet. Grüngut ist z.B. Rasenschnitt, Strauchschnitt, Gartenabraum, Laub etc. Solche und ähnliche Substrate werden hier als Co-Substrat bezeichnet. Die Vergärung von Co-Substraten und die Herstellung von Kompost wird im bisherigen Kennwertmodell für die Grüngut-Vergärung mit einer einfachen zentralen Kompostieranlage als Referenz für beide Produkte gemeinsam bilanziert (Frischknecht & Jungbluth 2000). Dabei wurde auch die Ausbringung des Gärgutes mit berücksichtigt.

Dies reicht als Definition im Falle der Kläranlage nicht aus, da die Co-Vergärung dort keinen Kompost produziert und das Verfahren somit nicht mehr direkt mit der Kompostierung vergleichbar ist. Ferner ist die Bandbreite von Co-Substraten in den unterschiedlichen Vergärungsanlagen inzwischen relativ breit und reicht von tatsächlichen Abfällen, für die Entsorgungsgebühren bezahlt werden, über frei angelieferte Substrate bis hin zu für die Vergärung begehrten und teilweise auch teuer bezahlten Energieträgern (z.B. Molkereirückstände, Glycerin oder Altpflanzenöl). Es müssen also getrennte Referenzwerte für die Entsorgungsfunktion und Komposterzeugung bei Vergärungsverfahren definiert werden. Das gleiche Problem stellt sich bei einer eventuellen zukünftigen Zertifizierung von KVAs.

Aktuell gibt es eine Reihe von Varianten zur Vergärung von Grüngut und Co-Substraten mit den in der Tab. 3.1 gezeigten Energie- und Nebenprodukten. Das im Einzelfall geeignetste Verfahren ist dabei von den Substrateigenschaften (insbesondere Wassergehalt), gesetzlichen Bestimmungen und von den Voraussetzungen vor Ort (Verfügbarkeit verschiedener Verfahren, energetische Wirkungsgrade, Transportwege) abhängig (Dinkel et al. 2009; Schleiss & Jungbluth 2005). Somit ist es schwierig ein „bestes“ Verfahren als Referenz zu bestimmen.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Zusammenstellung in Tab. 3.1 stark vereinfacht ist. In der Realität werden Dutzende von verschiedenen Substraten eingesetzt, für die es jeweils unterschiedliche Alternativen zur Behandlung bzw. Verwendung gibt. So könnte Glycerin z.B. auch als Rohstoff in die Pharmazie gehen oder altes Pflanzenöl zu Biotreibstoff aufbereitet werden.

---

<sup>6</sup> Angaben zu den Klärschlammigenschaften wurden von Herrn Ammann, ARA Bern am 27.1.2009 zur Verfügung gestellt.

Wenn die Verwendung des produzierten Kompostes in der Bilanz berücksichtigt wird, stellt die Schwermetallausbringung gemäss der Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (H,A) ein Hauptproblem dar. Verfahren, die das Substrat vollständig verbrennen, werden in diesem Fall besser bewertet, da die Schwermetalle konzentriert einer Deponie zugeführt werden (Schleiss & Jungbluth 2005). Als weiteres Problem werden auch Kohlenwasserstoffgehalte der Kompostdünger diskutiert. Dieser wird in aktuellen Ökobilanzen bisher nicht berücksichtigt.

Dem gegenüber stehen die Vorteile einer Schliessung der Nährstoffkreisläufe durch die Produktion von Dünger-Kompost. Nährstoffe wie Phosphat aber auch die organische Substanz können wieder für eine landwirtschaftliche Produktion genutzt werden und vermeiden so den Einsatz von Kunstdüngern und Substraten wie Torf oder Stroh (Dinkel et al. 2009; Schleiss & Jungbluth 2005).

Als wichtigste Eigenschaft des Kompost-Düngers wird heute die enthaltene organische Substanz diskutiert. Es sind also weniger die Nährstoffe als vielmehr die Humusbestandteile für den Einsatz von Kompost von Bedeutung (Fuchs 2006). Im Kompost und Gärgut können Kalium, Phosphor und Schwefel vollständig im Kreislauf gehalten werden. Stickstoff wird je nach Verfahren teilweise umgewandelt und geht dann z.B. als N<sub>2</sub> für den Nährstoffkreislauf verloren.

Tab. 3.1 Derzeitige Verfahren zur Behandlung von Grüngut in der Schweiz. Energieprodukte und Nebenprodukte aus den Verfahren. Kauf von Substraten die als Energieinput genutzt werden. Alternativen zur Kompostverwendung

Verfahren	Strom	Wärme	Biomethan	Substratkauf	Entsorgung	Dünger	Speziell zu beachten
Dezentrale Kompostierung in der Siedlung	-	-	-	-	X	X	Schadstoffeintrag
Sammlung und zentrale Kompostierung	-	-	-	-	X	X	Schadstoffeintrag
Verbrennung in KVA	X	X	-	-	X	-	Nährstoffverlust / Verlust organische Substanz
Kompogas-Vergärung (Grüngut)	X	X	X	X	(X)	X	Schadstoffeintrag
Co-Vergärung Landwirtschaft	X	X	X	X	(X)	X	Schadstoffeintrag
Co-Vergärung mit Klärschlamm in Kläranlage, Schlamm verbrannt	X	X	X	X	(X)	-	Nährstoffverlust / Verlust organische Substanz
Kunstdünger (N,P;K), org. Substanz ( Stroh, Torf)	-	-	-	X	-	X	Kunstdünger & Torf nicht erneuerbar

(X) Eingeschränkte Entsorgungsfunktion im Fall, dass für Substrate bezahlt wird.

### 3.2.2.2 Fragestellungen

Für die Definition des Referenzwertes für die nicht-energetischen Nebenprodukte „Entsorgung“ und „Gärgutdünger“ werden sowohl Vor- als auch Nachteile berücksichtigt. Ausserdem ist zu differenzieren, ob es sich bei der Verarbeitung von Co-Substrat wirklich um eine Entsorgungsfunktion handelt oder ob die Substratannahme ohne bzw. gegen Gebühr zur Erhöhung der Produktion erfolgt. Es ist nicht möglich festzulegen, welches der Verfahren in Tab. 3.1 derzeit als guter konventioneller Standard bzw. als gute konventionelle Lösung angesehen werden kann, da alle Verfahren aktuell zum Einsatz kommen.

Folgende Fragen müssen dabei beantwortet werden:

- Welches Referenzsystem soll für die Entsorgung und Düngerherstellung verwendet werden?
- Wie hoch sind die Umweltbelastungen in Eco-indicator 99 (H,A) Punkten für eine definierte Menge Entsorgung bzw. Gärgütdünger?
- Wie wird berücksichtigt, dass unterschiedliche Co-Substrate unterschiedlich problematisch bezüglich der Behandlung sind?

### 3.2.2.3 Vorgehen

Prinzipiell kann jedes der Verfahren als Referenz verwendet werden. Bei den Verfahren ohne Kompostherstellung (KVA, Kläranlage) müsste der Kompost aber noch zusätzlich abgebildet werden, z.B. über Mineraldünger und Torf- bzw. Strohs substrat. Bei den Verfahren, die zusätzlich Energieprodukte produzieren, müssten diese wieder abgezogen werden, was die Berechnung zusätzlich kompliziert macht. Deshalb wurde folgendes Vorgehen festgelegt:

- Als Referenzanlage wird wie bisher die zentrale Kompostierung verwendet.
- Die funktionelle Einheit für eine Entsorgungsdienstleistung wird als Gebühr (in CHF) für die zur Entsorgung abgegebenen Eingangsmenge definiert. Damit kann berücksichtigt werden, in welchem Mass es sich je nach Substrat tatsächlich um eine Entsorgungsdienstleistung handelt. Substrate, die gratis entgegengenommen werden bzw. für die der Anlagenbetreiber bezahlt, werden in der Ökobilanz nicht als Abfall angesehen. Für gekaufte Substrate werden die Umweltbelastung für deren Herstellung berücksichtigt.
- Die Belastungen aus Sammlung und Behandlung werden an Hand der wirtschaftlichen Erlöse heutiger zentraler Kompostierungsanlagen auf die beiden Produkte Entsorgung und Kompost alloziert. Folgende Preise werden verwendet: 125 CHF/t Entsorgung (Bandbreite 100-150 CHF/t), 30 CHF/t reifer Kompost (Bandbreite 0-60 CHF/t) (Schleiss & Fuchs 2008). Aus 1 kg Grüngutkompostierung entsteht 0.5 kg reifer Kompost (Fuchs 2006). Damit entfallen 89% der Umweltbelastungen in der zentralen Kompostierung auf die Entsorgungsfunktion und knapp 11% auf die Kompostbereitstellung (Tab. 3.4).
- Die funktionelle Einheit des Kompostes bzw. Gärgüts wird auf Grundlage der theoretischen Wertigkeit verschiedener Nährstoffe (verfügbarer Stickstoff, Phosphor, etc.) und der organischen Substanz (Humus-C) definiert (Bartha-Pichler 2008; Fuchs 2006, Tab. 3.3). Es werden also verschiedene positive Eigenschaften des festen und flüssigen Gärgütes (bzw. Kompost) monetär bewertet. Kosten der Gärgütausbringung und evtl. Schäden sind bei der Berechnung der Wertigkeit nicht enthalten. Der berechnete Wert ist deshalb deutlich geringer als der Marktpreis. Für Dünger wurden Preise gemäss (Bartha-Pichler 2008) eingesetzt. Für Humus-C wird mit dem Kohlenstoffgehalt von Stroh und einem Strohpreis von 225 CHF/t gerechnet.<sup>7</sup>
- Aus 1 kg Grüngutvergärung entsteht neben Biogas und CO<sub>2</sub> 0.2 kg festes Gärgut und 0.4 kg flüssiges Gärgut (Tab. 3.3). Für die Bestimmung der genauen Mengen wurde angenommen, dass Phosphor zu 100% im Gärgut enthalten ist. Diese Mengendifferenz bei den

<sup>7</sup> Persönliche Stellungnahme von Reto Steiner, Ernst Basler + Partner zum „Kennwertmodelle Biomasseanlagen“, 20.11.2008.

Produkten im Vergleich zur zentralen Kompostierung wird in den Berechnungen für die organische Substanz übernommen (Fuchs 2006).

- Auf Grundlage dieser Rechnung entspricht das Gärgut aus 1 kg Grüngut nur knapp 60% der theoretischen Wertigkeit der bei der zentralen Kompostierung erzeugten Kompostmenge. Damit gehen für die Berechnung des Referenzwertes 40% der Umweltbelastung aus Kompostbereitstellung auf das feste und 18% auf flüssiges Gärgut (Tab. 3.4).
- Zur Berechnung der Umweltbelastung aus der Kompostierung werden aktuelle Sachbilanzdaten verwendet (Dinkel et al. 2009; Schleiss & Jungbluth 2005).
- Die Referenzwerte werden bei allen Anlagentypen entsprechend der Entsorgungsgebühren für Co-Substrate und des produzierten Gärgutes eingesetzt. Für die Entsorgung wird die Entsorgungsgebühr für die Co-Substrate berücksichtigt. Damit bekommen Substrate, die unentgeltlich angenommen werden, keinen Referenzwert für die Entsorgungsfunktion.

Tab. 3.2 Annahmen zum Humus-C Gehalt von organischer Substanz in Kompost und Gärgut (eigene Berechnung mit Fuchs 2006: Tab. 1)

	Schüttgewicht	Trockensubstanz TS	OS in TS	OS in FM	C in FM	C in FM	Humuskoeff	Humus-C Gehalt	Humus-C	Prod. Menge aus Grüngut	Humus-C pro Grüngut
	kg FM/lt	TS/FM	OS/TS	OS/FM	kg C/kg FM	kg C/lt	HC/C	kg HC/ lt	kg HC/ kg FM	kg FM/ kg GG	kg HC/ kg GG
<b>Kompost reif</b>	0.61	0.56	0.38	0.21	0.12	0.08	0.51	0.038	0.063	0.5	0.031
Kompost frisch	0.56	0.51	0.48	0.24	0.14	0.08	0.43	0.034	0.061	-	-
<b>Gärgut fest</b>	0.47	0.53	0.50	0.27	0.15	0.07	0.35	0.025	0.054	0.3	0.016
<b>Gärgut flüssig</b>	1.00	0.12	0.42	0.05	0.03	0.03	0.28	0.008	0.008	0.3	0.002
Torf	0.15	0.70	0.90	0.63	0.37	0.05	0.21	0.012	0.077	-	-
Stroh	0.15	0.80	0.87	0.70	0.40	0.06	0.21	0.013	0.085	-	-

FM – Frischmasse  
 lt - Liter  
 TS – Trockensubstanz  
 OS – Organische Substanz  
 C - Kohlenstoff  
 GG – Grüngut  
 HC – Humus-C

Tab. 3.3 Theoretische Wertigkeit von festem und flüssigen Gärgut (eigene Berechnung mit Bartha-Pichler 2008; Fuchs 2006)

	Nährstoffgehalte gemäss Literatur				theoretischer Wert der Nährstoffe			Literatur
	Kompost kg/t FM	Gärgut, fest kg/t FM	Gärgut, flüssig kg/t FM	Wert CHF/kg	Kompost CHF/t GG	Gärgut, fest CHF/t GG	Gärgut, flüssig CHF/t GG	
Stickstoff, verfügbar	0.9	0.9	2.3	2.40	1.08	0.45	2.36	Bartha-Pichler 2008
Phosphor	3.5	4.3	1.9	3.40	5.95	3.18	2.77	Bartha-Pichler 2008
Kalium	7.7	6.8	4.5	1.90	7.28	2.85	3.66	Bartha-Pichler 2008
Calcium	25.5	46.8	5.0	0.13	1.68	1.36	0.28	Bartha-Pichler 2008
Humus-C	63.0	54.0	8.0	2.65	83.38	31.45	9.07	Fuchs 2006
Menge pro kg Grüngut	0.50	0.22	0.43		99.38	39.28	18.15	
Aufteilung Referenzwert					100%	39.5%	18.3%	

### 3.2.2.4 Umweltbelastungen der zentralen Kompostierung

Die Umweltbelastungen einer Kompostierungsanlage werden anhand aktueller Studien abgeschätzt (Dinkel et al. 2009; Schleiss & Jungbluth 2005). Pro kg Grüngut, das in einer Kompostieranlage behandelt wird, werden etwa 4.2 Milli-Eco-indicator 99 (H,A) Punkte an Umweltbelastungen verursacht. Die Ausbringung des verkauften Kompostes wird in dieser Ökobilanz nicht berücksichtigt, da sie in der Verantwortung des Kompostkäufers geschieht.

### 3.2.2.5 Zusammenfassung

Mit dem neuen Modell kann zwischen der Co-Vergärung in Landwirtschaft und Kläranlage und für unterschiedliche Substrate nun gut differenziert werden. Hier werden nochmals die wesentlichen Punkte und Ergebnisse zusammengefasst (Tab. 3.4):

- Substrate, für die vom Anlagenbetreiber etwas bezahlt wird, sind kein Abfall. Die Herstellung solcher Substrate wird in der Ökobilanz berücksichtigt.
- Als Referenzsystem für die Nebenprodukte „Entsorgung von Co-Substraten“ und „Bereitstellung von Kompost“ wird eine zentrale Kompostierungsanlage gewählt. Für die Behandlung von 1 Tonne Grüngut wird eine Umweltbelastung von 4.2 EI'99 Punkten berechnet. Der Gesamtertrag der Kompostierung beträgt 140 CHF/t.
- Die Umweltbelastungen der Kompostanlage werden anhand der Einnahmen auf die beiden Produkte verteilt (etwa 89/11 für Entsorgung/Kompost). Damit ergeben sich etwa 3.7 bzw. 0.4 Punkte für Entsorgung bzw. Kompost aus der Kompostierung von einer Tonne Grüngut.
- Bei der Entsorgungsdienstleistung wird der Referenzwert an Hand der Entsorgungsgebühr bestimmt. Der Referenzwert für die Entsorgung beträgt damit 0.03 Punkte pro CHF Entsorgungsgebühr.
- Beim Kompost ist der Gehalt und die theoretische Wertigkeit verschiedener Nährstoffe und von Humus-C das Kriterium. Damit wird der Anteil für festes bzw. flüssiges Gärgut berechnet. Für die Erzeugung von festem und flüssigen Gärgut werden damit 0.8 bzw. 0.19 Punkte pro t Frischmasse als Referenzwert berechnet.

Tab. 3.4 Erträge und Aufteilung in der Allokation für die Behandlung von einer Tonne Grüngut. Referenzwerte in Eco-indicator 99 (H,A) Punkten für die weitere Berechnung

	Preis	Kompostierung	Vergärung	Ertrag	Anteil	Belastung	Referenzwert
	CHF/t	t FM/t GG	t FM/t GG	CHF/t FM	%	EI'99 Pkt/ tFM	EI'99 Pkt
Entsorgung	125.00	1.00	1.00	125.00	89.3%	3.72	0.03 pro CHF
Kompost	30.00	0.50		15.00	10.7%	0.45	
Gärgut, fest			0.22		39.5%		0.80 pro t FM
Gärgut, flüssig			0.43		18.3%		0.19 pro t FM
<b>Total pro t Grüngut</b>				140.00		4.17	

### 3.2.3 Verarbeitung von Co-Substraten: Holzschnitzel als Brennstoff

In den landwirtschaftlichen Anlagen werden Holzanteile vor der Vergärung aussortiert (Triage des Grünguts), bei Kompogas gelangen manchmal auch Äste und Blattwerk mit in die Vergärung. Grosse Äste oder Wurzelstöcke sind aber auch hier nicht verwendbar. Generell

gilt, dass sich Holzanteile nicht vergären lassen und nur die Biologie und Mechanik belasten. Holzanteile sind als Strukturmaterial wertvoll für die Nachkompostierung. Bei der Verarbeitung von Co-Substraten können die Holzschnitzel auch aussortiert und als Brennstoff verkauft werden.

Detaillierte Angaben zu Heiz- und Brennwert, Wassergehalt, Preis und Menge lagen nicht vor. Es wird davon ausgegangen, dass die Bereitstellung von Holzschnitzel nicht von der eigentlichen Vergärung abhängig ist. Deshalb wird dieses Produkt im Kennwertmodell nicht berücksichtigt. Aufwendungen die mit der Aussortierung und Aufbereitung direkt zusammenhängen müssen im Kennwertmodell nicht eingegeben werden (z.B. Holzinput, Holzschnitzelmaschine).

### 3.2.4 Vergärung in der Landwirtschaft: Lagerung von Hofdünger

Als Referenz für die Infrastruktur zur Lagerung von Hofdünger wird ein normales landwirtschaftliches Güllelager eingesetzt (Nemecek et al. 2007).

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen gibt es Unterschiede gegenüber der konventionellen Hofdüngerlagerung und Ausbringung, die für die Berechnung der direkten Emissionen im nächsten Kapitel berücksichtigt werden.

### 3.2.5 Referenz für einige direkte Emissionen der Biogasanlage

Einen wesentlichen Punkt für die Modellierung von Biogasanlagen stellen die direkten Emissionen aus Gärgutlagerung und Ausbringung dar. Letztere wird im Modell nur berücksichtigt wenn hierfür eine Gebühr bezahlt wird. Relevant sind die in Tab. 3.5 gezeigten Emissionen und Einflussfaktoren.

Tab. 3.5 Direkte Emissionen und Einflussfaktoren bei der Gärgutbehandlung

Emission	Entstehung	Einflussgrößen bzw. Reduktionsmassnahmen
Methan	Lagerung Gärgut	Abdeckung, mechanische Separierung Gärgut, Rottetrommel, Kompostmiete
Ammoniak	Nachkompostierung Gärgut	Biofilter, Rottetrommel
	Lagerung Gülle	Abdeckung des Lagers
	Ausbringung Gärgut	Verfahren, z.B. Schleppschauch
N <sub>2</sub> O	Lagerung und Ausbringung	evtl. Biofilter, Schleppschauch
H <sub>2</sub> S	Lagerung	-
NMVOG	Lagerung	Biofilter

Für die Lagerung der ausgegärten Gülle und Co-Substrate muss bei naturemade zertifizierten Biogasanlagen der Lagerbehälter abgedeckt sein, um Methanverluste zu reduzieren. Auf Bauernhöfen ohne Biogasanlage war dieser Zusatzaufwand hingegen bisher nicht immer üblich. Zur Reduktion von Geruchsbelästigungen wird eine Abdeckung aber bereits bei etwa 80% der Güllelager eingesetzt.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Emissionsarme Güllebehälter sind so abgedeckt, dass der Luftaustausch über der emittierenden Oberfläche minimiert wird, aber gefährliche Gärgase trotzdem entweichen können. Traditionell waren in der Schweiz die Güllebehälter immer abgedeckt. Erst seit Ende der 1980er Jahre sind vermehrt offene Lager gebaut worden, vor allem in Form von Überflurbehältern (Güllesilos). Noch heute weisen etwa 80% der Lager eine Abdeckung auf. Dabei werden bis zu 80% der NH<sub>3</sub>-Emissionen vermieden.  
([Hwww.nw.ch/dl.php/de/20060502101744/Ammoniak\\_NH3\\_Faktenblatt.pdf](http://www.nw.ch/dl.php/de/20060502101744/Ammoniak_NH3_Faktenblatt.pdf)H).

Für die Berechnung des Referenzwertes wird angenommen, dass 80% der landwirtschaftlichen Güllebehälter bereits heute abgedeckt sind.

Für die Ausbringung des Hofdüngers, ist für zertifizierte Biogasanlagen das Schleppschlauchverfahren vorgeschrieben, um die Ammoniakemissionen zu verringern. Auch auf konventionellen Bauernhöfen wird der Schleppschlauch zunehmend aus Gründen des Umweltschutzes und zur effektiveren Nutzung der Nährstoffe verwendet. Gemäss einer Umfrage aus dem Jahr 2003 beträgt der Austrag der Gülle auf Wiesenland mit dem Schleppschlauch im Zürcher Oberland schon fast 10%.<sup>9</sup> Im Kanton TG waren im Jahr 2007 (vor Beginn eines Projektes zur Förderung) 369 Schleppschlauchgeräte im Einsatz, 9% der gesamten Thurgauer Güllemenge wurde mit dem Schleppschlauch ausgebracht (auf 8.8% der landwirtschaftlichen Nutzfläche).<sup>10</sup> Im Kanton Luzern wird der Einsatz finanziell gefördert und ein Anteil von 60% angestrebt.<sup>11</sup> Auch im Kanton Zürich gibt es einen Massnahmenplan zur Erhöhung des Anteils von Schleppschlauchausbringung.

Die Ausbringung des ausgefaulten Substrats (Gülle, Gärgut) wird im KWM nur berücksichtigt, wenn dem Abnehmer hierfür eine Gebühr bezahlt wird. Transportkosten sind für diese Eingabe nicht zu berücksichtigen. Die Belastungen werden in diesem Fall der Düngeranwendung und nicht der Biogasanlage zugeschrieben.

Somit ergeben sich für Lagerung der Gülle bei Bauernhöfen mit Biogasanlagen unterschiedliche Umweltbelastungen als beim Referenzbauernhof ohne Biogasanlage. Diese werden in der Bilanz der direkten Emissionen berücksichtigt. Im bisherigen Kennwertmodell werden dazu folgende Berechnungen gemacht (Edelmann 2006):

- CH<sub>4</sub>: Für Methan werden die Emissionen zunächst substratspezifisch gerechnet. Für die Berechnung wird die Reduktion von Emissionen durch Abdeckung des Lagertanks als auch die höheren Grundemissionen berücksichtigt.<sup>12</sup> Die Methanemissionen bei einer Vergärungsanlage mit Lagerabdeckung betragen etwa 71% der Emissionen im Vergleich zu einer offenen Güllelagerung.
- NH<sub>3</sub>: Für die Emissionen von NH<sub>3</sub> gibt es substratspezifische Faktoren. Als Reduktionsfaktor für Schleppschlauchausbringung wird bei NH<sub>3</sub> 40% eingesetzt.
- N<sub>2</sub>O: Es entsteht 0.018 kg N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> Gülle aus dem offenen Lager. Durch Abdeckung des Lagers bei einer Biogasanlage kann 75% Reduktion erreicht werden. Bei Co-Substraten wird die volle N<sub>2</sub>O Emission aus der Lagerung verbucht da solche Emissionen in der Kompostierung nicht anfallen.

Die Berechnungen zum Referenzsystem für die Hofdünger Lagerung werden wie bisher sehr detailliert im KWM durchgeführt.

In Tab. 3.6 sind Literaturangaben zu den direkten Emissionen zusammengestellt (Dinkel et al. 2009; Edelmann et al. 2001; Edelmann 2006; Jungbluth et al. 2007; Langevin et al. 2008; Schleiss 1999; Schleiss & Edelmann 2000).

<sup>9</sup> [Hhttp://www.strickhof.ch/fileadmin/strickhof\\_files/Fachwissen/Feldbau/duengung/guelleaf.pdf](http://www.strickhof.ch/fileadmin/strickhof_files/Fachwissen/Feldbau/duengung/guelleaf.pdf)H, 25.11.08

<sup>10</sup> [Hhttp://www.landwirtschaftsamt.tg.ch/documents/Projektgesuch.pdf](http://www.landwirtschaftsamt.tg.ch/documents/Projektgesuch.pdf)H, 26.11.2008

<sup>11</sup> [Hhttp://www.lawa.lu.ch/index/medien/lawa-newpage-3/schleppschlauch.htm](http://www.lawa.lu.ch/index/medien/lawa-newpage-3/schleppschlauch.htm)H, 25.11.2008

<sup>12</sup> Bei einer Grubenabdeckung muss der Speicherbehälter für das ausgefaulte Substrat (Gärgut-Lager) gasdicht abgedeckt sein. Die Gase, die im Gärgut-Lager entstehen, werden in die Biogasanlage zurückgeführt oder mit dem Biogas verbrannt.

Es zeigt sich eine überaus grosse Variabilität der Angaben. Insbesondere beim Methan kommen die verschiedenen Autoren je nach Anlagenspezifikation und Modellannahmen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Auch beim NH<sub>3</sub> gibt es verschiedene Einflussfaktoren für die Modellierung. Die Angaben wurden in den letzten Jahren immer wieder modifiziert und es ist teilweise kaum noch möglich, die direkte Herkunft der in den Studien verwendeten Werte nachzuvollziehen.

Für das Kennwertmodell wird die Modellierung basierend auf dem bisherigen landwirtschaftlichen Modell durchgeführt (Edelmann 2006). Hiermit werden zunächst die Grundemissionen bestimmt. Aufbauend hierauf werden die Reduktionsfaktoren entsprechend der Anlagenspezifikation verwendet. So wird z.B. für CH<sub>4</sub> als Grundwert 1 kg/t Grüngut angenommen. In der geschlossenen Kompostierung mit Biofilter reduziert sich der Wert um 75% auf nur 0.25 kg/t.

Tab. 3.6 Literaturangaben zu den direkten Emissionen aus verschiedenen Biogasanlagen. Reduktionsfaktoren für die Berechnung der direkten Emissionen im Kennwertmodell gemäss Diskussion im Text

Verfahren	Schadstoff Bezug	CH4 kg	NH3 kg	N2O kg	H2S kg	NMVOG	NOx	Quelle
Vergärung, VN, einstufig, geschlossene Nachrotte	t Grüngut	6.7	0.23	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, VG, einstufig, geschlossene Kompostierung	t Grüngut	12.7	0.08	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, VO, zweistufig, offene Kompostierung	t Grüngut	10.5	0.29	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, VN, Biofilter	t Grüngut	6.7	0.02	0.10	0.25			Schleiss 2005
Vergärung, Landwirtschaft (Rotttrommel oder ohne NK)	t Grüngut	0.4	0.10	0.02	-			Edelmann 2006
Vergärung, Landwirtschaft (Kompostmiete)	t Grüngut	1.0	0.10	0.02	-			Edelmann 2006
Vergärung, Kompogas	t Grüngut	8.6	0.23	0.10	0.29			Jungbluth 2007
Vergärung, Landwirtschaft, abgedeckt, Co-Substrat	t Grüngut	0.5	0.67	0.21	0.25			Jungbluth 2007
Vergärung, Biofilter für NH3	t Grüngut	1.0	0.02	0.11	0.30			Dinkel 2008
Vergärung, kein Biofilter	t Grüngut	1.0	0.19	0.07		0.24	0.02	Cuhls 2008
Vergärung, Landwirtschaft, nicht abgedeckt, Mehremission	m3 Gülle	6.3	2.12	-	-			Edelmann 2001
Vergärung, Landwirtschaft, nicht abgedeckt	m3 Gülle	1.0	0.30	0.02	-			Edelmann 2006
Vergärung, Landwirtschaft, nicht abgedeckt	m3 Gülle	6.3	2.12	-	-			Jungbluth 2007
Vergärung, Landwirtschaft, abgedeckt	m3 Gülle	1.3	2.12	0.39	-			Jungbluth 2007
Kompost, KO	t Grüngut	4.9	0.42	0.10	0.25			Schleiss 1999
Kompost, KG	t Grüngut	9.8	0.02	0.10	0.25			Schleiss 1999
Kompost	t Grüngut	4.9	0.42	0.10	0.25			Schleiss 2005
Kompost, gekapselt, Biofilter für NH3	t Grüngut	1.0	0.02	0.20	0.30			Dinkel 2008
<b>Reduktionsfaktoren gegenüber Standardvariante</b>	<b>Referenz</b>	<b>CH4</b>	<b>NH3</b>	<b>N2O</b>	<b>H2S</b>	<b>NMVOG</b>	<b>NOx</b>	
LW, Schleppschlauch	Güllefass		-40%					Edelmann 2006
LW, Schleppschlauch	Güllefass		-35%	0%				Langevin 2008
LW, Einspritzung	Güllefass		-74%	100%				Langevin 2008
LW, Lager abgedeckt	Offen	-75%		0%				Edelmann 2006
LW, Lager abgedeckt	Offen	-80%		0%				Jungbluth 2007
LW, Rotttrommel	keine NK	-10%						Edelmann 2008
LW, Kompostmiete	keine NK	150%						Edelmann 2009
Nachkompostierung, Biofilter	Offen		-95%	100%				Dinkel 2008
Vergärung, VG	VN	90%	-63%	0%	0%			Schleiss 1999
Vergärung, VO	VN	57%	28%	0%	0%			Schleiss 1999
Biofilter		0%	-90%	43%		-80%		Cuhls 2008

<b>Reduktionsfaktoren Behandlung</b>	<b>Referenz</b>	<b>CH4</b>	<b>NH3</b>	<b>N2O</b>	<b>H2S</b>	<b>NMVOG</b>	<b>NOx</b>
<i>Referenz, Gärgut fest</i>	<i>kg/t</i>	1	0.42	0.10	0.28	0.24	0.02
Keine Behandlung	Kompostierung	0%	0%	0%	0%	0%	0%
offene Kompostierung, Miete bzw. Nachrotte	Kompostierung	150%	0%	0%	0%	0%	0%
Rotttrommel, geheizt	Kompostierung	-10%	0%	0%	0%	0%	0%
geschlossene Kompostierung mit Biofilter	Kompostierung	-75%	-90%	50%	0%	-80%	0%
Entwässerung, Faulschlamm	Kompostierung	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%
<i>Referenz, Gärgut flüssig</i>	<i>kg/t</i>	Substratspez.					
<i>Referenz Güllelager, 80% abgedeckt</i>	<i>Offenes Lager</i>						
Offenes Gärgutlager/Nachgärung	Offenes Lager	150%	0%	0%	0%	0%	0%
Geschlossenes Gärgutlager/Nachgärung	Offenes Lager	-75%	-80%	-75%	0%	0%	0%
Nährstoffaufbereitung (Ultrafiltration/Umkehrosiose)	Offenes Lager	-75%	-90%	-75%	0%	0%	0%

<b>Reduktionsfaktoren Ausbringung</b>	<b>Referenz</b>	<b>CH4</b>	<b>NH3</b>	<b>N2O</b>	<b>H2S</b>	<b>NMVOG</b>	<b>NOx</b>
<i>Referenz, flüssig</i>	<i>kg/t</i>	0	Substratspez.	0.018			
Landwirtschaft, Güllefass	Gülle	0%	15%	0%	0%	0%	0%
Landwirtschaft, Schleppschlauch	Gülle	0%	-40%	0%	0%	0%	0%
Landwirtschaft, Einspritzung, Schleppschuh	Gülle	0%	-70%	100%	0%	0%	0%
Landwirtschaft, Einspritzung, Cultan (Impfen)	Gülle	0%	-70%	100%	0%	0%	0%
<i>Referenz, fest</i>							
Kompost, Gartenbau	Kompost	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Landwirtschaft, Mistzetter	Kompost	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Verbrennung, Zementwerk	Kompost	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%
Verbrennung, KVA	Kompost	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%

Die Berechnung der direkten Emissionen von Referenzanlage und Prüfanlage weist grosse Unsicherheiten auf. Ein vereinfachter Berechnungsweg wurde aber bisher nicht gefunden. Falls zukünftig möglich, sollte darauf verzichtet werden, die Emissionen substratspezifisch zu erheben. Es würde das Modell sehr vereinfachen, wenn Standardwerte z.B. in Abhängigkeit von Biogasmenge oder Substratmenge verwendet werden könnten.

### 3.3 Zusammenfassung der Grenz- und Referenzwerte

Tab. 3.7 zeigt eine Zusammenfassung für alle betrachteten Energie- und Nebenprodukte. Es wird jeweils das Referenzsystem kurz beschrieben und der berechnete Grenz- bzw. Referenzwert gezeigt.

Tab. 3.7 Zusammenfassung der Referenzsysteme und der Grenz- und Referenzwerte

	Einheit	Referenzsystem	Grenz- bzw. Referenzwert EI'99 Pkt/Einheit
Energieprodukte	Elektrizität	GuD Erdgas Kraftwerk	0.0137
	Wärme	Erdgasheizung	0.0077
	Fernwärme	Erdgasheizung	0.0077
	Kälte	R134a Kältemaschine mit GuD-Strom	JAZ abhängig
	Fernkälte	R134a Kältemaschine mit GuD-Strom	JAZ abhängig
	Biomethan	Erdgas, ab Netz, abzüglich CO <sub>2</sub> -Emission Biogas	0.0078
Nebenprodukte	Frischklärschlamm Entsorgung	Keines	-
	Entsorgung Co-Substrat	Kompostierung	0.0298
	Gärgut, fest	Kompostierung	0.0008
	Gärgut, flüssig	Kompostierung	0.0002
	Lagerung Hofdünger	Konventionelles Güllelager	0.0036
	Klärschlammbehandlung	Verbrennung von Frischschlamm	0.0011

### 3.4 Prüfung des globalen Kriteriums

Zur Prüfung des globalen Kriteriums wurde folgendes Vorgehen festgelegt.<sup>13</sup> Es wird ein Prüfwert für die Anlage als Multiplikation der Menge aller Produkte mit ihren jeweiligen Grenz- bzw. Referenzwerten errechnet. Es wird geprüft, ob die Gesamtbelastung der Anlage unter diesem Prüfwert liegt.

Für die im Modell integrierte Berechnung einer Umweltdeklaration ist dieses Vorgehen günstiger, da nicht mehr mit Gutschriften gerechnet werden muss und die Ergebnisse für die Deklaration und die Prüfung des globalen Kriteriums die gleichen sind. Als Ergebnis wird gezeigt, um wie viel Prozent die Umweltbelastungen der Anlage bzw. aller Produkte zusammen über oder unter dem Prüfwert liegen. Ein direkter Vergleich verschiedener Anlagen an Hand dieses Prozentwertes ist möglich. Mit Hilfe der in Kapitel 2.2 vorgeschlagenen Allokation können auch die Umweltbelastungen der einzelnen Produkte direkt mit anderen Produkten oder Systemen verglichen werden.

Bisher waren sowohl positive als auch negative Gesamtbilanzergebnisse möglich, da es sowohl Gutschriften als auch Grenzwerte gab. Mit dem neuen Vorgehen ergibt sich hinsichtlich des Prüfungsbescheids das gleiche Resultat wie die bisherige Prüfung aber der Zahlenwert ist immer positiv. Zahlenwerte aus früheren Modellen sind damit allerdings nicht mit neuen Ergebnissen vergleichbar.

<sup>13</sup> Für das KWM wurde entschieden, keine differenzierte Prüfung pro Energieprodukt durchzuführen.

Die gleichzeitige Zertifizierung aller Energieprodukte bedeutet für das KWM einen kleinen Mehraufwand an Daten. Dafür wird sichergestellt, dass alle Energieprodukte mit hohem Standard produziert werden und keine Verschiebung von Umweltbelastungen zu nicht-zertifizierten Produkten stattfinden kann.

Das Erreichen des globalen Kriteriums wird für jedes Energieprodukt bestätigt. Wie bisher müssen alle Produkte der Anlage im Kennwertmodell eingegeben werden.

Grunddaten und Bewertungsmethoden werden wie gewohnt auf versteckten Blättern dokumentiert.

In Fig. 3.5 wird ein Beispiel für die Prüfung gezeigt. Auf der linken Seite werden die Gesamtumweltbelastungen der Anlage für den Referenzzeitraum bestimmt. Für die gezeigte Kläranlage ergeben sich Umweltbelastungen von etwa 100'000 Eco-indicator 99 (H,A) Punkten. Dem gegenübergestellt wird der Prüfwert (Summe der Grenz- und Referenzwerte für die produzierten Produkte). Der Prüfwert ist in diesem Fall höher als die Umweltbelastung. Die Anlage verursacht also nur etwa die Hälfte der maximal erlaubten Umweltbelastungen und das naturemade Kriterium ist damit erfüllt.

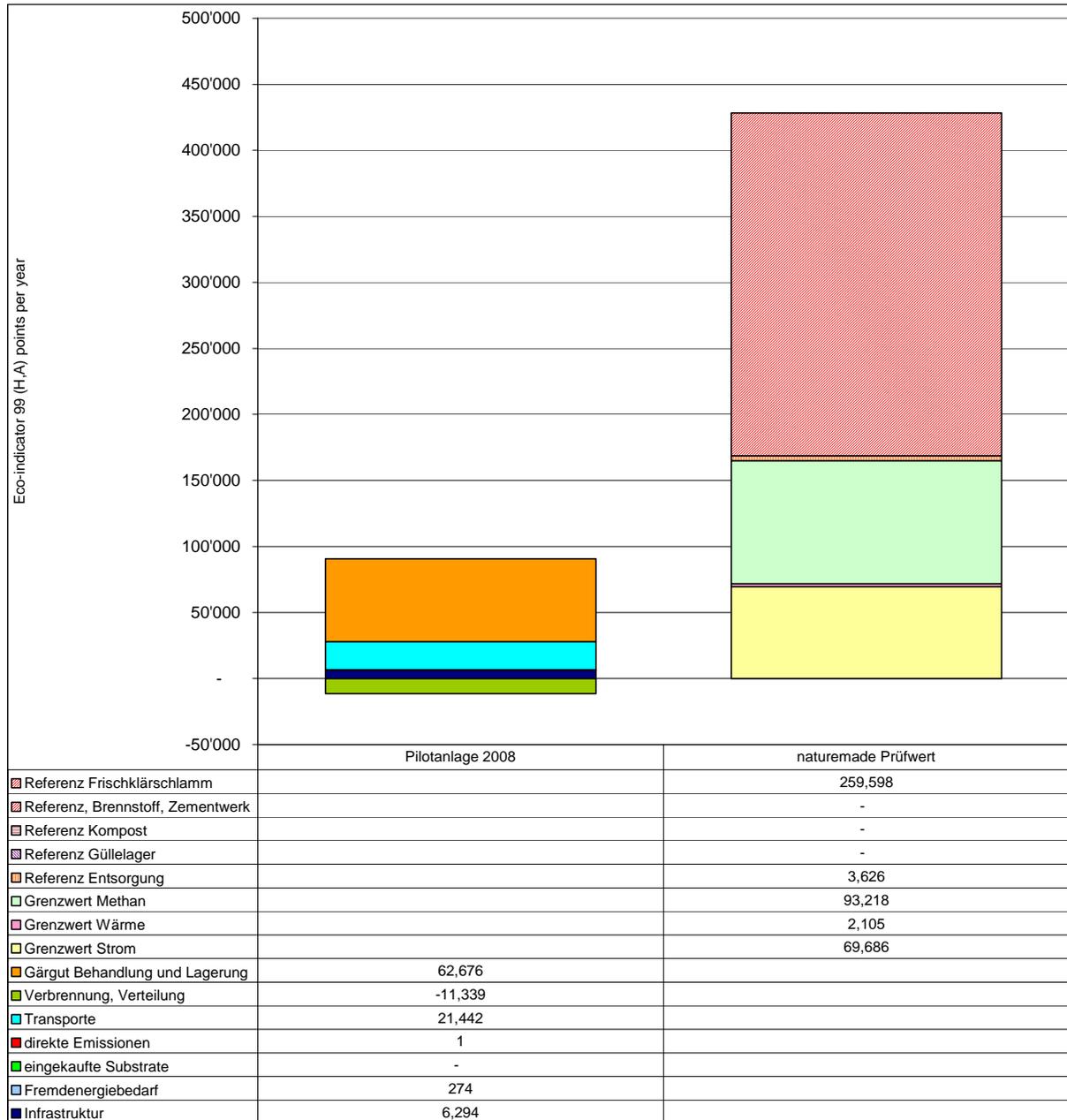


Fig. 3.5 Beispiel für die Prüfung des globalen Kriteriums im Kennwertmodell

## 4 Beschreibung der Kennwertmodelle

### 4.1 Einführung

Im Folgenden geben wir eine Übersicht zu den verschiedenen Kennwertmodellen. Die Kennwertmodelle werden als EXCEL-Datei zur Verfügung gestellt. Jedes Kennwertmodell enthält eine Haupteingabemaske auf welcher der Anlagenbetrieb, notwendige Eingaben und alle verkauften Produkte aufgeführt werden. Auf Nebenblättern werden zusätzliche Angaben abgefragt, z.B. zur genauen Zusammensetzung der vergärten Substrate. Auf dem Blatt „Prüfung“ wird angezeigt, ob die Anlage und damit alle von ihr verkauften Produkte, die zur Zertifizierung angemeldet werden, das *naturemade star* Kriterium erfüllen. Auf dem Blatt „Umweltdeklaration“ werden die Ergebnisse der Umweltbelastungen für verschiedene Energieprodukte ausgewiesen.

Diese Beschreibung wird den naturemade Auditoren auszugsweise als Anleitung zum Ausfüllen der Kennwertmodelle zur Verfügung gestellt.

### 4.2 Bedienung

Alle weissen Felder im Blatt „Prüfung“ des Kennwertmodells müssen ausgefüllt werden. Bei Eingabe einer Null, erscheint die für die Eingabe geforderte Einheit. Bestehende Formeln in weissen Zellen können mit direkten Eingaben oder eigenen Formeln ersetzt werden. Farbige Zellen dürfen nicht verändert werden. Aus den Drop-Down Menüs müssen die passenden Anlagenspezifikationen ausgewählt werden.

Die automatische Berechnung in Excel muss eingeschaltet sein (/Extras/Optionen/Berechnung --> automatisch) oder man kann mit „F9“ Taste die Ergebnisse jeweils neu berechnen lassen wenn sich nach einer Eingabe nichts ändert.

Alle Angaben müssen für den Betrieb der Anlage in einem einheitlich Zeitraum (in der Regel ein Jahr) eingegeben werden.

Im Kennwertmodell werden Angaben zu finanziellen Erträgen und Aufwendungen abgefragt. Diese sind jeweils aus Sicht des Anlagenbetreibers positiv (Ertrag) bzw. negativ in CHF als Summe des Referenzzeitraums einzugeben. Transportkosten werden dabei grundsätzlich nicht berücksichtigt.

In der Spalte "Prüfungen" im Blatt Prüfungen werden spezielle Aspekte der Eingabe kontrolliert. Durch anklicken eines Kästchens wird im Kommentarfeld die Frage der Prüfung angegeben. Damit kann überprüft werden warum eine spezifische Prüfung nicht bestanden wurde.

Weitere Arbeitsblätter in der EXCEL Tabelle enthalten Hintergrunddaten und Berechnungsformeln. Sie dürfen auf keinen Fall verändert oder manipuliert werden.

### 4.3 Allgemeine Systemgrenzen für das Kennwertmodell

Grundsätzlich wird die zertifizierte Anlage im Kennwertmodell aus Sicht des Anlagenbetreibers abgebildet. Zunächst wird der Anlagentyp und die Anlagengrösse erfasst. Die in diesem Bericht beschriebenen Systemgrenzen gelten für die Erfassung der jeweiligen Energie-, Umwandlungs- und Verteilsysteme (vgl. Fig. 1.1).

Alle vom Anlagenbetreiber eingekauften Energieträger, Materialien und Dienstleistungen werden im Kennwertmodell als **Inputs** erfasst und über die Ökobilanz als Umweltbelastungen der Anlage abgebildet. Hinzu kommen Belastungen aus den direkten Emissionen der Anlage.

In einem zweiten Schritt werden die **Outputs der Anlage** erfasst. Als Produkte der Anlage gelten alle Materialien, Energieträger und Dienstleistungen, für die der Anlagenbetreiber vom Abnehmer eine Entschädigung oder Gebühr erhält. Im Kennwertmodell werden diese Produkte über Referenzwerte für Energieprodukte und Nebenprodukte abgebildet. Die spätere Nutzung dieser Produkte z.B. die Verwendung des Stroms, die Verbrennung von verkauftem Biomethan und die Ausbringung von Kompost durch den Käufer liegt ausserhalb der Systemgrenzen des Modells. Erfasst werden bei den Outputs auch direkte Emissionen und die Entsorgung von entstehenden Abfällen.

Einen Sonderfall bilden Transporte zur Anlage und von der Anlage weg. Genaugenommen müsste für jeden Transportvorgang hinterfragt werden, ob dieser vom Anlagenbetreiber, vom Erzeuger von Abfällen oder vom Abnehmer der Produkte bezahlt wird. Praktisch ist dies kaum im Detail erfassbar. Deshalb werden alle Transporte zur Anlage (z.B. Energieträger, Abfälle, Substrate, Materialien) und von der Anlage (verkaufte Produkte wie Kompost oder Abfälle wie z.B. Klärschlamm) als innerhalb der Systemgrenzen des Modells liegend betrachtet und damit berücksichtigt. Transportkosten für die eingegebenen Transporte sind hingegen nicht zu berücksichtigen, um Doppelzählungen zu vermeiden.

Alle Kennwertmodelle wurden für in der Schweiz betriebene Energieanlagen erstellt. Die Anwendung der Modelle auf Anlagen, die ausserhalb der Schweiz betrieben werden, ist nicht ohne weiteres möglich, da hierzu unter Umständen bestimmte Annahmen in den Hintergrunddaten angepasst werden müssten.

In den folgenden Unterkapiteln zu Systemgrenzen werden weitere Festlegungen für den jeweils betrachteten Anlagentyp beschrieben.

#### 4.4 Datengrundlagen und Berechnung

Für alle Berechnungen werden aktuellen Hintergrunddaten der ecoinvent Datenbank (ecoinvent Centre 2010) mit der Ökobilanz-Software SimaPro (PRé Consultants 2010) ausgewertet. Ausserdem werden neu erhobene Daten in der Berechnung berücksichtigt. Diese sind im vertraulichen Anhang dokumentiert. Die in SimaPro berechneten Ergebnisse werden dann in die EXCEL Dateien mit den Kennwertmodellen übertragen.

#### 4.5 Holzenergieanlagen

Wärme aus Holzheizungen und Wärme und Strom aus Holzheizkraftwerken sowie Holzvergassungsanlagen werden neu in einem einzigen Kennwertmodell zusammengefasst. Zusätzlich zu den bereits bilanzierten Holzheizkraftwerken werden reine Wärmerzeugungsanlagen in das Kennwertmodell integriert. Hierbei handelt es sich um Stückholz-, Holzschnittel- und Pellets-Feuerungen im Leistungsbereich > 70 kW. Für das Modell werden die Sachbilanzdaten des ecoinvent Datenbestands v2.01 als Grundlage verwendet (Bauer 2007). Die Daten zu WKK basieren grösstenteils auf den Grundlagen der bisherigen naturemade Zertifizierung (Jungbluth et al. 2002).

## 4.5.1 Auswertungen

### 4.5.1.1 Holzheizungen

In Fig. 4.1 werden die Umweltbelastungen verschiedener Holzheizungen verglichen (Bauer 2007). Lediglich zwei mit Industrierestholz betriebene Holzheizungen bleiben unter dem Grenzwert von 7.7 Millipunkten pro kWh Wärme. Bei allen in ecoinvent bilanzierten Heizungen sind Feinstaub- und NO<sub>x</sub> Emissionen von besonderer Bedeutung. Diese werden in der Kategorie „Inorganic respiratory effects“ bewertet. In der ecoinvent Modellierung wurden für grössere Heizungen, basierend auf unterschiedlichen Messwerten, höhere Feinstaubemissionen als für kleinere Heizungen eingesetzt.

Die Emissionen in der Bilanz wurden mit 34-61 mg/MJ für Partikel und 97-104 mg/MJ für NO<sub>x</sub> angenommen. Aufgrund strengerer gesetzlicher Grundlagen sind bei modernen Holzheizungen geringere Emissionen (insbesondere bei PM<sub>2.5</sub>) zu erwarten. Ferner wird in ecoinvent angenommen, dass ein Teil der Asche auf Landwirtschaftsland verstreut wird. Auch dies erscheint für Anlagen in dieser Grössenordnung nicht besonders realistisch. Damit sollte es möglich sein, dass grössere Holzheizungen auch den naturemade Standard erfüllen.

Ein zweiter, wichtiger Faktor ist die Art und Menge des Holzinputs, der auch über den „land use“ in der Ökobilanz bewertet wird. Umweltbelastungen aus der Waldwirtschaft werden ökonomisch auf unterschiedliche Holzprodukte alloziert. Holzbrennstoffe tragen deshalb in der Regel im Vergleich z.B. zu Bauholz geringere Umweltbelastungen. Aufgrund insgesamt relativ geringer Umweltbelastungen der Forstwirtschaft im Vergleich zur Landwirtschaft wird die Landnutzung zum wichtigsten Faktor in der Bewertung der Brennstoffbereitstellung mit dem Eco-indicator 99 (H,A).

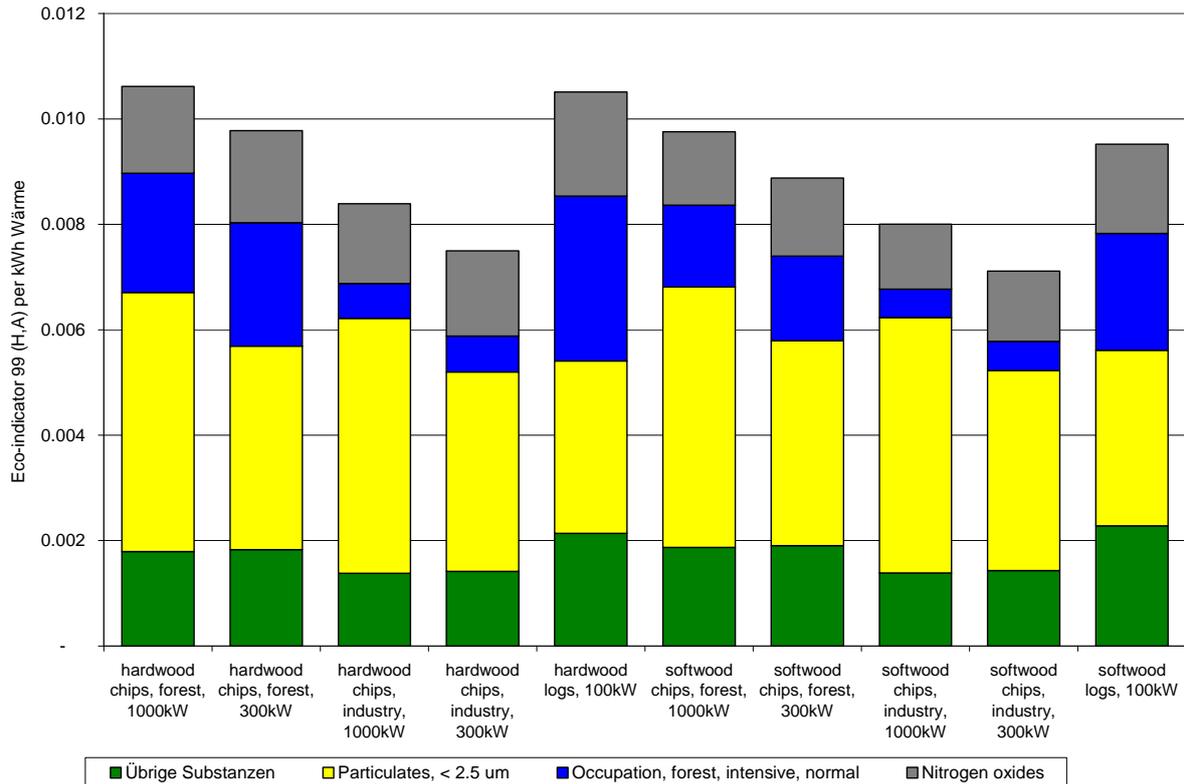


Fig. 4.1 Vergleich der Wärmebereitstellung mit unterschiedlichen Holzheizungen (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh).

#### 4.5.1.2 Holzheizkraftwerke

Die Hauptumweltbelastungen der Holzheizkraftwerke werden in Fig. 4.2 ausgewertet. Das effizienteste Kraftwerk bleibt bei Strom und Wärme unter den naturemade Grenzwerten. Bei den übrigen Kraftwerken sind wiederum vor allem Feinstaub und  $\text{NO}_x$  Emissionen problematisch. Auch hier wird in den Datensätzen teilweise ein unrealistischer Entsorgungsweg für die Aschen angenommen. Somit sollten gute Holzheizkraftwerke unter den naturemade Grenzwerten bleiben können, soweit die relevanten Emissionen im Kennwertmodell modelliert werden.

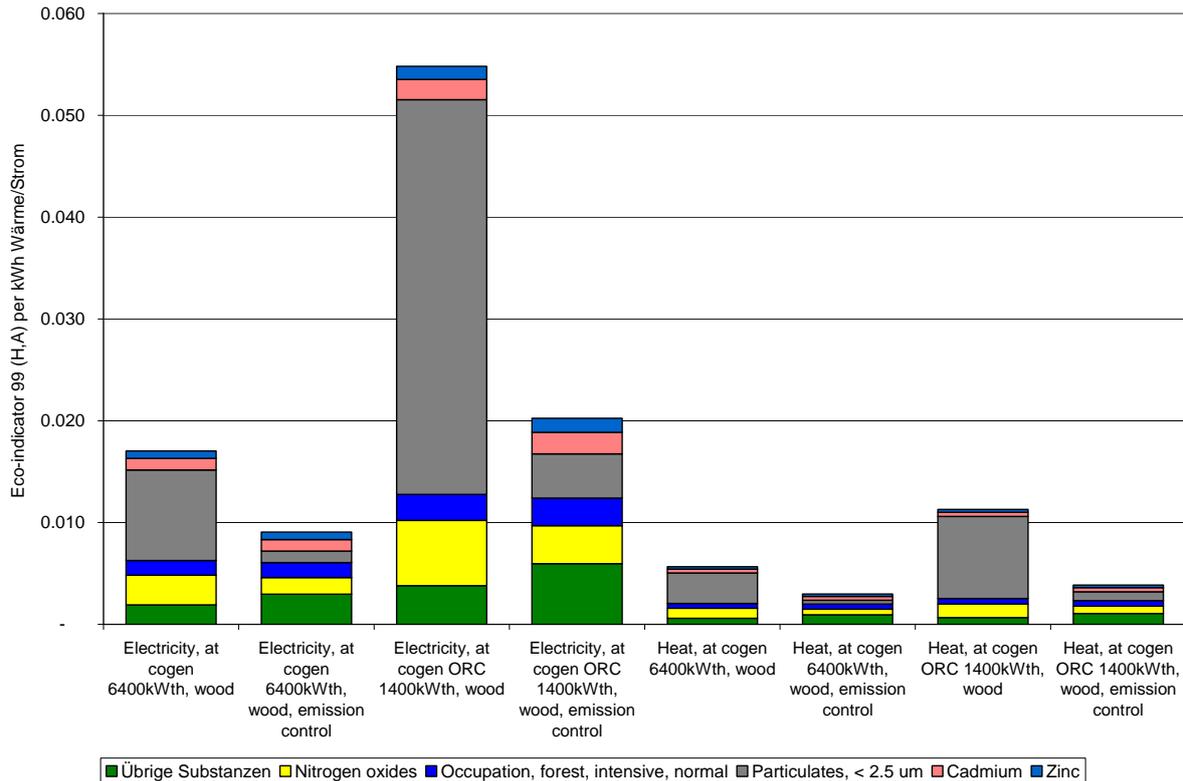


Fig. 4.2 Vergleich der Strom- und Wärmebereitstellung mit unterschiedlichen Holzheizkraftwerken (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh).

#### 4.5.1.3 Holzvergasung

Grundsätzlich ist auch bei der Holzvergasung die Bereitstellung von Wärme und/oder Biome than möglich. Ein Kennwertmodell für das Pyroforce Verfahren (Festbett-Vergasung) wurde kürzlich erarbeitet (Jungbluth 2007). Die bestehenden Anlagen produzieren Strom und Wärme. Das Modell für Holzvergasung wurde für diese Studie in das Modell für Holzenergieanlagen integriert.

#### 4.5.2 Systemgrenzen

Grundsätzlich werden ähnliche Systemgrenzen wie für andere Anlagen verwendet (Fig. 4.3). Das Modell ist aus Sicht des Anlagenbetreibers für alle Systemteile auszufüllen, die direkt mit der Holzenergieanlage zusammenhängen. Dazu gehören z.B. Schnitzelannahme, Trocknung und Lagerung, die Verbrennungs- bzw. Vergasungsanlage und die Entsorgung von Schlacken und Asche. Bei der Erzeugung von Biome than muss auch der Eigenbedarf an Strom- und Wärme z.B. für die Gasreinigung vom Ertrag der Anlage abgezogen werden. Erfasst werden auch die Transporte des Brennstoffs zur Anlage und die Transporte für die Entsorgung von Aschen. Werden Holzsnitzel für die Anlage vorgetrocknet, so ist der Energiebedarf hierfür bei den Energieträgern einzusetzen soweit nicht Abwärme der Anlage genutzt wird.

Innerhalb des Systems werden Anlagenteile, die nicht direkt mit der Holzenergieanlage zusammenfallen, nicht erfasst. Dazu gehört z.B. ein weiteres Heizsystem basierend auf Erdöl oder Gas, die Nutzung der Wärme für andere Zwecke wie z.B. ein Parkettwerk oder Beheizung von anderen Gebäuden als dem eigentlichen Betriebsgebäude.

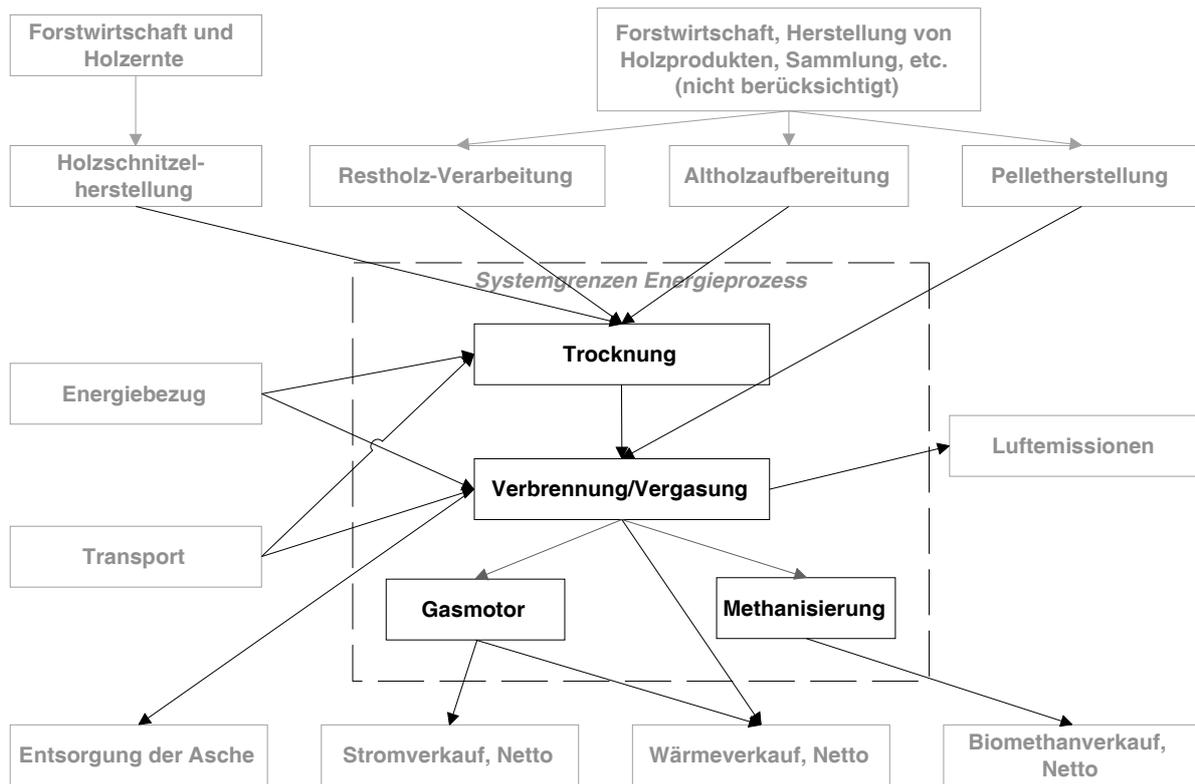


Fig. 4.3 Systemgrenzen der Eingaben für die Holzenergieanlage im Kennwertmodell.

### 4.5.3 Kenngrößen

Die Auswertung bestätigt die bisher abgefragten Kenngrößen im Kennwertmodell für die Holzheizkraftwerke (Jungbluth et al. 2002). Diese können auch für die Holzverbrennung übernommen werden. Aus der Diskussion der Ökobilanzergebnisse ergeben sich folgende wichtige Kenngrößen, die für den durchschnittlichen Anlagenbetrieb pro Jahr abgefragt werden müssen:

- Auswahl für den Anlagentyp, z.B. Holzheizung, oder Holzverbrennungskraftwerk.
- Jährlicher Gesamtverbrauch von Holzbrennstoffen (naturbelassenes Holz bzw. Restholz, Pellets) und Altholz als Schüttkubikmeter ( $\text{Sm}^3$ ) für die Produktion von Strom und Wärme. Landschaftspflegeholz wird als Waldholz eingegeben. Nicht geeignet ist das Modell für die Beurteilung von Holzschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen.
- Relative Feuchte der Holzfraktionen soweit bekannt (Grobe Schätzwerte werden im Blatt „Info“ angegeben, z.B. grün  $W=50\%$ , halbgrün  $W=30\%$ , trocken  $W=20\%$ )
- Mittlere Transportentfernung für den Holzbezug vom Lieferanten bis zur Holzenergieanlage (ohne vorgelagerte Transporte z.B. vom Wald zur Schreinerei wo dann Holzabfälle anfallen).
- Verbrauch von Rapsölmethylester für eine Gasreinigung (t)
- Eigenenergiebedarf der Anlage. Anzugeben ist dabei nur der Energiebedarf für die Anlage entsprechend der Systemgrenzen.

- Strombezug aus dem Netz (kWh). Strom aus eigener Erzeugung muss hier nicht angegeben werden.
- Heizölverbrauch (kWh) z.B. zur Trocknung von Holz. Dies muss auch angegeben werden, wenn die Holz Trocknung beim Lieferanten geschieht. Für Pellets ist die Trocknung schon in den Hintergrunddaten eingerechnet und braucht deshalb nicht berücksichtigt werden.
- Dieserverbrauch (kWh) z.B. für Maschinen, die Substrat einbringen. Nicht einzugeben ist der Dieserverbrauch für Maschinen ausserhalb der Systemgrenzen wie z.B. Motorsäge bei der Holzernte.
- Erdgasverbrauch (kWh) z.B. zum Beheizen der Gebäude oder zur Holz Trocknung.
- *Bezug von Abwärme, z.B. zur Schnitzeltrocknung (kWh)*
- Emission von Partikeln und  $\text{NO}_x$  ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) bezogen auf 11 bzw. 13%  $\text{O}_2$  im Abgas der Anlage. Für die Bestimmung der Emissionswerte ist der Durchschnitt aller Messungen aus den letzten 12 Monaten vor der Prüfung massgeblich.
- Emission von Blei, Cadmium, Zink ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) im Jahresdurchschnitt im Abgas der Anlage. Diese Grössen werden nur bei der Nutzung von Altholz abgefragt.
- Energieprodukte
  - Nettostromerzeugung ohne Eigenverbrauch der Gesamtanlage (kWh). Wichtig ist, wie viel Strom von der Anlage an einen Netzbetreiber abgegeben wird und welche Menge ausserhalb der Systemgrenzen der Anlage genutzt wird. Als Berechnungshilfe kann dieser Wert auch mit der Bruttostromerzeugung und dem Eigenverbrauch (z.B. Abgasfilter, Brennstofftransport, Ventilatoren) abgeschätzt werden.
  - Wärme ausserhalb der Anlage genutzt oder verkauft (kWh). Erfasst wird die Nahwärmenutzung in unmittelbarer Nähe aber ausserhalb der eigentlichen Anlage, z.B. für die Heizung eines Hauses, Gewächshauses, Stalls, etc. Als Einspeisung in einen Wärmeverbund wird die über ein Fernwärmenetz transportierte Wärme erfasst. Hier sind zusätzlich die Verluste im Wärmeverbund anzugeben. Nicht erfasst wird die Wärme zum Betrieb der Anlage selber, z.B. zum Trocknen der Holz schnitzel oder zur Beheizung des Betriebsgebäudes.
  - Biomethan, aufbereitet auf 96% Methangehalt, direkt verkauft oder in ein Erdgasnetz eingespiessen (kWh, unterer Heizwert).
- Entsorgungsmengen Holzasche und Filterrückstände (t/a) und deren Entsorgungsweg. Entfernung bis zum Entsorger (km).

Eine Erhebung der Filtertechnologie ist nicht notwendig. Die wesentlichen hierdurch verursachten Einflüsse auf die Ökobilanz (Hilfsstromverbrauch, Partikel und  $\text{NO}_x$  Emissionen) werden bereits im Kenngrössenmodell erhoben. Der Verbrauch von Ammoniak und evtl. erhöhte  $\text{NH}_3$  Emissionen sind für das Gesamtergebnis nicht relevant.

Im Kennwertmodell wird auf Basis der Eingabedaten ein energetischer Gesamtwirkungsgrad berechnet. Dieser bezieht sich auf den unteren Heizwert der verbrannten Holzschnitzel.<sup>14</sup>

Im Kennwertmodell werden die Eingabewerte für NO<sub>x</sub> und Staub mit den Grenzwerten gemäss Luftreinhalteverordnung verglichen (LRV 2009). Hierzu werden die Zahlen gemäss Tab. 4.1 verwendet.

Tab. 4.1 Emissionsgrenzwerte für Feuerungen mit Holzbrennstoffen

		bis 70 kW	70 kW bis 500 kW	500 kW bis 1 MW	1 MW bis 10 MW	über 10 MW
Sauerstoffgehalt im Abgas	%vol	13	13	13	11	11
Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	250	250	250	250	150
Feststoffe insgesamt (Staub)	mg/m <sup>3</sup>	–	150	20	20	10

Fig. 4.4 zeigt die Eingabemaske des Kenngrössenmodells für Anlagen zur Nutzung von Holzenergie. Alle Berechnungen können in einem Excel-Tabellenblatt durchgeführt werden. Die weiteren Blätter enthalten Hintergrundinformationen und dürfen nicht verändert werden.

<sup>14</sup> Im alten KWM wurden die oberen Heizwerte zur Berechnung des Wirkungsgrades verwendet. Deshalb unterscheiden sich die Ergebnisse deutlich.

**naturemade Star Prüfung: Energieprodukte aus Holzenergieanlagen**

Eingabe:

Anlagenname und Referenzzeitraum:

Anlagentyp:

Inputs	Schütt-kubikmeter	relative Feuchte (W)	atro	Mittlere einfache Transportentfernung
Holzschnitzel, Laubbaum	36'527 Sm3	45%	8'643 t	50 km
Holzschnitzel, Nadelbaum	36'527 Sm3	45%	8'148 t	50 km
Holzschnitzel, Restholz (z.B. aus Sägerei)	0 Sm3	29%	0 t	10 km
Holzpellets	0 Sm3	9%	0 t	50 km
Holzschnitzel, Altholz	0 Sm3	40%	0 t	26 km
Holzmenge	73'054 Sm3		16'791 t	
Rapsölmethylester	54.0 t		54.0 t	29 km
Gesamtinputmenge für Anlage	60'719'319 kWh	1'989 kWh/t FM	831 kWh/Sm3	1'526'463 tkm
<b>Energiebezug der Anlage (Systemgrenzen beachten)</b>				
Strombezug aus Netz	0 kWh			
Heizölverbrauch	0 kWh			
Dieserverbrauch (12 kWh/kg)	0 kWh			
Erdgasverbrauch	560'764 kWh			
<b>Luftemissionen im trockn. Abgas bez. auf 11%/13% O2 / Feuerungswärmeleistung</b>				
Stickoxide NOx als NO2 / Emissionsgrenzwerte gemäss LRV	128 mg/Nm3		250 mg/Nm3	
Staub (= Feststoffe), PM10 / Emissionsgrenzwerte gemäss LRV	2 mg/Nm3		20 mg/Nm3	
-	0.08 mg/Nm3		-	
-	0.002 mg/Nm3		-	
-	1.00 mg/Nm3		-	
<b>Outputs der Anlage</b>				
Gesamtproduktion Biomethan, Brutto (12.7 kWh/kg)	24'070'000 kWh			
ungewollte Biogas Verluste (Methanschlupf und Unterbrüche)	0 kWh			
Biomethan: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage	24'070'000 kWh		1'895 t	
Biomethan verbrannt in Fackel, Heizung, BHKW	0 kWh			
Total Biomethannutzung, Brutto	24'070'000 kWh			
Gesamtproduktion Strom, Brutto	5'252'000 kWh			
Eigenverbrauch der Anlage	4'927'000 kWh			
Strom: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage	325'000 kWh			
Einspeisung Wärmeverbund / Verteilverluste	12'108'000 kWh	10%		
Nahwärmennutzung: Verkauf, Verbrauch im Gebäudekomplex	0 kWh			
Total Wärmeverkauf	10'897'200 kWh			
Gesamtmenge Energieprodukte	35'292'200 kWh			
energetischer Wirkungsgrad	58%			
Einfache Distanz Anlage - Ausbringung/Entsorgung				18'000 tkm
Aschen zur Entsorgung	Reaktordeponie		900.0 t	20.0 km
<b>Resultate:</b>				
El'99-aggregated, Hierarchist	Holzvergasung	Prüfwert		
	3.44E+05	2.75E+05		125%

**naturemade Star Kriterium nicht erfüllt**

Fig. 4.4: Eingabemaske des Kenngrössenmodells für die Bestimmung der Umweltbelastung von Holzenergieanlagen

#### 4.5.4 Lokale Kriterien

Rapsmethylester oder andere Pflanzenölmethylester müssen mindestens die Anforderungen der TrÖbiV (2008) zur Steuerbefreiung erfüllen.

## 4.6 Biogasanlagen

Das Vergären von Bioabfällen, Co-Substrat, Grüngut, Klärschlamm und Gülle wird neu in einem einzigen Kennwertmodell abgebildet. Dafür wurden verschiedene Kennwertmodelle im Rahmen dieser Arbeit zusammengeführt. Das Kennwertmodell ermöglicht das Zertifizieren von Anlagen, die Strom und Wärme beziehungsweise Biomethan verkaufen. Hierzu wird der Aufbereitungsschritt von Biogas zu Biomethan neu in das Kennwertmodell aufgenommen. Die bisherige Einschränkung auf Anlagen mit einem maximalen Co-Substrat Anteil von 50 % wird aufgehoben.

### 4.6.1 Auswertungen

#### 4.6.1.1 Landwirtschaftliche und Grüngutanlagen

Unterschiedliche Datensätze zur Biogasproduktion wurden ausgewertet (Dinkel et al. 2009; Edelmann et al. 2001; Jungbluth et al. 2007; Schleiss & Edelmann 2000). Dabei bestätigten sich die wesentlichen Einflussgrößen und Schadstoffe, die bereits im Kennwertmodell modelliert werden:

- Ammoniakemissionen aus Substratausbringung und Lagerung
- Methanemissionen bei fehlender Abdeckung des Lagerbehälters
- NO<sub>x</sub> Emissionen aus dem BHKW
- N<sub>2</sub>O Emissionen aus abgedeckten Anlagen
- Evtl. fossile Energieinputs für Heizung

Gemäss aktueller Angaben dominiert bei der Grüngutvergärung heute das Verfahren von Kompogas. Im bisherigen KWM wurde dies als thermophile, einstufige Vergärung mit Nachrotte bezeichnet.<sup>15</sup> Es gibt auch eine Reihe von Anlagen mit geschlossener Kompostierung, die zertifiziert wurden. Bei landwirtschaftlichen Anlagen sind vor allem solche ohne spezieller Kompostbehandlung zu finden.

Im bisherigen Modell der Grüngutvergärung wird auch die Ausbringung des Kompostes mit berücksichtigt. Bei der Kompostanwendung in der Landwirtschaft werden vor allem die Schwermetallemissionen (Cadmium und Arsen) mit dem Eco-indicator 99 (H,A) hoch bewertet. Bei Anwendung im Gartenbau sind hingegen Zink, Nickel und Chrom die wichtigsten Bodenschadstoffe in der Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (H,A).

Die Bewertung von Schwermetallemissionen bei der Kompostanwendung in Ökobilanzen wird seit geraumer Zeit kontrovers diskutiert (Dinkel et al. 2009; Schleiss 1999; Schleiss & Jungbluth 2005). Neben der Bewertung ist auch die Messung mit einigen Unsicherheiten befrachtet. Von Kompostexperten werden die Probleme durch Schwermetalle hingegen eher als gering eingestuft, da die gesetzlichen Boden-Grenzwerte in der Regel nicht überschritten werden.

---

<sup>15</sup> Persönliche Auskunft Konrad Schleiss, 19.11.2008.

#### 4.6.1.2 Klärschlamm

Das bisherige Kennwertmodell des Vergärens von Klärschlamm wird neu erstellt und um die Energieprodukte Wärme und Biomethan erweitert (Frischknecht & Jungbluth 2001; Ronchetti et al. 2002). Hierzu müssen einerseits die dem bisherigen Kennwertmodell zugrunde liegenden Sachbilanzdaten zur Verfügung stehen und andererseits die Datengrundlage gegebenenfalls erweitert werden (beispielsweise bezüglich Emissionsfaktoren und Emissionsmengen der Fackel).

Zunächst wurden die im Rahmen der ecoinvent Datenbank erhobenen Daten ausgewertet (Jungbluth et al. 2007). In der Datenbank werden die Umweltbelastungen des Biogases nur mit der Infrastruktur und direkten Emissionen der Vergärung bilanziert. Es wird in der erwähnten Publikation angenommen, dass Strom und Wärme für die Vergärung konventionell erzeugt werden, um eine möglichst hohe Biomethanausbeute zu erzielen. Bei dieser Art der Modellierung werden die Umweltbelastungen vor allem durch die Wärmebereitstellung mittels Erdgasboiler verursacht. Infrastruktur und Methanemissionen sind demgegenüber von eher geringer Bedeutung. Da der Faulschlamm direkt nach der Vergärung entwässert wird, sind nur geringe Methanemissionen aus der Nachbehandlung zu erwarten.

#### 4.6.1.3 Co-Substrate in der Klärschlammvergärung

Die ARA in Bern verarbeitet neben Klärschlamm auch Co-Substrate. Dies sind z.B. Flotate und Schlämme (Lebensmittelverarbeitung, Pharmazeutische Produktion). Diese werden aus der ganzen Schweiz angeliefert, da bisher nur wenige Kläranlagen die notwendige Infrastruktur und das erforderliche Wissen zur Co-Vergärung haben. Der entstehende Schlamm wird genauso wie der normale Klärschlamm verbrannt. Zur Lagerung dieser Substrate bestehen eine Annahmestelle und Chromstahl-Lagertanks. Gemäss dem Technischen Bericht der ARA wurden die in Tab. 4.2 gezeigten Co-Substrate gegen Entgelt angenommen (arabern 2008). Zusätzlich werden Schlämme von anderen Kläranlagen in der ARA Bern behandelt. Ethanol-Abwasser wird unentgeltlich entgegengenommen und direkt in die Kläranlage gegeben anstatt in den Gärbehälter.

Tab. 4.2 Annahme vergärbare Abfälle im Jahr 2007 durch die ARA Bern (arabern 2008)

Produkt	Einheit	Menge
Enteisungswasser (S 140603)	[m <sup>3</sup> /a]	975
Speisereste	[m <sup>3</sup> /a]	112
Speisereste	[m <sup>3</sup> /a]	3'781
Speisereste	[m <sup>3</sup> /a]	241
Hefezellwände	[m <sup>3</sup> /a]	8'439
Kaffepresswasser	[m <sup>3</sup> /a]	5'821
Milchserum	[m <sup>3</sup> /a]	500
Speiseöl (ak 200125)	[m <sup>3</sup> /a]	146
Getränke- Abfall	[m <sup>3</sup> /a]	1'097
Ethanol- Wassergemisch (S 070504)	[m <sup>3</sup> /a]	46
Ethanol für SBR (S 070504)	[m <sup>3</sup> /a]	298
Flotat	[t]	1'538
Fettabscheider (ak 190809)	[m <sup>3</sup> /a]	2'598
Hausklärschlamm	[m <sup>3</sup> /a]	1'396
<b>Total</b>		<b>26'988</b>

Die Umweltbelastung der Schlammentwässerung und -trocknung für das Co-Substrat ist in den Eingabedaten enthalten. Die Verbrennung des Schlammes aus dem Co-Substrat wird mit den gleichen Daten wie für Klärschlamm pauschal auf Grundlage von Literaturdaten abgeschätzt.

In der Bilanz wird auch die Behandlung des Presswassers aus der Schlamm-trocknung berücksichtigt.

#### 4.6.1.4 Industrielle Biogasanlagen

Teilweise werden Biogasanlagen direkt als Teil einer industriellen Anlage betrieben (z.B. Schlachthof, Zuckerherstellung, etc.). Für diese Art von Anlagen (etwa 10 in der Schweiz) stehen bisher noch keine Ökobilanzdaten zur Verfügung. Sie können im Kennwertmodell deshalb auch nicht geprüft werden.

#### 4.6.1.5 Verbrennung von Biogas zur Strom- und Wärmeproduktion

Grundsätzlich bestätigt die Auswertung der in ecoinvent verfügbaren Daten zur Verbrennung von Biogas die bisherigen Einflussparameter wie z.B. Zündölverbrauch. Neue Untersuchungen zeigen, dass einige Luftemissionen deutlich höher sind als bisher angenommen. Deshalb muss neu auch die Emission von Stickoxiden im Modell abgefragt werden.

### 4.6.2 Systemgrenzen

Das Kennwertmodell ist nur für Biogasanlagen gültig, die Substrate gemäss der detaillierten Liste im Modell verwenden. Dieses Modell ist nicht gültig für alle landwirtschaftlich produzierte Substrate wie z.B. Mais oder Gras. Das Modell ist auch nicht für industrielle Biogasanlagen anwendbar.

#### 4.6.2.1 Biogasanlage

Für das Kennwertmodell werden nur die Anlagenteile berücksichtigt, die direkt für die Biogaserzeugung und evtl. Verbrennung notwendig sind. Fig. 4.5 fasst die Systemgrenzen zusammen. Die Eingaben für Energieverbräuche im Modell müssen sich nur auf dem Eigenverbrauch zugerechneten Betriebsteile beziehen.

Betriebsteile, die nicht direkt etwas mit der Vergärung zu tun haben, gehören nicht zur Bilanz der Biogasanlage (Schlachtereier, Schreinerei, Gärtnerei, etc.). Strom- und Wärmeabnahmen durch solche Betriebsteile müssen als Energieprodukt beim Output eingegeben werden.

Bei der Strom- und Wärmeproduktion der Anlage ist der Eigenverbrauch für die dem Eigenverbrauch zugeordneten Anlagenteile in Abzug zu bringen. Erfasst wird somit die Nettoproduktion der Biogasanlage.

Ausserhalb der Systemgrenzen liegt auch die Verwendung der verkauften bzw. umsonst abgegebenen Nebenprodukte aus der Anlage. Damit werden im Vergleich zum bisherigen Modell Schwermetallemissionen aus der Verwendung von verkauftem Kompost und Emissionen der Gärgutausbringung nicht mehr im Modell berücksichtigt. Werden die ausgefaulten Substrate hingegen gegen Gebühr abgegeben, so wird dies im KWM berücksichtigt.

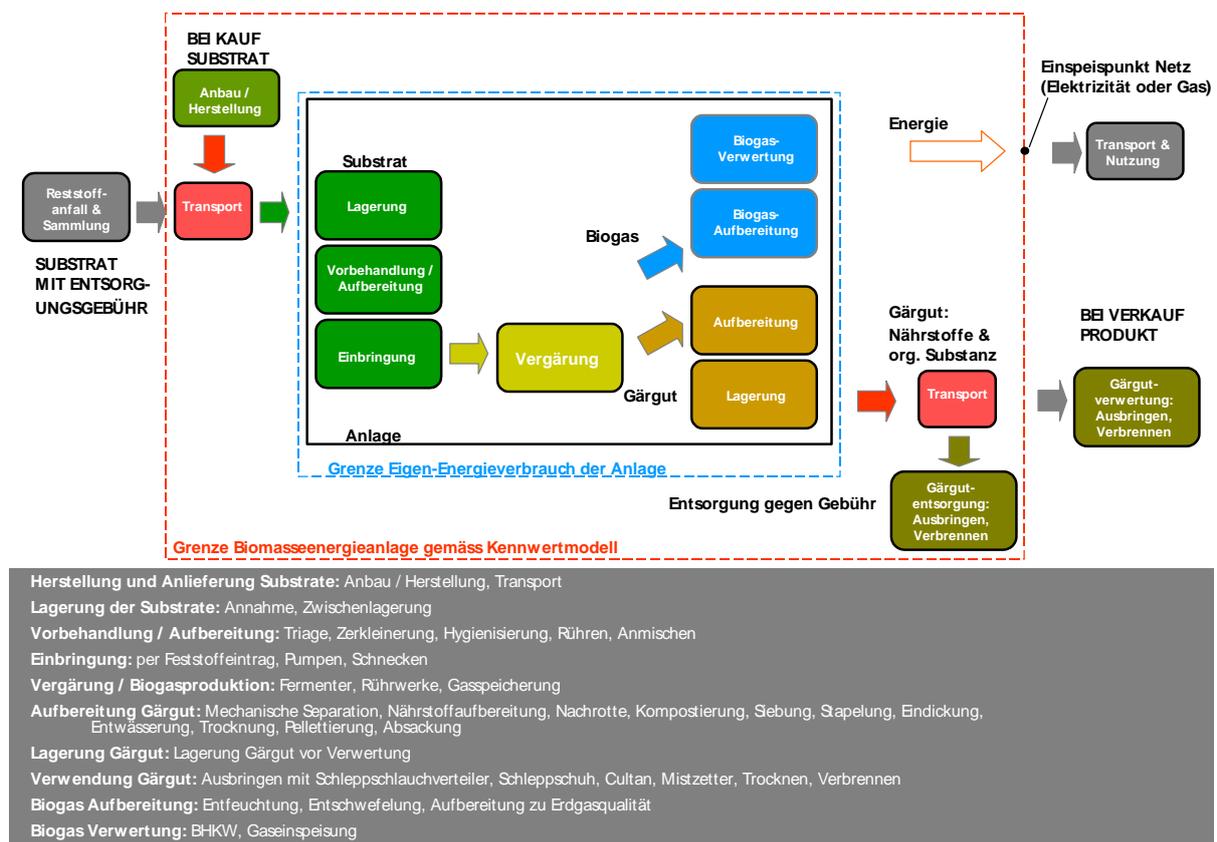


Fig. 4.5 Systemgrenzen der Biomasse-Vergärungsanlagen für Eingaben im Kennwertmodell

#### 4.6.2.2 Klärschlammvergärung

Die folgende Fig. 4.6 zeigt die Systemgrenzen für die Gesamtbilanz der Biogaserzeugung in der Kläranlage. Das Kennwertmodell muss nur für die Inputs und Outputs in bzw. aus diesem System ausgefüllt werden. Das heisst z.B., dass Strom für Rohabwasserpumpen als Produkt

gezählt wird, während die Wärme für die Faulung oder Schlamm-trocknung innerhalb des Systems produziert und genutzt wird und deshalb nicht als Produkt (oder Input) gezählt wird.

Erfasst werden alle Substrate, die in die Vergärung fliessen. Substrate die direkt in die Abwasserreinigung eingebracht werden, werden hingegen im Modell nicht erfasst.

Berücksichtigt werden in der Anlage anfallende Abfälle für die eine Entsorgungsgebühr bezahlt wird, z.B. in der KVA verbrannter Klärschlamm sowie das Presswasser aus der Schlamm-trocknung. Wird der Faulschlamm hingegen verkauft, wird die weitere Verwendung nicht weiter berücksichtigt.

#### ARA Region Bern

##### Energiebilanz Schlammweg IST-Zustand 2007

13.03.2009 BH X CALDARA.ERNEUERUNG@energieforbiber.ch/Schlamm/Energiebilanz\_schlamm\_ist07.PPT

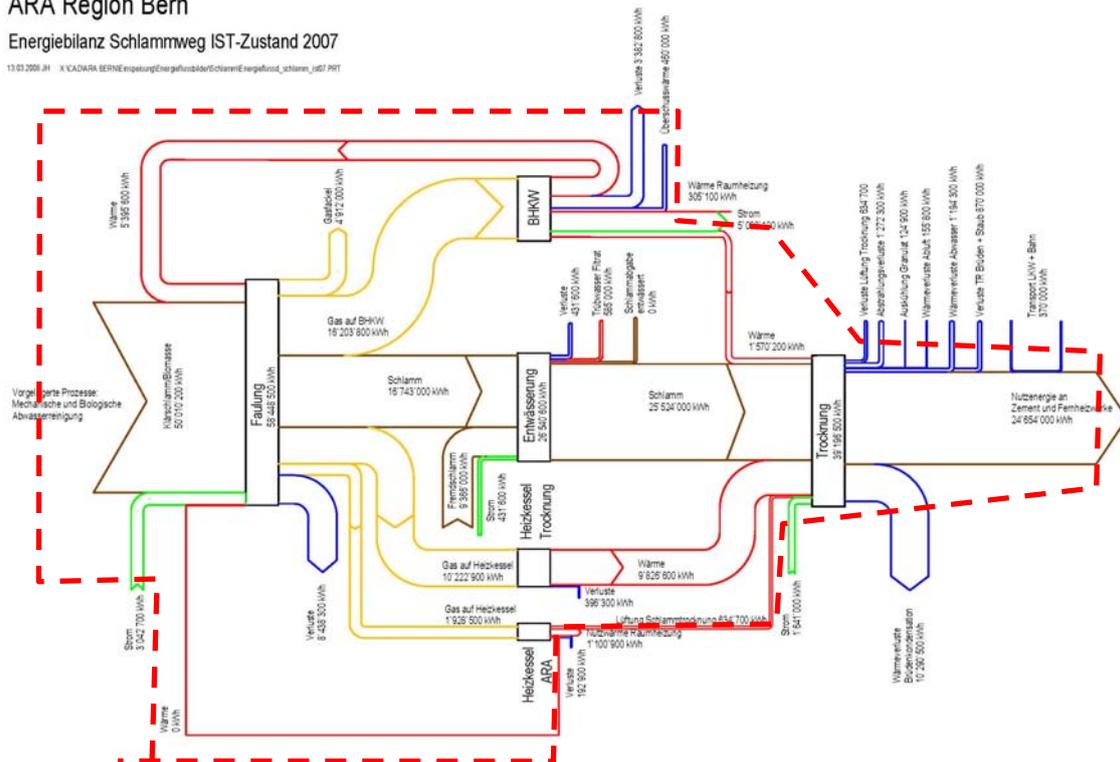


Fig. 4.6 Systemgrenzen für die Bilanzierung der Vergärung in einer Kläranlage aufgezeigt an Hand eines Energieflussdiagramms.

### 4.6.3 Kenngrössen

Aufgrund der Auswertungen werden die im folgenden beschriebenen Kenngrössen festgelegt. Fig. 4.7 zeigt die Eingabemaske für die verschiedenen Grössen.

Im Kennwertmodell werden erstmals auch Angaben zu finanziellen Erträgen und Aufwendungen abgefragt. Diese sind jeweils aus Sicht des Anlagenbetreibers positiv (Ertrag) bzw. negativ (Aufwand) in CHF einzugeben. Transportkosten werden dabei nicht berücksichtigt. Das Modell ist jeweils für ein Betriebsjahr bzw. für einen klar festgelegten Zeitraum auszufüllen. Das heisst, als Betrag wird die Summe für den Bilanzzeitraum und nicht der Preis pro Tonne angegeben.

- Typ der Biogasanlage (Auswahl) und Fermentergrösse ( $m^3$ ). Diese dient zur Skalierung der baulichen Aufwendungen.

- Detaillierte Auflistung aller Substrate, die direkt in die Vergärungsanlage eingebracht werden und Erfassung der Anlieferung in einem Extrablatt „Substrate“ (siehe Fig. 4.8)
  - Tierbestand (Anzahl Tiere, Anteil Stallhaltung (%), einfache Anlieferdistanz vom Stall bis zur Anlage)
  - Substrate und nachwachsende Rohstoffe (Art, Menge, Preis, einfache Distanz)
  - Klärschlamm und Schlämme von anderen Kläranlagen (Art, Menge, Preis, einfache Distanz)
  - *Nicht erfasst werden Abwasser und Substrate, die zunächst in einer Abwasserreinigungsstufe behandelt werden. Ausserhalb der Systemgrenzen liegen auch Substrate, die vor der Einbringung in die Vergärung aussortiert werden wie z.B. Holzschnitzel.*
- Eigenenergiebezug der Anlage. Anzugeben ist dabei nur der Energiebedarf für die Anlage entsprechend der Systemgrenzen.
  - Strombezug aus dem Netz (kWh). Strom aus eigener Erzeugung muss hier nicht eingegeben werden.
  - Heizölverbrauch (kWh) z.B. zum Beheizen des Fermenters oder Trocknung von Gärgut
  - Zündölverbrauch (kWh)<sup>16</sup> zum Betrieb eines Zündstrahlmotors
  - Dieserverbrauch (kWh) z.B. für Maschinen, die Substrat einbringen oder Gärgut behandeln. Die Aufwendung zum Transport von Substraten und Gärgut können wahlweise als Dieserverbrauch oder als Transportdistanz eingegeben werden. Nicht einzugeben ist der Dieserverbrauch für Maschinen ausserhalb der Systemgrenzen z.B. Traktoren zur Bodenbearbeitung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb.
  - Erdgasverbrauch (kWh) z.B. zum Beheizen des Fermenters.
  - *Bezug von Abwärme (kWh). Zur Zeit noch nicht möglich da genaue Definition noch erstellt werden muss..*
- Biogasverbrennung (kWh) und Typ BHKW (Auswahl)
  - Emission von NO<sub>x</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>, umgerechnet auf 5% O<sub>2</sub> Gehalt im Abgas)
- Energieprodukte
  - Nettostromerzeugung ohne Eigenverbrauch der Gesamtanlage (kWh). Wichtig ist, wie viel Strom von der Anlage an einen Netzbetreiber abgegeben wird und welche Menge ausserhalb der Systemgrenzen der Biogasanlage genutzt wird. Als Berechnungshilfe kann dieser Wert auch mit der Bruttostromerzeugung und dem Eigenverbrauch abgeschätzt werden.

---

<sup>16</sup> Der Verbrauch von Pflanzenöl als Zündöl wird nicht gesondert abgefragt. Hierdurch würde zwar die CO<sub>2</sub> Bilanz verbessert. Die Umweltbelastungen durch die Produktion von Rapsöl (Pestizide, Landnutzung, Dünger, N<sub>2</sub>O, etc.) werden allerdings mit dem Eco-indicator 99 so hoch bewertet, dass die Verwendung von Rapsöl nicht zu einer Verbesserung der Bilanz beiträgt (Zah et al. 2007).

- 
- Wärme ausserhalb der Biogasanlage genutzt oder verkauft (kWh). Erfasst wird die Wärmenutzung in unmittelbarer Nähe aber ausserhalb der Biogasanlage, z.B. für Heizung eines Hauses, Gewächshauses, Stalls, etc. Als Fernwärme wird die über einen Wärmeverbund transportierte Wärme erfasst. Hier sind zusätzlich die Verluste im Fernwärmenetz anzugeben. Nicht erfasst wird die Wärme zum Betrieb der Biogasanlage, z.B. zum Heizen des Fermenters, des Gebäudes für die Nachkompostierung oder für die Gärgutttrocknung.
  - Biomethan, aufbereitet auf 96% Methangehalt, direkt verkauft oder in ein Erdgasnetz eingespielen (kWh).
  - Art und Menge der Gärgutbehandlung (Auswahl und Mengen)
    - Keine Behandlung
    - offene Kompostierung, Miete bzw. Nachrotte
    - Rottetrommel, geheizt
    - geschlossene Kompostierung mit Biofilter
    - Entwässerung, Faulschlamm 32% TS (gegebenenfalls auf diesen TS umrechnen und als Frischmasse eingeben)
  - Art und Menge der Gärgutnutzung (Auswahl), Finanzieller Ertrag bzw. Aufwand für das Gärgut (CHF)
  - Einfache Auslieferungsdistanz Anlage zur Gärgut Verwendung (km)

naturemade Star Prüfung: Energieprodukte aus Biogasanlagen				Prüfungen
Eingabe:	Deutsch			
Anlagenname und Referenzzeitraum	Pilotanlage 2008			
Anlagentyp und Fermentergrösse	Landwirtschaft	1'200 m3		WAHR
<b>Inputs für die Anlage</b>				Finanzieller Ertrag (plus) bzw. Aufwand (minus), ohne Transportkosten, für die Anlage
Landwirtschaft, Umrechnung aus Tierbestand auf Extrablatt	22 t FM			
Substrate (Eingabe auf Extra Blatt)	25'348 t FM	121'875 CHF	0 CHF	
Klärschlamm und ähnliche Substrate	239'875 t FM	0 CHF	0 CHF	
Wasserverbrauch	1'000 m3			
Gesamtinputmenge für Anlage	266'245 t FM	121'875 CHF	739'830 tkm	WAHR
<b>Energieeigenverbrauch der Anlage (Systemgrenzen beachten)</b>				
Energieeigenverbrauch der Anlage (Systemgrenzen beachten)	60'000 kWh			
Strombezug aus Netz	60'000 kWh			
Heizölverbrauch	0 kWh			
Zündölverbrauch (10 kWh/kg)	0 kWh			
Dieserverbrauch (10 kWh/Liter)	0 kWh			
Erdgasverbrauch	0 kWh			
<b>Outputs der Anlage</b>				
Gesamtproduktion Biogas, Brutto (6 kWh/m3)	30'000'000 kWh	5'000'000 m3		WAHR
ungewollte Biogas Verluste (Methanschlupf und Unterbrüche)	0 kWh			
Biomethan: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage (12.7 kWh/kg)	12'000'000 kWh			
Biogas verbrannt in Fackel, Heizung, BHKW	18'000'000 kWh			
Art der Verbrennung	Magermotor			
Stickoxide NOx als NO2 aus BHKW	300 mg/Nm3			WAHR
Total Biogasnutzung, Brutto	30'000'000 kWh			WAHR
Gesamtproduktion Strom, Brutto	5'190'106 kWh			
Eigenverbrauch der Anlage aus Bruttostromproduktion	100'000 kWh			
Strom: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage	5'090'106 kWh			WAHR
Einspeisung in einen Wärmeverbund / Verteilverluste Fernwärmenetz	305'100 kWh	10%		WAHR
Nahwärmenutzung: Verkauf, Verbrauch i.d. Nähe der Anlage	0 kWh			WAHR
Total Wärmeverkauf	274'590 kWh			
Gesamtmenge Energieprodukte	17'364'696 kWh	58%		WAHR
Behandlung, Gärgut, fest	Entwässerung, Faulschlamm	279'511 t FM		
Behandlung, Gärgut, flüssig	Geschlossenes Gärgutlager/Nachgärung	0 t FM		
Einfache Distanz Anlage - Ausbringung/Entsorgung			176'940 tkm	
Verwendung feste Gärrückstände	Verbrennung, KVA, 32% TS	8'842 t FM	-353'680 CHF	20 km
Verwendung flüssige Gärrückstände	Kläranlage, Rückführung	270'669 t FM	-1'000 CHF	0 km
		279'511 t FM	-354'680 CHF	WAHR
<b>Resultate:</b>				
Pilotanlage 2008 aturemade Prüfwert				
El'99-aggregated, Hierarchist	1.17E+05	4.28E+05	27%	WAHR
<b>Globales naturemade Star Kriterium erfüllt</b>				WAHR

Fig. 4.7 Kennwertmodell für Biogasanlagen. Blatt „Prüfung“

Ausgangsmaterialien	Eingabe:	Finanzieller Ertrag (plus) bzw. Aufwand (minus), ohne Transportkosten, für die Anlage	Distanz, Anlieferung mit Traktor	Distanz, Anlieferung mit Lkw	Anzahl Tiere	Anteil Stallhaltung
	t/a	CHF/a	km	km	-	%
<b>Landwirtschaft</b>						
Milchkuh	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Mutterkuh (schwer)	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	80%
Jungvieh < 1-jährig	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	90%
Jungvieh 1- 2-jährig	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Stiere und Rinder > 2-jährig	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Mastkalb	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Rindviehmast intensiv 65-520 kg	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Pferde über 3-jährig	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Mutterschafe oder Ziegen	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Zuchtschweine	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Mastschweine / Remonten 25-100 kg	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Zuchteber	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Legehennen	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
Mastpoulet	0.0 t	0 CHF	0 km	0 km	0	100%
<b>Substrate</b>						
Apfeltrester		0 CHF	0 km	20 km		
Backabfälle, Süßwarenabfälle, Teig- und Mehltreue		0 CHF	0 km	25 km		
Baum-, Reben-, Strauchschnitt		0 CHF	0 km	25 km		
Biertreber siliert		0 CHF	0 km	25 km		
Biertreber, Malztreber, Hopfentreber (sowie deren -Keime, -Staub, -Trub und -Schlamm)		0 CHF	0 km	30 km		
Blut, Fettabscheiderrückstände, Fischrückstände, Fleischabfälle		0 CHF	0 km	25 km		
Blutmehl, Tiermehl		0 CHF	0 km	25 km		
Champignonsubstrat, Speiseepilzsubstrat		0 CHF	0 km	25 km		
Enteisungswasser	975 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
Fehl- und Testchargen aus Lebensmittelindustrie (pflanzlich)		0 CHF	0 km	25 km		
Fett aus Fettabscheider	2'598 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
Filterrückstände aus Lebens- und Genussmittelherstellung		0 CHF	0 km	25 km		
Flotatschlämme (Schlachthof)	1'538 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
Früchteabfälle (Orangen, Zitronen, Bananen, Ananas, etc.)		0 CHF	0 km	25 km		
Fruchtwasser, Zuckerwasser		0 CHF	0 km	25 km		
Gärgut aus Nahrungsmittelindustrie		0 CHF	0 km	25 km		
Gartenabraum, Laubgemisch		0 CHF	0 km	25 km		
Gemüse, Rüstabfälle		0 CHF	0 km	30 km		
Glucose, Zuckerwasser, Fruchtsäfte		0 CHF	0 km	25 km		
Glycerin und Glycerin aus Biodieselproduktion	100 t FM	0 CHF	0 km	10 km		
Grassilage		0 CHF	0 km	25 km		
Harn, Häute, Felle, Borsten, Federn, Haare (rein)		0 CHF	0 km	25 km		
Hefe	8'439 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
Heilkräuterrückstand		0 CHF	0 km	100 km		
Kaffeesatz, Abgänge aus Produktion und Zubereitung von Kaffee	5'821 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
Kakaoschalen		0 CHF	0 km	25 km		
Kartoffeln		0 CHF	0 km	25 km		
Käseabfall		0 CHF	0 km	25 km		
Magen-Darminhalt (Schwein)		0 CHF	0 km	25 km		
Mähgut Strassenböschungen, -ränder		0 CHF	0 km	25 km		
Mähgut, (allg., Golfplätze, Naturschutzgebiete, Ried, etc.)		0 CHF	0 km	25 km		
Maissilage		0 CHF	0 km	25 km		
Maisstroh		0 CHF	0 km	25 km		
Masser- und Gehaltsrübe		0 CHF	0 km	25 km		
Material aus Wasch-, Reinigungs-, Schäl-, Zentrifugier- und Abtrennprozessen (pflanzlich)		0 CHF	0 km	25 km		
Melasse		0 CHF	0 km	100 km		
Melassenschlempe		0 CHF	0 km	25 km		
Milch- und Fermentationsserum, Penicililmilch, Magermilch, Sauermolke, Milch	500 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
Mist aus Tierhaltungen (Schlachthöfe, Zirkus, Zoo, Reitställe ausserhalb LZ)		0 CHF	0 km	25 km		
Molke		0 CHF	0 km	25 km		
Müllereiabfälle, Getreideabgang, Ölsaatrückstand		0 CHF	0 km	10 km		
Obst-, Getreide-, Kartoffelschlempen, allg. Rückstände aus Destillierprozess		0 CHF	0 km	1 km		
Zuckerrübe		0 CHF	0 km	25 km		
<b>Klärschlamm und ähnliche Substrate</b>						
Frischklärschlamm, nass	235'453 t FM	0 CHF	0 km	0 km		
Faulschlamm, nass	3'026 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
Faulschlamm, entwässert		0 CHF	0 km	25 km		
Hausklärschlamm	1'396 t FM	0 CHF	0 km	25 km		
<b>Total</b>	<b>265'223 t FM</b>	<b>0 CHF</b>	<b>0 tkm</b>	<b>739'830 tkm</b>		
<a href="#">Zurück zur Prüfung</a>	0.0	0 CHF	Einkauf			
	0.0	0 CHF	Entsorgung			

Fig. 4.8 Kennwertmodell für Biogasanlagen. Auszug Blatt „Substrate“

#### 4.6.4 Lokale Kriterien

Es sollte ein lokales Kriterium festgelegt werden, das die Einhaltung des LRV Grenzwert von 400 mg NO<sub>x</sub> pro Nm<sup>3</sup> Abgas (5% O<sub>2</sub>) bei der Verbrennung von Biogas vorschreibt.

## 4.7 Gasaufbereitung und -verteilung

Die Aufbereitung von Holzgas und Biogas zu Biomethan (96-Vol%) wird auf Basis vonecoinvent Daten bilanziert (Jungbluth et al. 2007). Bilanziert wird in der Datenbank auch die Verteilung bis zur Tankstelle bzw. bis zum Endverbraucher. Die Daten wurden mit dem Ecoindicator 99 ausgewertet (siehe auch Fig. 3.4). Wichtige Einflussgrössen sind demnach der Stromverbrauch für die Aufbereitung und für das Erdgasnetz, der Methanschlupf bei der Aufbereitung und der Stromverbrauch der Tankstelle.

Gemäss Kriterien zu *naturemade star* darf der Methanschlupf nicht grösser als 1% sein.

Es können drei Fälle der Biomethannutzung unterschieden werden:

- Aufbereitung und Direktverkauf für Treibstoffnutzung.
- Aufbereitung, Einspeisung ins Erdgasnetz und Verkauf als Brennstoff mit Direktlieferung an Haushalte oder Industrie.
- Aufbereitung, Einspeisung ins Erdgasnetz und Verkauf als Treibstoff über Tankstellen.

Bei der Verteilung über das Erdgasnetz gibt es verschiedene Möglichkeiten, auf welchem Druckniveau (Hoch, Mittel, Niedrig) der Endverbraucher bzw. die Tankstelle das Gas erhält. Damit ergäben sich 7 unterschiedliche Arten der Gasverteilung. Es wird auf Grund der geringen Relevanz bei der ökologischen Bewertung auf eine detaillierte Unterscheidung verzichtet.

Im Kennwertmodell wird die folgende Kenngrösse zur Aufbereitung abgefragt.

- Menge Biomethan 96% verkauft (kWh).

Die Umweltbelastungen zur Aufbereitung werden mit Standardangaben abgeschätzt.

## 5 Literatur

- arabern 2008 arabern (2008) Technischer Bericht 2007. ara region bern ag, retrieved from: [www.ara-bern.ch](http://www.ara-bern.ch).
- Bartha-Pichler 2008 Bartha-Pichler B. (2008) Komposteinsatz lohnt sich - Kompost steigt im Wert. In: *compost magazine*, **2008**(1), pp. 8-9, retrieved from: [www.kompost.ch](http://www.kompost.ch).
- Bauer 2007 Bauer C. (2007) Holzenergie. In: *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz*, Vol. ecoinvent report No. 6-IX, v2.0 (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Dinkel et al. 2009 Dinkel F., Schleiss K. and Zschokke M. (2009) Ökobilanz zur Grün-gutverwertung in Basel. Carbotech, Basel.
- DK LCA Center 2007 DK LCA Center (2007) EDIP factors. Download of an electronic version (XLS format) of the most recent and updated version of precalculated characterisation factors for the EDIP LCA methodology, retrieved from: <http://www.lca-center.dk/cms/site.asp?p=1378>.
- ecoinvent Centre 2009 ecoinvent Centre (2009) ecoinvent data v2.1, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- ecoinvent Centre 2010 ecoinvent Centre (2010) ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Edelmann et al. 2001 Edelmann W., Schleiss K., Engeli H. and Baier U. (2001) Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas - Schlussbericht November 2001. 210146. Arbi Bioenergie GmbH, Baar, retrieved from: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch).
- Edelmann 2006 Edelmann W. (2006) Kennwertmodell Biogas mit Cosubstrat. Arbi Bioenergie GmbH, Baar.
- Frischknecht 1999a Frischknecht R. (1999a) Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel: Ökobilanzen für Wärmepumpen und Kälteanlagen. 9933303. ESU-services, Uster, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE), Bern, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=energy&L=0>.
- Frischknecht 1999b Frischknecht R. (1999b) Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel: Ökobilanzen für Wärmepumpen und Kälteanlagen - Anhang. 9933303. ESU-services, Uster, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE), Bern, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=energy&L=0>.

- Frischknecht & Jungbluth 2000 Frischknecht R. and Jungbluth N. (2000) Globale Umweltkriterien für Ökostrom. ESU-services im Auftrag des Vereins für umweltgerechte Elektrizität, Zürich, Uster, retrieved from: [http://www.naturemade.org/Deutsch/Download/downloads\\_d\\_oekobilanz.htm](http://www.naturemade.org/Deutsch/Download/downloads_d_oekobilanz.htm).
- Frischknecht & Jungbluth 2001 Frischknecht R. and Jungbluth N. (2001) Ökobilanz von Strom aus Biogas von Kläranlagen: Festlegung der Systemgrenze für die Zertifizierung von Ökostrom gemäss naturemade star. ESU-services im Auftrag von eam, Energie & Umwelt, Zürich, Uster.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de>.
- Fuchs 2006 Fuchs J. G. (2006) Auswirkungen von Komposten und von Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit, sowie die Pflanzengesundheit: Zusatzmodul: Ökologische Bewertung der organischen Substanz. FIBL.
- Goedkoop & Spriensma 2000 Goedkoop M. and Spriensma R. (2000) 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/](http://www.pre.nl/eco-indicator99/).
- Goedkoop et al. 2009 Goedkoop M., Heijungs R., Huijbregts M. A. J., De Schryver A., Struijs J. and van Zelm R. (2009) ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation, NL, retrieved from: <http://icia-recipe.net/>.
- Jungbluth & Frischknecht 2001 Jungbluth N. and Frischknecht R. (2001) Ökobilanz des R718 Aqua Turbo Kaltwassersatzes: Ergänzung der Studie "Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel". ESU-services, Uster, retrieved from: [www.esu-services.ch](http://www.esu-services.ch).
- Jungbluth et al. 2002 Jungbluth N., Frischknecht R. and Faist M. (2002) Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. 81427. ESU-services für Bundesamt für Energie, Uster, retrieved from: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch).
- Jungbluth 2007 Jungbluth N. (2007) Ökobilanz und Kennwertmodell für Strom aus Holzgas-WKK mit Pyroforce Festbett-Gleichstrom-Vergaser mit trockener Gasreinigung. ESU-services im Auftrag von Pyroforce Energietechnologie AG und VUE naturemade, Uster, retrieved from: [http://www.naturemade.org/Deutsch/Download/downloads\\_d\\_oekobilanz.htm](http://www.naturemade.org/Deutsch/Download/downloads_d_oekobilanz.htm).

- Jungbluth et al. 2007 Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Schleiss K., Spielmann M., Stettler C. and Sutter J. (2007) Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, v2.0. ESU-services, Uster, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Jungbluth et al. 2008 Jungbluth N., Büsser S., Frischknecht R. and Tuchschnid M. (2008) Ökobilanz von Energieprodukten: Life Cycle Assessment of biomass-to-liquid fuels. 280006. ESU-services Ltd. im Auftrag des Bundesamt für Energie, Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Landwirtschaft, Berne, CH, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/btl>.
- Langevin et al. 2008 Langevin B., Bellon-Maurel V. and Froelich D. (2008) Implications of field and climate variability in the life cycle assessment of slurry application techniques: a scoping study. *In proceedings from: 6th Int. Conference on LCA in the Agri-Food Sector*, agroscope, Zürich, CH, retrieved from: [www.lcafood08.ch](http://www.lcafood08.ch).
- LRV 2009 LRV (2009) Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV): (Stand am 1.1.2009). 814.318.142.1. Schweizerischer Bundesrat, retrieved from: [www.admin.ch/ch/d/sr/c814\\_318\\_142\\_1.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html).
- Margni et al. 2003 Margni M., Humbert S., Payet J., Pennington D. W., Rebitzer G., Rosenbaum R. and Jolliet O. (2003) IMPACT 2002+: A Life Cycle Impact Assessment Methodology. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Lausanne, CH, retrieved from: <http://www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/impact2002+.htm>.
- Nemecek et al. 2007 Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux. D. and Zimmermann A. (2007) Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. ecoinvent report No. 15, v2.0. Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- PRé Consultants 2010 PRé Consultants (2010) SimaPro 7.2.3, Amersfoort, NL, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/simapro/>.
- Ronchetti et al. 2002 Ronchetti C., Bienz P. and Pridal R. (2002) Ökobilanz Klärgasverstromung. Bundesamt für Energie (BFE), Gruppe Energie in ARA, Bern, retrieved from: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch).
- Schleiss 1999 Schleiss K. (1999) Grüngutbewirtschaftung im Kanton Zürich aus betriebswirtschaftlicher und ökologischer Sicht: Situationsanalyse, Szenarioanalyse, ökonomische und ökologische Bewertung sowie Synthese mit MAUT. Dissertation ETH Nr. 13476. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Switzerland.
- Schleiss & Edelmann 2000 Schleiss K. and Edelmann W. (2000) Stromproduktion aus der Feststoff-Vergärung. Bundesamt für Energie und Biogasforum Schweiz, ENET, Baar, retrieved from: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch).
- Schleiss & Jungbluth 2005 Schleiss K. and Jungbluth N. (2005) Ökobilanz zu Varianten der Grüngutentsorgung in der Stadt Zürich. Umwelt- und Kompostberatung and ESU-services im Auftrag von Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ), Grenchen.

- Schleiss & Fuchs 2008 Schleiss K. and Fuchs J. (2008) Wert von Kompost und Gärgut. Umwelt- und Kompostberatung, Biophyt AG, Grenchen.
- Solomon et al. 2007 Solomon S., Qin D., Manning M., Alley R. B., Berntsen T., Bindoff N. L., Chen Z., Chidthaisong A., Gregory J. M., Hegerl G. C., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B. J., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., Overpeck J., Raga G., Ramaswamy V., Ren J., Rusticucci M., Somerville R., Stocker T. F., Whetton P., Wood R. A. and Wratt D. (2007) Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Steen 1999 Steen B. (1999) A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS): Version 2000 – General system characteristics. 1999:4. Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems (CPM), Chalmers University of Technology, Gotheburg, Sweden, retrieved from: <http://www.cpm.chalmers.se/html/publication.html>.
- TrÖbiV 2008 TrÖbiV (2008) Verordnung des UVEK über den Nachweis der positiven ökologischen Gesamtbilanz von Treibstoff aus erneuerbaren Rohstoffen. In: *Eidg. Department für Umwelt, Verkehr, Energie uund Kommunikation (UVEK)*, Switzerland, retrieved from: <http://www.uvek.admin.ch/dokumentation/00474/00492/index.html?lang=de&msg-id=19469>.
- Zah et al. 2007 Zah R., Böni H., Gauch M., Hischier R., Lehmann M. and Wäger P. (2007) Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. 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>.