



# Handbuch für die naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums

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

Auftragnehmer  
**ESU-services GmbH**  
Niels Jungbluth  
Vorstadt 14, CH-8200 Schaffhausen

<b>Impressum</b>	
<b>Zitiervorschlag</b>	Jungbluth N. (2021) Handbuch für die naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums. ESU-services im Auftrag vom Verein für umweltgerechte Energie (VUE), Schaffhausen, <a href="http://www.esu-services.ch/projects/naturemade/">www.esu-services.ch/projects/naturemade/</a>
<b>Auftraggeber</b>	Verein für umweltgerechte Energie (VUE), <a href="http://www.naturemade.org">www.naturemade.org</a> , Projektleitung: Valentin Graf (ab 2018) Daniel Streit (2015-18) Maren Kornmann (2012-15)
<b>Begleitgruppe 2010</b>	naturemade Geschäftsstelle: Maren Kornmann, Yvonne Bopp, Cornelia Brandes, Charlotte Spöndli, Regina Bulgheroni AG Biogas: Beat Ammann, ARA Bern (Kläranlagen) Stefan Mutzner, Ökostrom Schweiz (landwirtschaftliche Anlagen) Daniel Würzler, Kompogas (Grüngutanlagen) Reto Steiner, Ernst Basler + Partner (VUE Experte) AG Biomethan Michael Reichert, Marc Zysset, Erdgas Zürich AG Holzenergie: Georg Meier, EKZ René Nijssen, 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
<b>Autor</b>	Niels Jungbluth ESU-services GmbH, Vorstadt 14, CH-8200 Schaffhausen Tel. 044 940 61 32, <a href="mailto:jungbluth@esu-services.ch">jungbluth@esu-services.ch</a> , <a href="http://www.esu-services.ch">www.esu-services.ch</a>
<b>Ko-Autoren 2012</b>	Karin Flury
<b>Ko-Autoren 2010</b>	Rolf Frischknecht, Amélie Orthlieb, Sybille Büsser, Marianne Leuenberger
<b>Über uns</b>	ESU-services GmbH wurde im Jahre 1998 gegründet. Die Hauptaktivitäten der Firma sind Beratung, Forschung, Review und Ausbildung im Bereich Ökobilanzen. Fairness, Unabhängigkeit und Transparenz sind wesentliche Merkmale unserer Beratungsphilosophie. Wir arbeiten sachbezogen und führen unsere Analysen unvoreingenommen durch. Wir dokumentieren unsere Studien und Arbeiten transparent und nachvollziehbar. Wir bieten eine faire und kompetente Beratung an, die es den Auftraggebern ermöglicht, ihre Umweltperformance zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern. Zu unseren Kunden zählen verschiedene nationale und internationale Firmen, Verbände und Verwaltungen. In einigen Bereichen wie Entwicklung und Betrieb webbasierter Ökobilanz-Datenbanken oder Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln und Konsummustern hat unser Team Pionierarbeit geleistet.
<b>Haftungsausschluss</b>	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.
<b>Version</b>	11.02.21 15:14 <a href="https://esuserVICES-my.sharepoint.com/personal/jungbluth_esuserVICES_onmicrosoft_com/Documents/ESU-intern/208_naturemade/Bericht/jungbluth-2021-Handbuch-naturemade-KWM-20210211.docx">https://esuserVICES-my.sharepoint.com/personal/jungbluth_esuserVICES_onmicrosoft_com/Documents/ESU-intern/208_naturemade/Bericht/jungbluth-2021-Handbuch-naturemade-KWM-20210211.docx</a>

# Inhalt

<b>INHALT</b>	<b>II</b>
<b>GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN</b>	<b>III</b>
<b>1 EINFÜHRUNG UND ÜBERSICHT</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Kennwertmodelle	2
1.3 Zertifizierte Energieprodukte und Nebenprodukte	2
1.4 Zusammenhang der verschiedenen Produkte und Systeme	3
1.5 Querschnittsaufgaben	4
1.6 Vorgehen	5
<b>2 QUERSCHNITTAUFGABEN</b>	<b>5</b>
2.1 Bewertungsmethode für das globale Kriterium	5
2.2 Umweltdeklaration für Energieprodukte	6
2.2.1 Eingaben	6
2.2.2 Berechnung und Allokation	6
2.2.3 Umwelt-Indikatoren	7
2.2.4 Beispiel einer Umweltdeklaration im Kennwertmodell	7
2.2.5 Standardwerte konventioneller Systeme	8
2.2.6 Kompensationsberechnung und CO <sub>2</sub> -Zertifikate	9
<b>3 REFERENZSYSTEME UND GRENZWERTE</b>	<b>9</b>
3.1 naturemade Energieprodukte	9
3.1.1 Strom	10
3.1.2 Wärme	10
3.1.3 Biomethan und Biogas	12
3.1.4 Kälte	13
3.2 Nicht-energetische Nebenprodukte	15
3.2.1 Kläranlage	15
3.2.2 Verarbeitung von Co-Substraten: Entsorgung und Kompost	17
3.2.3 Verarbeitung von eingekauften Co-Substraten	23
3.2.4 Verarbeitung von Co-Substraten: Entsorgung von Schlachtabfällen Kategorie 1	24
3.2.5 Verarbeitung von Co-Substraten: Holzschnitzel als Brennstoff	25
3.2.6 Vergärung in der Landwirtschaft: Lagerung von Hofdünger	25
3.2.7 Referenz für einige direkte Emissionen der Biogasanlage	26
3.2.8 Vorreinigung von Industrieabwässern	29
3.2.9 Entsorgung von Altholz	29
3.2.10 Trockenfermenter und Düngerpellets	29
3.3 Zusammenfassung der Grenz- und Referenzwerte	29
3.4 Prüfung des globalen Kriteriums	30
<b>4 BESCHREIBUNG DER KENNWERTMODELLE</b>	<b>32</b>
4.1 Einführung	32
4.2 Bedienung	32
4.3 Allgemeine Systemgrenzen für das Kennwertmodell	33
4.4 Datengrundlagen und Berechnung	33
4.5 Holzenergieanlagen	36
4.5.1 Auswertungen	36
4.5.2 Systemgrenzen	38

4.5.3	Kenngrossen	39
4.5.4	Lokale Kriterien	42
4.6	Biogasanlagen	42
4.6.1	Auswertungen	42
4.6.2	Systemgrenzen	46
4.6.3	Regionalisierung des Kennwertmodells	50
4.6.4	Anpassung für Glycerin	53
4.6.5	Prüfung für Biogas	57
4.6.6	Kenngrossen	58
4.6.7	Annahmen zu Sachbilanzen	61
4.7	Gasaufbereitung und -verteilung	61
4.8	Fernwärme- und -kältenetz (Wärme bzw. Kälteverbund)	62
<b>5</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>63</b>
<b>A.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>68</b>
A.1	Kennwertmodell Biomethan-Nutzung	68
A.1.1	Systemgrenzen	68
A.1.2	Kenngrossen	69
A.1.3	Lokale Kriterien	70
<b>B.</b>	<b>TO DOS</b>	<b>70</b>

## Glossar und Abkürzungen

Abfall	Material, das gegen Entgelt einem Verarbeiter abgegeben wird.
BG	Biogas
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 mit der durchschnittlichen Gewichtung genutzt. Langzeitemissionen werden in der Bewertung nicht berücksichtigt.
ecoinvent	Datenbank für die Erstellung von Ökobilanzen (ecoinvent Centre 2010).
Energieprodukt	Als naturemade Energieprodukte werden Strom, Wärme, Kälte, Biogas 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.
GuD	Gas- und Dampf Kraftwerk
Globales Kriterium	Prüfung des Einhaltens des Prüfwertes (Summe Grenz- und Referenzwerte) für die Anlage in einem Kennwertmodell mit einer vereinfachten Ökobilanz.

Ho	Oberer Heizwert bzw. Brennwert. Für Eingaben im Kennwertmodell wird dieser Wert für Brennstoffe und Energieprodukte verwendet.
Hu	Unterer Heizwert. Für Brennstoffe wird in der Regel dieser Wert für Umrechnungen in Ökobilanzen zu Grunde gelegt. Dazu wird im Kennwertmodell der Ho durch den entsprechenden Faktor geteilt, um den Hu zu bestimmen.
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
KVA	Kehrrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunden. Standardeinheit für energetische Inputs und Outputs. Bei Brenn- und Treibstoffen wird der obere Heizwert (Ho) 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.
ORC	Organic Ranking Cycle
Produkt	Energieprodukt oder Nebenprodukt der Anlage
Prüfwert	Summe der Grenz- und Referenzwerte multipliziert mit den Produktionsmengen einer Anlage.
Referenzsystem	Das Referenzsystem für ein Energieprodukt beschreibt ein konventionelles Energiesystem auf Basis nicht-erneuerbarer Energieträger (Erdgas) zur Bereitstellung eines Energieproduktes.  Das Referenzsystem für nicht-energetische Nebenprodukte beschreibt den aktuellen Stand der Technik für eine alternative Bereitstellung dieser Nebenprodukte ohne gleichzeitige Erzeugung des Energieproduktes.
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 Holzschnitzenmenge.
tA	Aussentemperatur
VUE	Verein für umweltgerechte Energie

# 1 Einführung und Übersicht

## 1.1 Ausgangslage

Im Jahr 2000 wurden erstmals Kriterien für die Prüfung von erneuerbarer Stromerzeugung für die Zertifizierung mit dem naturemade star Label erarbeitet. Hierzu wurden auf Basis von detaillierten Ökobilanzen sogenannte Kennwertmodelle in Excel erstellt, die eine einfache, anlagenspezifische Berechnung der Umweltbelastungen ermöglichen. Für die Verwendung des naturemade star Labels darf dabei ein Höchstwert von Umweltbelastungen nicht überschritten werden (Frischknecht & Jungbluth 2000; Naturemade 2000).

In den folgenden Jahren gab es verschiedene Studien zur Erweiterung der Zertifizierung auf zusätzliche Energiesysteme (Frischknecht & Jungbluth 2001; Jungbluth et al. 2002; Jungbluth 2007; Ronchetti et al. 2002).

Der Verein für umweltgerechte Energie (VUE) hat im Jahr 2010 die Einführung der Zertifizierung von Wärme, Kälte und Biomethan aus erneuerbaren Energien beschlossen. Im Zusammenhang mit dieser Erweiterung der zu zertifizierenden Energieprodukte wurden die bestehenden Kennwertmodelle aktualisiert beziehungsweise überarbeitet und erweitert. Ausserdem kann mit dem Modell eine einfache Umweltdeklaration, für die im Kennwertmodell eingegebene Anlage und deren Produkte erstellt werden.

Ein Zwischenbericht zu diesem Projekt wurde Mitte 2010 publiziert (Jungbluth et al. 2010a). In diesem Bericht wird ein Zwischenstand des Projektes nach Fertigstellung der Modelle für Biogas und Holzenergie vorgestellt.

Nach der Fertigstellung des ersten Zwischenberichtes gab es einige Änderungen und Ergänzungen an den Kennwertmodellen, die in einem überarbeiteten Bericht dokumentiert wurden (Jungbluth & Flury 2013).

Die Bewertungsmethode Eco-indicator 99 wurde von den Autoren dieser Methode überarbeitet. Geändert haben sich die Normalisierung und Gewichtung verschiedener Arten von Umweltbelastungen. Diese Änderungen wurden mit einem Update der für die Berechnung genutzten SimaPro Software übernommen. Dadurch erhöhen sich die Punktwerte für praktisch alle Energiesysteme. Somit war es auch nötig Prüf- und Grenzwerte entsprechend anzupassen.

Aufdatiert wurden auch die Grundlagendaten der ecoinvent Datenbank. Ab 2013 wurde die ecoinvent Version v2.2 verwendet (ecoinvent Centre 2010). Seit der letzten Aufdatierung von ecoinvent gab es zudem weitere Aktualisierungen verschiedener Grundlagendaten. Diese werden auf einer vom Bundesamt für Umwelt geförderten Webseite zur Verfügung gestellt (ESU-services 2021b). Auch diese Änderungen wurden für diesen Bericht und die Aufdatierung der Kennwertmodelle im Jahr 2013 berücksichtigt.

Seit der Veröffentlichung des Berichtes im Jahr 2013 (Jungbluth & Flury 2013) wurden viele kleine Korrekturen, Verbesserungen und Erweiterungen am Kennwertmodell für Biogasanlagen durchgeführt. Neu erhoben wurden dabei die Infrastrukturdaten für Biogasanlagen. Die Berechnungen hierfür erfolgen jetzt mit der ESU Datenbank 2018 (ESU 2019). Für das Update dieses Berichtes im Jahr 2018 wurden diese Änderungen dokumentiert. Der Schwerpunkt der Überarbeitung lag auf folgenden Punkten:

- Die Beschreibung des Kennwertmodells für Biogas wurde so angepasst, dass sie der Version 12.0 aus dem Jahr 2018 entspricht.

- Vereinfachung des Berichtes und löschen von Textteilen, in denen ein Vergleich zu den Modellen vor 2010 gemacht wird.
- Aktualisierung von Grafiken und Tabellen, die Resultate für Umweltbelastungen enthalten, soweit sie für das Kennwertmodell Biogas verwendet werden.
- Durchsicht des ganzen Berichtes auf Verständlichkeit.

Im vorliegenden Bericht wird eine Übersicht zu den aktuellen Kennwertmodellen 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.

Die Systeme für Wasser, Wind und Photovoltaik werden weiterhin mit den Kennwertmodellen aus dem Jahr 2003 bzw. 2010 geprüft (Frischknecht & Jungbluth 2000; Jungbluth et al. 2010b). Das Kennwertmodell für Holzenergie wurde letztmals im Jahr 2013 angepasst (Jungbluth & Flury 2013).

Tab. 1.1 Kennwertmodelle, zertifizierte Produkte und Energieträger zur Zertifizierung. Grau unterlegt sind die Teile, die für den Bericht im Jahr 2021 in erster Linie bearbeitet wurden

Anlagentyp / Kennwertmodell	Energieträger	Zertifizierte Produkte	Status 2018
Holzenergie	Restholz Altholz Stückholz Holzschnitzel Holzpellets	Strom Wärme Fernwärme Biomethan	Stand 2013
Biogasanlage (Landwirtschaft, Grüngut, Kläranlage)	Gülle Biogene Abfälle nachwachsende Rohstoffe Klärschlamm Industrieabwasser	Strom Wärme Fernwärme Biomethan	Aufdatiert 2021
Biomethannutzung	Biomethan aus erneuerbarer Energie	Strom Wärme Kälte	KWM in Modell Biogas integriert seit 2013 aber wg. mangelnder Nachfrage ausgeblendet
Sonnenkollektoren	Sonnenenergie	Wärme	Kein KWM vorhanden
Wärmepumpe	Umweltwärme und Strom aus erneuerbaren Energien	Wärme Fernwärme	KWM erstellt aber noch nicht abgenommen
Kompressionskältemaschine	Strom aus erneuerbaren Energien	Kälte Fernkälte	KWM noch nicht erarbeitet
Ad-/Absorptionskältemaschinen	Wärme aus erneuerbaren Energien	Kälte	Kein KWM vorhanden
Wasserkraft	potenzielle Energie	Strom	Stand 2003
Windkraft	kinetische Energie	Strom	Stand 2003
Photovoltaik	Sonnenenergie	Strom	Datenstand 2000

## 1.3 Zertifizierte Energieprodukte und Nebenprodukte

Für die Zertifizierung einer Energieanlage ist es notwendig, hinsichtlich der verschiedenen Energieprodukte Strom, Wärme (inkl. Fernwärme), Kälte (inklusive Fernkälte), Biogas und Biomethan 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 im Modell dann 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)<sup>1</sup>
- Prüfung, Biogas
- Prüfung, Biomethan (96 Vol.-% Methan)

Für jedes dieser Energieprodukte wird in diesem Bericht ein Referenzsystem und der naturemade 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. Für diese Produkte wird ein Referenzsystem und -wert 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
  - Schlachtabfälle
- Produktion von Kompost
- Lagerung von Hofdünger
- Produktion von anderen Brennstoffen
- Direkte Emissionen aus der Gärrestbehandlung

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>2</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.

## 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.

<sup>1</sup> KWM wurde noch nicht erstellt.

<sup>2</sup> Andernfalls wäre es möglich, ein Energieprodukt mittels einer Quersubvention durch die anderen Energieprodukte zu zertifizieren.

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

In einem zweiten System kann eine weitere Umwandlung erfolgen, z.B.:

- Biomethan/Biogas in Strom und Wärme
- Strom zu Wärme oder Kälte
- Wärme in Kälte.<sup>3</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.

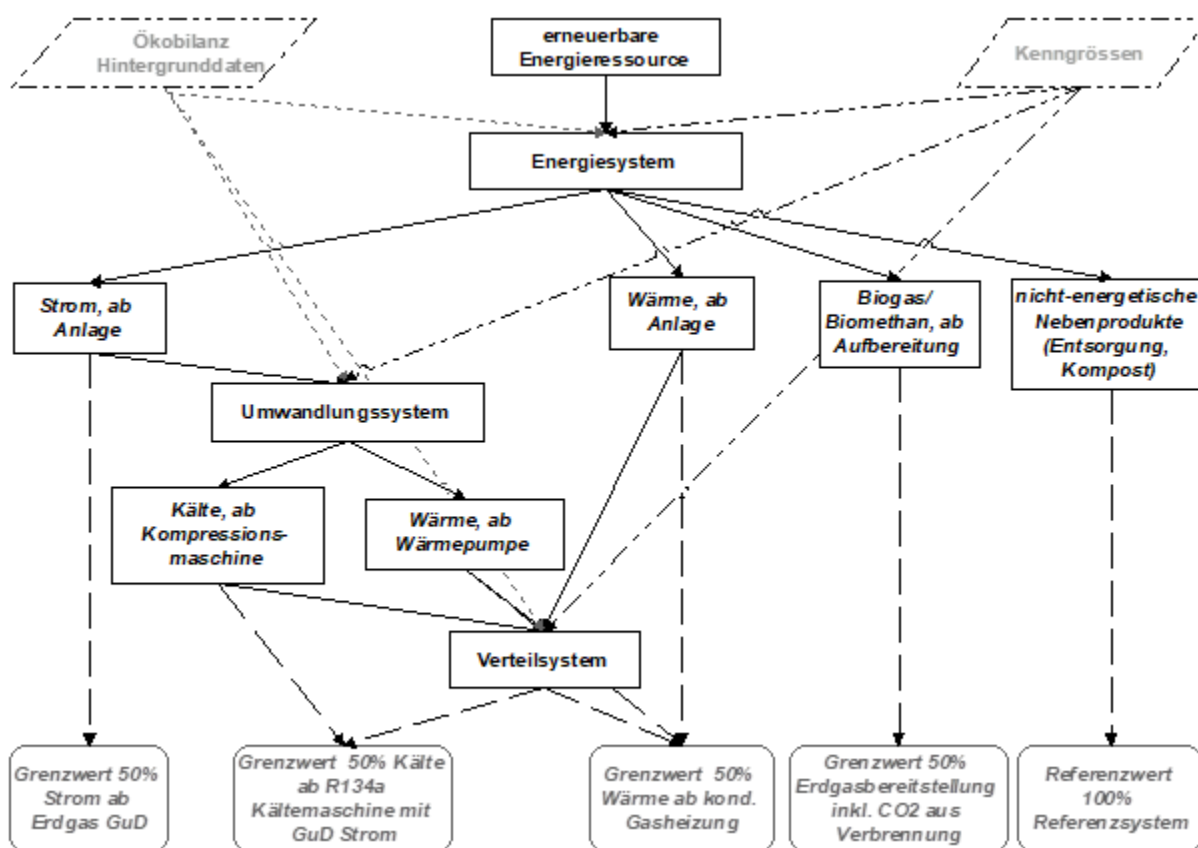


Fig. 1.1 Übersicht zum Vorgehen bei der Unterscheidung von Energiesystemen, Umwandlung und Verteilung. Zuordnung des Referenzsystems sowie der Grenz- und Referenzwerte zu den verschiedenen Produkten. Abfrage von Kenngrößen in der Modellierung.

## 1.5 Querschnittsaufgaben

Neben der Erstellung der einzelnen Kennwertmodelle sind auch noch Querschnittsaufgaben für alle Modelle notwendig. In der Überprüfung des globalen Kriteriums wurde abgeklärt, ob

<sup>3</sup> Noch nicht betrachtet.

zukünftig eine andere Bewertungsmethode und ein anderer Grenzwert verwendet werden kann (Kapitel 2.1).

Mittels der Kennwertmodelle kann auch eine einfache Umweltdeklaration für die Anlagen erstellt werden. Dafür werden in einem gesonderten Blatt die Umweltbelastungen für den Energiebedarf, Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte 2013 und Eco-indicator 99 (H,A) für die Gesamtanlage und pro Produkteinheit berechnet. Die Methodik hierfür wird im Kapitel 2.2 erläutert.

Für 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.

## 1.6 Vorgehen

Mit dem Ziel auch Biomethan sowie Wärme und Kälte<sup>4</sup> zu zertifizieren, wurden die bestehenden Kennwertmodelle dahingehend erweitert, dass Strom, Wärme, Biogas und Biomethan in einem einzigen Kennwertmodell zertifiziert werden können. Dadurch vermindert sich der Aufwand nicht nur bezüglich Unterhaltes 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.

# 2 Querschnittsaufgaben

## 2.1 Bewertungsmethode für das globale Kriterium

Für dieses Projekt wurde zuletzt im Jahr 2008 abgeklärt, 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 Pestizideinsatz 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)<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Noch nicht implementiert.

<sup>5</sup> Status März 2009. Die Emissionen von CO<sub>2</sub> und der Verbrauch fossiler Energie dominieren die Resultate in den meisten Fällen.

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 (Environmental Product Declaration – EPD) für die Anlagen erstellt. Dafür sollen in einem gesonderten Blatt die Umweltbelastungen wie z.B. Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte 2013, 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 weiterwachsen.

### 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 (Hischier et al. 2010) 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, grosse Veränderungen im Ergebnis durch Marktverschiebungen 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 wenn sehr unterschiedliche Produkte aus einem Prozess entstehen (Hischier et al. 2010).

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, also der Umweltbelastung 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 anhand dieser Prozentanteile auf die verschiedenen Produkte umgerechnet und als Wert pro Produkteinheit angegeben.

Das Vorgehen für Allokation bei der Umweltdeklaration unterscheidet sich somit vom Vorgehen in der ecoinvent Datenbank und die Ergebnisse sind damit nicht direkt vergleichbar. Im KWM Biogas wird zusätzlich auch die Ergebnisse bei einer Allokation gemäss der ecoinvent Kriterien ausgewiesen.

Im Kennwertmodell für Biogas wird bei der Umweltdeklaration auch die Allokation gemäss Exergie ausgewiesen. Diese Werte können verwendet werden, wenn Vergleiche mit anderen Daten aus der ecoinvent Datenbank durchgeführt werden sollen. Damit wird ein Vergleich mit den ecoinvent Daten zu Biogas und anderen Wärme-Kraft-Kopplungssystemen ermöglicht.

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	0.0160	100'000	1'597	11%	5'724	5.72E-02
	Wärme	kWh	0.0089	500'000	4'451	32%	15'956	3.19E-02
	Fernwärme	kWh	0.0089	10'000	89	1%	319	3.19E-02
	Kälte	kWh	JAZ abhängig			0%	-	-
	Fernkälte	kWh	JAZ abhängig			0%	-	-
	Biomethan	kWh	0.0078	1'000'000	7'768	56%	27'846	2.78E-02
Nebenprodukte	Frischklärschlamm Entsorgung	m <sup>3</sup>	-					
	Entsorgung Co-Substrat	CHF	0.0432	1'000	43	0.3%	155	1.55E-01
	Gärgut, fest	kg	0.0012	-	-	0%	-	-
	Gärgut, flüssig	kg	0.0003					
	Lagerung Hofdünger	m <sup>3</sup>	0.0034					
	Klärschlammbehandlung, Schlachtabfälle Kategorie 1	kg	0.0073					
Total			-	-	13'948	100%	50'000	

### 2.2.3 Umwelt-Indikatoren

Als Indikatoren werden folgende Grössen für die Umweltdeklaration berechnet:

- Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-eq), (Faktoren 2013, IPCC 2013)
- nicht-erneuerbarer Energiebedarf (fossil, nuklear) (MJ-eq), (Frischknecht et al. 2007)
- Umweltbelastungspunkte 2006, (Frischknecht et al. 2008) bzw. Version 2013 (Frischknecht et al. 2013) für das Kennwertmodell Biogas
- Eco-indicator 99 (H,A), (Goedkoop & Spriensma 2000), Langzeit-Emissionen werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt.

In der ecoinvent Datenbank (ecoinvent Centre 2010) 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 (ecoinvent Centre 2010) Daten teilweise auf die Einheit MJ umgerechnet werden.

### 2.2.4 Beispiel einer Umweltdeklaration im Kennwertmodell

Tab. 2.2 zeigt ein Beispiel für die Umweltdeklaration. Im rötlichen Teil oben rechts 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 Handbuch für die naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums  
ESU-services GmbH

bilanzierte Umweltbelastung beträgt (hier 93%). Im unteren rechten Teil (grün) wird die Umweltdeklaration mit den Belastungen der Energieprodukte pro kWh gezeigt.

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. Gezeigt wird sowohl die Allokation gemäss naturemade Prüfwerten als auch die Allokation nach Exergie Gehalt welche kompatibel ist mit Ergebnissen der ecoinvent Datenbank.

Anlagenname	EI99-aggregated, Hierarchist Pkt	Anteil	Bedarf			
			EI99-aggregated, Hierarchist Pkt	Treibhauseffekt 100a 2013 kg CO2-eq	Bedarf nichterneuerbarer energetischer Ressourcen MJ-eq	Umweltbelastungspunkte 2013 Pkt
Infrastruktur		26%	449	4011	49745	8'083'953
Fremdenergiebedarf		0%	0	1	67	2'313
eingekaufte Substrate		0%	-	-	-	-
direkte Emissionen (z.B. Güllelager, Nachrotte)		54%	937	66'441	-	48'024'952
Transporte		20%	344	2'503	41'981	4'179'722
Biogas Verluste (Methanschlupf, Aufbereitung, Unterbrüche)		0%	1	199	-	85'993
Biomethan: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage (10 kWh/m3)		0%	-	-	-	-
Biogas: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage (5.7 kWh/m3)		0%	-	-	-	-
Verbrennung		0%	7	143	1'122	148'853
Gärgut Behandlung und Lagerung		0%	-	-	-	-
<b>Total</b>		<b>100%</b>	<b>1'738</b>	<b>73'298</b>	<b>92'915</b>	<b>60'525'785</b>

naturemade Prüfwert	Total a			Anlagenname	Umweltdeklaration Pkt
Grenzwert Strom	0 kWh	-	0%	Strom, kWh	-
Grenzwert Wärme	5700 kWh	51	3%	Wärme, kWh	0.0083
Grenzwert Biomethan	0 kWh	-	0%	Biomethan, kWh	-
Grenzwert Biogas	0 kWh	-	0%	Biogas, kWh	-
Referenz, Entsorgung	Fr. 0.00	-	0%		
Referenz, Güllelager	0 t FM	1	0%		
Referenz, Kompost	1'400 t FM	1'636	88%		
Referenz, Frischklärschlamm	0 t FM	-	0%		
Referenz, Brennstoff, Zementwerk	1'400 t FM	-	0%		
Referenz, direkte Emissionen		173	9%		
<b>Total</b>		<b>1'862</b>	<b>100%</b>	<b>Globales naturemade Star Kriterium erfüllt</b>	<b>93%</b>

Allokation nach Exergy-Gehalt (ecoinvent)	Total a	kWh		Anlagenname	Allokation nach Exergy-Gehalt (ecoinvent) Pkt
Grenzwert Strom	0 kWh	-	0.0%	Strom, kWh	-
Grenzwert Wärme	5700 kWh	969	100.0%	Wärme, kWh	0.3048
Grenzwert Biomethan	0 kWh	-	0.0%	Biomethan, kWh	-
Grenzwert Biogas	0 kWh	-	0.0%	Biogas, kWh	-
Referenz, Entsorgung	Fr. 0.00	-	0%		
Referenz, Güllelager		-	0%		
Referenz, Kompost	Fr. 0.00	-	0%		
Referenz, Frischklärschlamm		-	0%		
Referenz, Brennstoff, Zementwerk		-	0%		
Referenz, direkte Emissionen		-	0%		
<b>Total</b>	Fr. 0.00	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>Total</b>	<b>1'730</b>

	Pkt	kg CO2-eq	MJ-eq	Pkt
Total	1'730	73'155	91'793	60'376'932
Kontrolle	-	-	-	-
	1'738	73'298	92'915	60'525'785
	-	-	-	-
	-	-	-	-
Total, Kontrolle	1'738	73'298	92'915	60'525'785

## 2.2.5 Standardwerte konventioneller Systeme

Ein Vergleich der Umweltbelastungen aus der Umweltdeklaration mit den in der ecoinvent Datenbank (ecoinvent Centre 2010) 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 (ecoinvent Centre 2010) 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 (Erdgas) (ESU 2019). IPCC 2013 (= Klimaänderungspotential)

		Unit	IPCC 2013	cumulative energy demand	Ecological Scarcity 2013	Eco-indicator 99 (H/A)
			GWP 100a	non-renewable	total	total
		kg CO <sub>2</sub> -eq	MJ-eq	UBP		points
Strommix	CH	kWh	0.09	6.0	285	0.005
Strommix, Produktion	CH	kWh	0.02	5.5	177	0.002
Strom, ab Kernkraftwerk	CH	kWh	0.01	13.0	380	0.002
Strom, ab Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk, beste Technologie	RER	kWh	0.43	7.4	259	0.032
Nutzwärme, Heizöl S, ab Industrieheizung 1MW	CH	kWh	0.37	5.0	315	0.028
Nutzwärme, Heizöl EL, ab Heizkessel 100kW Brennwert, nicht-modulierend	CH	kWh	0.33	4.6	259	0.022
Nutzwärme, Heizöl EL, ab Heizkessel 100kW, nicht-modulierend	CH	kWh	0.33	4.9	259	0.022
heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW	CH	kWh	0.37	5.0	315	0.028
Nutzwärme, Erdgas, ab Heizkessel kond. mod. >100kW	RER	kWh	0.25	4.2	150	0.018
Nutzwärme, Erdgas, ab Heizkessel mod. >100kW	RER	kWh	0.27	4.5	160	0.019
Nutzwärme, Erdgas, ab Industrieheizung >100kW	RER	kWh	0.27	4.5	161	0.019
Nutzwärme, Erdgas, ab Industrieheizung, LowNOx>100kW	RER	kWh	0.29	4.9	178	0.021
Erdgas, Hochdruck, an Abnehmer	CH	kWh	0.04	4.3	50	0.016
Erdgas, Niederdruck, an Abnehmer	CH	kWh	0.05	4.3	56	0.016
Erdgas, vom Hochdrucknetz (1-5 bar), ab Tankstelle	CH	kWh	0.05	4.4	55	0.016
Erdgas, vom Niederdrucknetz (<0.1 bar), ab Tankstelle	CH	kWh	0.05	4.5	59	0.016
Erdgas, vom Mitteldrucknetz (0.1-1 bar), ab Tankstelle	CH	kWh	0.06	4.8	73	0.016
Erdgas, Produktionsmix, ab Tankstelle	CH	kWh	0.05	4.4	56	0.016

## 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 geltend 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 wurden im Jahr 2010 überprüft und um Grenzwerte für Biomethan und Kälte ergänzt. Für diese grundsätzliche Festlegung wurden die Hintergrunddaten der ecoinvent Datenbank (ecoinvent Centre 2010) im Jahr 2010 mit SimaPro ausgewertet.

In aktualisierten Modellen werden die Umweltbelastungen der entsprechenden ecoinvent Prozesse für die Grenzwerte dann jeweils mit den aktuellsten Ökobilanzdaten berechnet.

### 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 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 Gas- und Dampf (GuD)-Kraftwerkes (Referenzsystem) festgelegt (16 Millipunkte pro kWh).

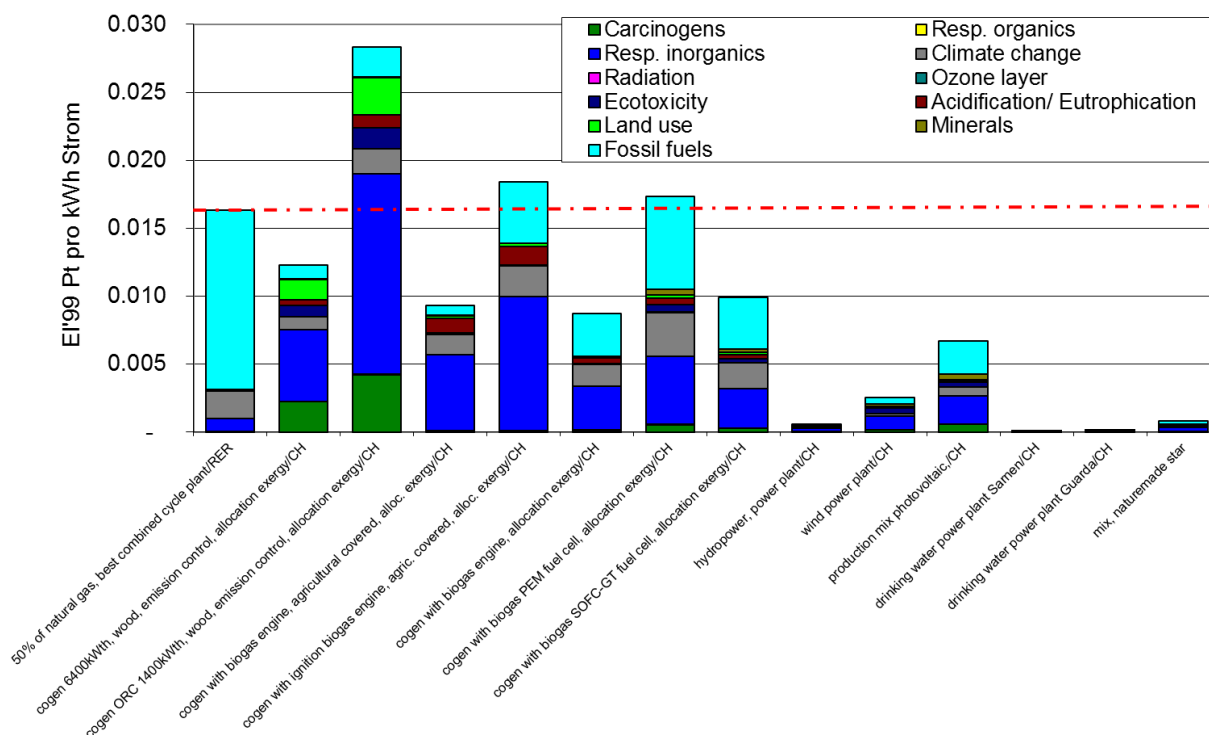


Fig. 3.1 Umweltbelastungen verschiedener Kraftwerke (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh Strom), ORC=Organic Ranking Cycle, ecoinvent Centre 2010

### 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 (ecoinvent Centre 2010) 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 auftreten wenn Waldholz direkt eingesetzt wird, da dieses relativ hohe Umweltbelastungen mitbringt.

Die Partikelemissionen der 1000 kW Heizung sind gemäss der in ecoinvent zu Grunde gelegten Daten etwa doppelt so hoch wie die der 50 kW Heizung. Deshalb schneidet die kleinere Heizung bei einer Bewertung hier etwas besser ab.

Die Luftreinhalteverordnung schreibt seit 1.1.2008 strengere Werte bei Partikelemissionen von grösseren Holzheizungen vor. Anlagen, die diese strengen Werte erfüllen, wurden in den ecoinvent Daten (ecoinvent Centre 2010) noch nicht berücksichtigt. Es dürfen nur Anlagen zertifiziert werden, welche die Anforderungen der 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.

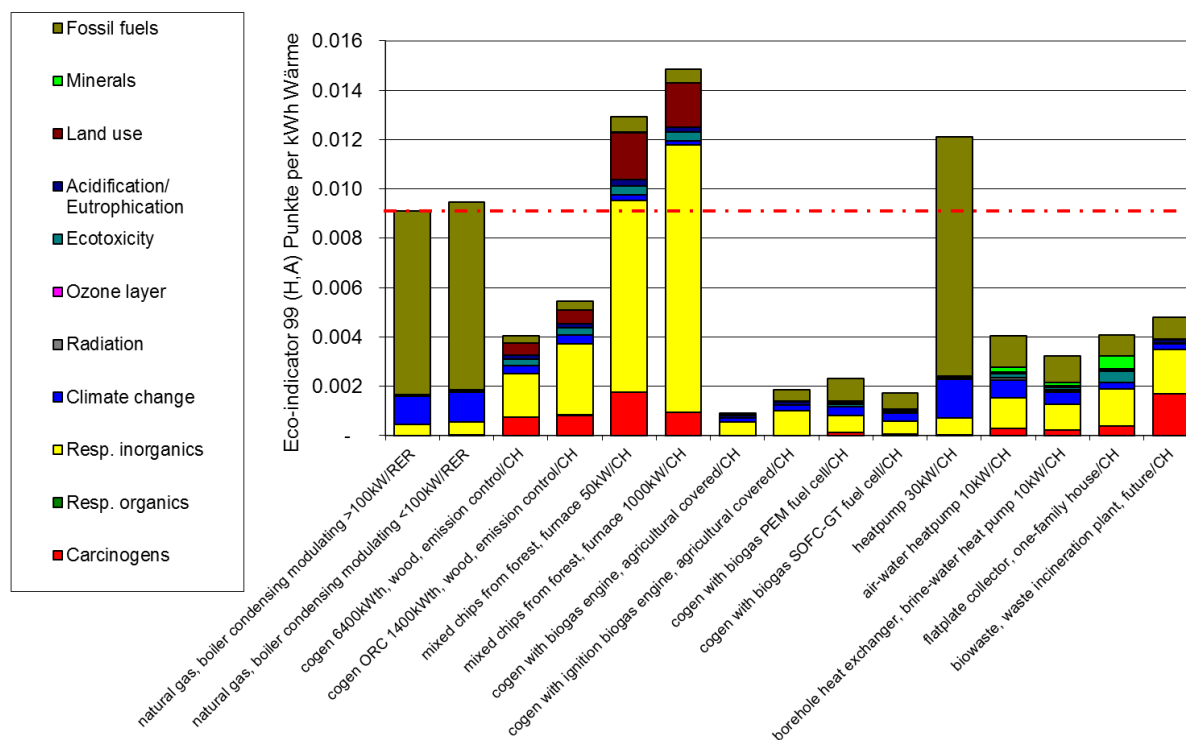


Fig. 3.2 Umweltbelastungen verschiedener Heizsysteme (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh), ecoinvent Centre 2010

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 **8.9 Millipunkten pro kWh** Wärme ab Anlage (2.5 Millipunkte/MJ). Für Fernwärme wird der gleiche Grenzwert verwendet aber die Verteilung in der Bilanz der Anlage berücksichtigt.

### 3.1.3 Biomethan und Biogas

Als Produktionsmenge wird im KWM der Energiegehalt (kWh oberer Heizwert) des ins Netz eingespeisten Biogas bzw. Biomethan erfasst.

Im Folgenden wird der Einfachheit halber teilweise nur Biomethan erwähnt, auch wenn sich die Festlegungen auch auf Biogas beziehen.

Für die Festlegung des Grenzwertes muss berücksichtigt werden, dass bei der Verbrennung von Biomethan/Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen das freiwerdende CO<sub>2</sub> nicht zum Treibhauseffekt beiträgt. Dies ist ein wesentlicher Umweltvorteil des aus Biomasse produzierten Energieproduktes. Um dies zu berücksichtigen wird die CO<sub>2</sub>-Emission bei der Verbrennung von Erdgas in der Bilanz der Erdgasbereitstellung ab Netz hinzuaddiert wenn die Umweltbelastung für das Referenzsystem berechnet wird (Jungbluth et al. 2010a).

Die Umweltbelastung verschiedener Systeme zur Bereitstellung von Biomethan aus erneuerbarer Energie werden in Fig. 3.3 gezeigt (Jungbluth et al. 2007). Bei möglichen Referenzsystemen für Erdgasbereitstellung wurde bereits mit einem Faktor von 50% gerechnet. Bei den Biomethanprodukten wird der biogene Kohlenstoffgehalt nicht als CO<sub>2</sub>-Aufnahme in Abzug gebracht. Die Belastungen ist beim Erdgas um etwa 1.1 Millipunkte pro kWh höher, wenn die Emission des fossilen CO<sub>2</sub> aus Erdgas in die Betrachtung miteinbezogen wird.

Der Unterschied zwischen den drei Verteilniveaus und der Unterschied zwischen Lieferung zur Tankstelle oder zum Haushalt sind 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. 3.3).

Als Referenzsystem für das Kennwertmodell wird ein Vergleich auf Basis des Energiegehaltes mit durchschnittlichem Erdgas ab Schweizer Hochdrucknetz verwendet. Der Grenzwert für Biomethan liegt bei 50% der Umweltbelastung des Erdgases auf Basis eines Vergleichs des Energiegehaltes. Zusätzlich wird die fossile CO<sub>2</sub> Emission bei der Nutzung von Erdgas berücksichtigt und bewertet. Für Biomethan wird die Aufbereitung und Einspeisung ins Hochdrucknetz in der Ökobilanz berücksichtigt.

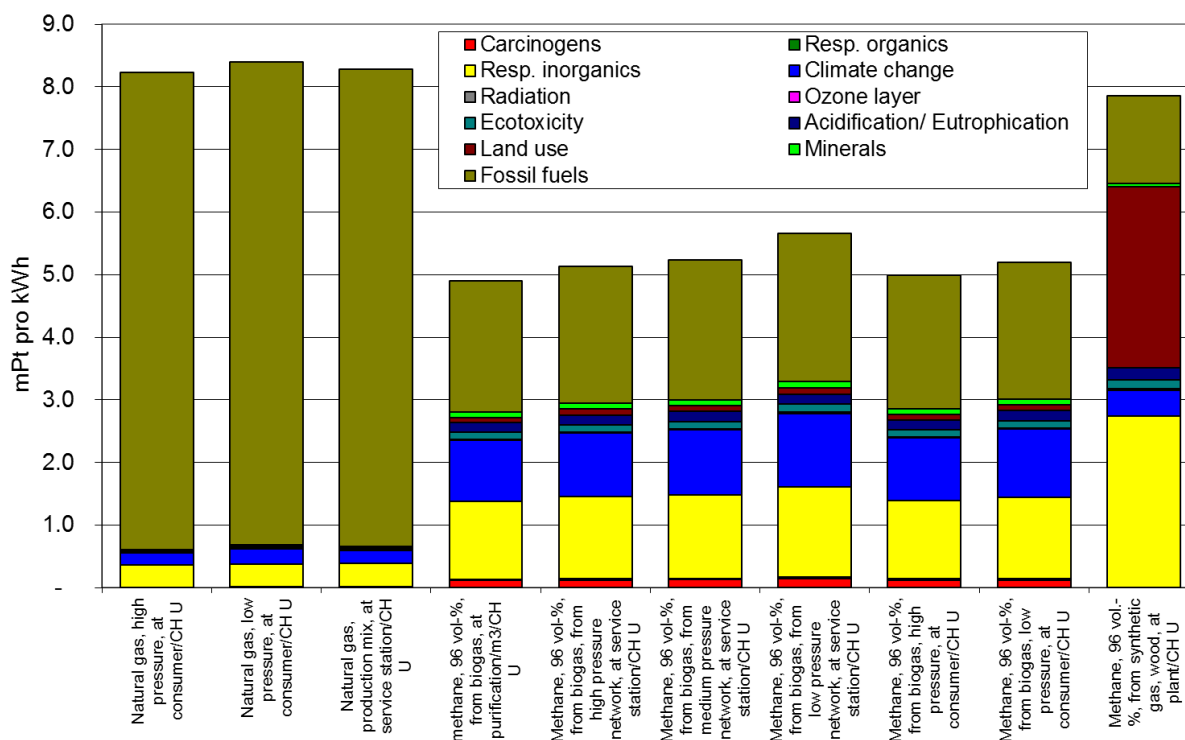


Fig. 3.3 Umweltbelastungen der Bereitstellung von Erdgas (50%-Grenzwert) und Biomethan (Eco-indicator 99 (H,A) Millipunkte pro kWh), ecoinvent Centre 2010

### 3.1.4 Kälte

Im Jahr 2010 wurden erste Vorüberlegungen hinsichtlich der Zertifizierung von Kälte gemacht, die hier dokumentiert werden.

Basis für die Ökobilanzen bilden einerseits die Sachbilanzdaten in der ecoinvent Datenbank (ecoinvent Centre 2010) und andererseits Sachbilanzdaten, die in Fallstudien und Forschungsprojekten erhoben worden sind (Frischknecht 1999a, b; Jungbluth & Frischknecht 2001).

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

In den lokalen Kriterien für WP/KM muss geregelt werden, 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. 3.4 gezeigt. Demnach ergibt sich ein vorläufiger Grenzwert von etwa 2.95 Millipunkten pro kWh bei Gefrierkühlung und 1.12 Millipunkten bei Raumkühlung.

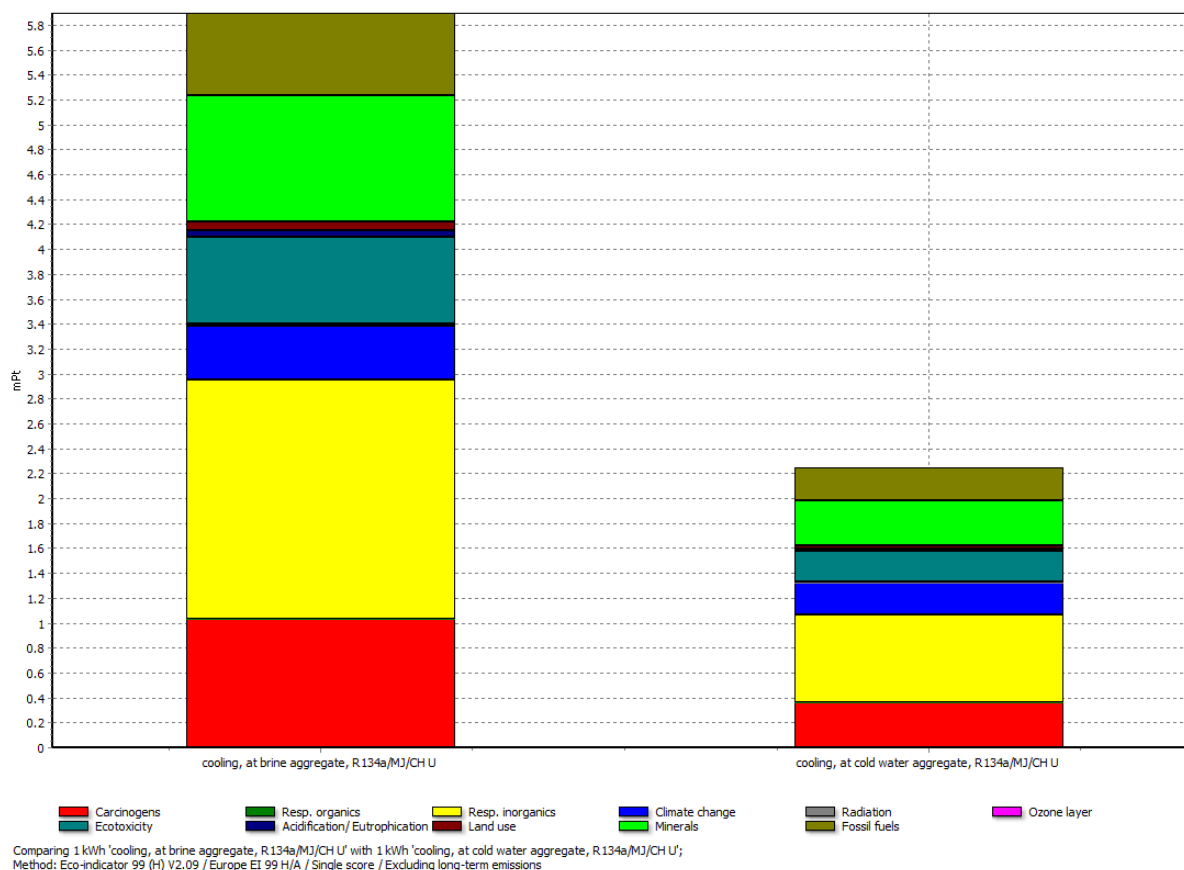


Fig. 3.4 Umweltbelastungen verschiedener R134a Kältesysteme (Eco-indicator 99 (H,A) Millipunkte pro kWh Kälte), ecoinvent Centre 2010

Die Umweltbelastung hängt hauptsächlich von der Anlagen-Jahresarbeitszahl und somit vom Stromverbrauch 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>6</sup>

- Kaltwassersatz luftgekühlt ( $tA^7=32^\circ\text{C}$ ) für Klimatisierung: JAZ ca. 3.0
- Glykolkühlsatz luftgekühlt ( $tA=32^\circ\text{C}$ ) für Pluskühlung: JAZ ca. 1.8
- Gefrierkühlung, meist als Kaskade auf eine Pluskühlung. Die JAZ 3.2 der Pluskühlung entspricht dann einer 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 sollte im ersten Schritt für die Raumkühlung erstellt werden.

<sup>6</sup> Persönliche Mitteilung Günther Reiner, SSP Kälteplaner AG, 11.7.2008.

<sup>7</sup> tA - Aussentemperatur (wichtig für luftgekühlte Kondensatoren)

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 die dynamische Festlegung der Grenzwerte sind weitere Abklärungen notwendig. Zurzeit liegen die entsprechenden Daten noch nicht vor und ein Kennwertmodell wurde (auch mangels Interesses) noch nicht erarbeitet.

Für Fernkälte könnte der gleiche Grenzwert festgelegt werden. Die Verteilung muss zur Bilanz hinzuaddiert werden.

## 3.2 Nicht-energetische Nebenprodukte

### 3.2.1 Kläranlage

#### 3.2.1.1 *Entsorgung und Behandlung Abwasser*

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 Biogas-/Biomethan-Produktion. Da die Stabilisierung neben Faulgas auch Faulschlamm erzeugt, stellt sich die Frage der Zuordnung der Aufwendungen und Emissionen auf diese beiden Produkte.

Die Vergärung von Klärschlamm wird im 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)).

In der Bilanz werden nur die Infrastruktur, die für die Vergärung und Gasaufbereitung notwendigen Anlagenteile, und die direkten Emissionen verbucht. Ausserdem werden Transporte der Co-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 Biogas/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 für die Abwasserreinigung ohne Vergärung wird nicht bestimmt. Dafür kann die Umweltbelastung der eigentlichen Vergärung deutlich genauer erfasst werden. Weitergehende Ansprüche an die Gesamtkläranlage und die Schlammentsorgung 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.

### 3.2.1.2 *Bereitstellung von Brennstoff für Zementwerke*

Ausgefaulter Klärschlamm wird von Zementwerken als Brennstoff<sup>8</sup> eingesetzt. Soweit es sich hier um ein Produkt handelt, das von der Kläranlage an ein 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 ausgefauelte Klärschlamm einen Energiegehalt von etwa 11 MJ pro kg Trockensubstanz (ca. 10 MJ pro kg ausgefaulter und getrockneter 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>9</sup>. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass dieser Energieträger nur biogenen Kohlenstoff enthält, der bezüglich des Treibhauseffektes nicht berücksichtigt werden muss. Damit wird dieser Teilaspekt konsistent zu den Grenzwerten von Biomethan abgebildet.

### 3.2.1.3 *Vergärung von Klärschlamm*

In der Regel wird der Rohschlamm vergärt. Nach der Vergärung wird er entwässert und entsorgt. Der Hauptteil Wasser wird in die Kläranlage zurückgeführt.

In Grossbritannien darf Klärschlamm auf Feldern ausgebracht werden. In der Schweiz ist dies gesetzlich nicht möglich.

Als Referenzwert für die Entsorgung des Klärschlammes wird die Menge der entsorgten Feststoffe angenommen. Nur wenn diese grösser ist als die vergäerte Klärschlammmenge wird letztere für die Referenzberechnung verwendet.

Die Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft wird im Model bisher nicht modelliert. Eine grobe Auswertung zeigt etwa 5-mal höhere Belastungen als bei der Verbrennung von Klärschlamm bzw. doppelt so hoch wie bei der Ausbringung von Gärrest. Deshalb wäre eine Zertifizierung in diesem Fall evtl. nicht zu erreichen.

Etwa ab Version 11.1 des KWM in 2014 sind die Umweltbelastungen der Klärschlamm Entsorgung von 0.0011 auf 0.0075 Pkt wegen aktuellerer Daten zum Verbrennungsprozess gestiegen (Referenzjahr 2010 statt 2000). NO<sub>x</sub>, Arsen, Kupfer, N<sub>2</sub>O sind wichtige Schadstoffe aus der Verbrennung die deutlich höher sind als früher.

Gemäss neuen gesetzlichen Grundlagen in der Schweiz muss Phosphor bei der Klärschlammverbrennung zurückgewonnen werden. Das heisst die Schlämme gehen in eine Monoverbrennung mit Extraktion aus der Asche. Gemäss der Ökobilanzdaten schneidet das schlechter ab als die früheren Anlagen. Allerdings wird dabei keine Umweltbelastung auf die zurückgewonnenen Produkte alloziert.

Die Referenz Verbrennung wird maximal so hoch eingesetzt, wie die Menge das gemäss Modell tatsächlich nach der Vergärung verbrannt wird.

<sup>8</sup> Gesetzlich eigentlich in der Schweiz nicht mehr möglich, da Pflicht zur Phosphorrückgewinnung.

<sup>9</sup> Angaben zu den Klärschlamm Eigenschaften wurden von Herrn Ammann, ARA Bern am 27.1.2009 zur Verfügung gestellt.

## 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 wurde im ersten 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 Gärrestes mitberücksichtigt.

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 Entsorgungsbühren 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.

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, als Futtermittel verwendet werden, oder altes Pflanzenöl zu Biotreibstoff aufbereitet werden.

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; Dinkel et al. 2012; Schleiss & Jungbluth 2005).

Als wichtigste Eigenschaft des Kompost-Düngers wird auch 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 Gärrest 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 Verfahren zur Behandlung von Biomasse in der Schweiz. Energieprodukte und *Nebenprodukte (Entsorgung, Dünger)* aus den Verfahren. Kauf von *Substraten* die als Energieinput genutzt werden. Alternativen zur Kompostverwendung durch direkten Einkauf von Kunstdünger bzw. org. Substanz

Verfahren zur Biomassebehandlung und mögliche Referenzsysteme für die Behandlung von Biomasse und die Bereitstellung von Dünger	Strom	Wärme	Biomethan/ Biogas	Entsorgung	Dünger	Speziell zu beachten	Substratkauf
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	Schadstoffeintrag	X
Co-Vergärung Landwirtschaft	X	X	X	(X)	X	Schadstoffeintrag	X
Co-Vergärung mit Klärschlamm in Kläranlage, Schlamm verbrannt	X	X	X	(X)	-	Nährstoffverlust / Verlust organische Substanz	X
Kunstdünger (N,P;K), org. Substanz ( Stroh, Torf)	-	-	-	-	X	Kunstdünger & Torf nicht erneuerbar	X

(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 „Gärrestdünger“ 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 für die Modellierung 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. Gärrestdünger?
- 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 abgegebene 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 eingekaufte Substrate werden die Umweltbelastung für deren Herstellung berücksichtigt (siehe folgendes Kapitel). Auch diese Berechnung erfolgt in Abhängigkeit vom für das Substrat gezahlten Preis.
- Die Belastungen aus Sammlung und Behandlung werden anhand der wirtschaftlichen Erlöse heutiger zentraler Kompostierungsanlagen auf die beiden Produkte Entsorgung und Kompost alloziert. Folgende Preise (Stand 2008) wurden für die Festlegung 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. Gärrestes 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 Gärrestes (bzw. Kompost) monetär bewertet. Kosten der Gärrestausrückführung 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>10</sup>

- Aus 1 kg Grüngutvergärung entsteht neben Biogas und CO<sub>2</sub> 0.2 kg festes Gärrest und 0.4 kg flüssiges Gärrest (Tab. 3.3). Für die Bestimmung der genauen Mengen wurde angenommen, dass Phosphor zu 100% im Gärrest enthalten ist. Diese Mengendifferenz bei den Produkten im Vergleich zur zentralen Kompostierung wird in den Berechnungen für die organische Substanz übernommen (Fuchs 2006).
- Auf Grundlage dieser Rechnung entspricht das Gärrest 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 Gärrest (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 Gärrestes 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 Gärrest (eigene Berechnung mit Fuchs 2006: Tab. 1)

	Schüttgewicht	Trockensubstanz TS	OS in TS	OS in FM	C in FM	C in FM	Humus-koeff	Humus-C Gehalt	Humus-C	Prod. Menge aus Grüngut	Humus-C pro Grüngut
	kg FM/lit	TS/FM	OS/TS	OS/FM	kg C/kg FM	kg C/lit	HC/C	kg HC/ lit	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

lit - Liter

TS – Trockensubstanz

OS – Organische Substanz

C - Kohlenstoff

GG – Grüngut

HC – Humus-C

<sup>10</sup> Persönliche Stellungnahme von Reto Steiner, Ernst Basler + Partner zum „Kennwertmodelle Biomasseanlagen“, 20.11.2008.

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

	Nährstoffgehalte gemäss Literatur			Wert CHF/kg	theoretischer Wert der Nährstoffe			Literatur
	Kompost kg/t FM	Gärgut, fest kg/t FM	Gärgut, flüssig kg/t FM		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 5.0 Eco-indicator 99 (H,A) Millipunkte 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 Modell kann zwischen der Co-Vergärung in Landwirtschaft und Kläranlage und für unterschiedliche Substrate 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 6 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 5.4 bzw. 0.7 Punkte für Entsorgung bzw. Kompost aus der Kompostierung einer Tonne Grüngut.
- Bei der Entsorgungsdienstleistung wird der Referenzwert an Hand der Entsorgungsgebühr bestimmt. Der Referenzwert für die Entsorgung beträgt damit 0.04 Punkte pro CHF Entsorgungsgebühr.
- Beim Kompost sind der Gehalt und die theoretische Wertigkeit verschiedener Nährstoffe und von Humus-C das Kriterium. Damit wird der Anteil für festes bzw. flüssiges Gärrest berechnet. Für die Erzeugung von festem und flüssigen Gärrest werden damit 1.16 bzw. 0.28 Punkte pro t Frischmasse als Referenzwert berechnet.

Tab. 3.4 Erträge und Aufteilung in der Allokation für die Behandlung 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 mPkt/ tFM	EI'99 Pkt
Entsorgung	125.00	1.00	1.00	125.00	89.3%	5.40	0.04 pro CHF
Kompost	30.00	0.50		15.00	10.7%	0.65	
Gärgut, fest			0.22		39.5%		1.16 pro t FM
Gärgut, flüssig			0.43		18.3%		0.28 pro t FM
<b>Total pro t Grüngut</b>				140.00		6.05	

### 3.2.3 Verarbeitung von eingekauften Co-Substraten

Für eingekaufte Co-Substrate werden die Umweltbelastungen aus deren Herstellung berücksichtigt. Dies wird folgendermassen gemacht:

- Die Berechnung erfolgt gemäss folgender Formel: Menge Substrat (kg FM) \* Umweltbelastung Produkt (Punkte/kg FM) \* -1 \* Aufwand (Währung/kg FM) / Referenzpreis (Währung/kg FM)
- Damit wird dann auch nur ein entsprechender Prozentanteil (= -Aufwand/Referenzpreis) der Umweltbelastungen aus der Herstellung eines Produktes der Anlage angelastet.
- Im Kennwertmodell wird der „Finanzieller Ertrag (plus) bzw. Aufwand (minus), ohne Transportkosten, für die Anlage“ direkt in der regionalen Währung eingegeben.
- Die eingegebenen Referenzpreise beziehen sich jeweils auf ein marktfähiges Produkt z.B. Lebensmittel oder Futtermittel ab Hof. Die verwendeten Substrate sind in der Regel wertgemindert (z.B. vergammelter Weizen, vergorene Milch) und haben einen niedrigeren Preis als der Marktpreis für das neue Produkt. Wird ein solches Produkt in die Anlage als Substrat eingebracht, sollte der finanzielle Aufwand in der Regel tiefer sein als der Referenzpreis.
- Damit wird dann auch nur ein entsprechender Prozentanteil (= -Aufwand/Referenzpreis) der Umweltbelastungen aus der Herstellung des Substrates der Anlage angelastet.
- Wichtig sind schlussendlich die Eco-indicator Punkte pro Geldeinheit, die aus der Kombination von Referenzpreis und Umweltbelastungen pro Kilogramm resultieren. Diese Belastungen werden dann mit dem Aufwand für eingekaufte Substrate multipliziert um die Belastung aus der Herstellung der Substrate abzubilden.
- Die Referenzpreise von Co-Substraten wurden für verschiedene regionale Märkte soweit möglich getrennt erhoben. Nur dort wo keine Daten zur Verfügung stehen, wurde mit dem Währungs-Umrechnungskurs gerechnet. Das Modell berücksichtigt also die unterschiedliche Marktsituation in den bisher abgebildeten Ländern. Für andere Länder ist es nicht anwendbar.
- Die Referenzpreise aller Substrate wurden in den Jahren 2014 bis 2015 soweit wie möglich neu recherchiert und dokumentiert.
- Für Substrate ohne genaue Informationen werden ein durchschnittlicher Referenzpreis und eine durchschnittliche Umweltbelastung hinterlegt.
- Der eingegebene Aufwand für Substrate (pro kg) wird mit dem Referenzpreis verglichen. Es wird eine Warnung ausgegeben, wenn der Aufwand höher ist als Referenzpreis.

Durch die relative Berechnung für Entsorgungsgebühren auf der einen Seite und Preisen auf der anderen Seite wird ausserdem verhindert, dass es einen Sprung bei der Bewertung von Anlagen gibt. Je tiefer die Entsorgungsgebühr wird desto mehr nähert sich der Referenzwert für

die Entsorgung 0 an. Wird nichts bezahlt bzw. eingenommen sind Referenzwert und Belastung durch Substratpreis = 0. Bei steigendem Substratpreis steigt die Belastung der Anlage auf der anderen Seite graduell an. Fig. 3.5 zeigt hierzu ein Beispiel für ein durchschnittliches Substrat (Referenzpreis ca. 1.50 CHF/kg).

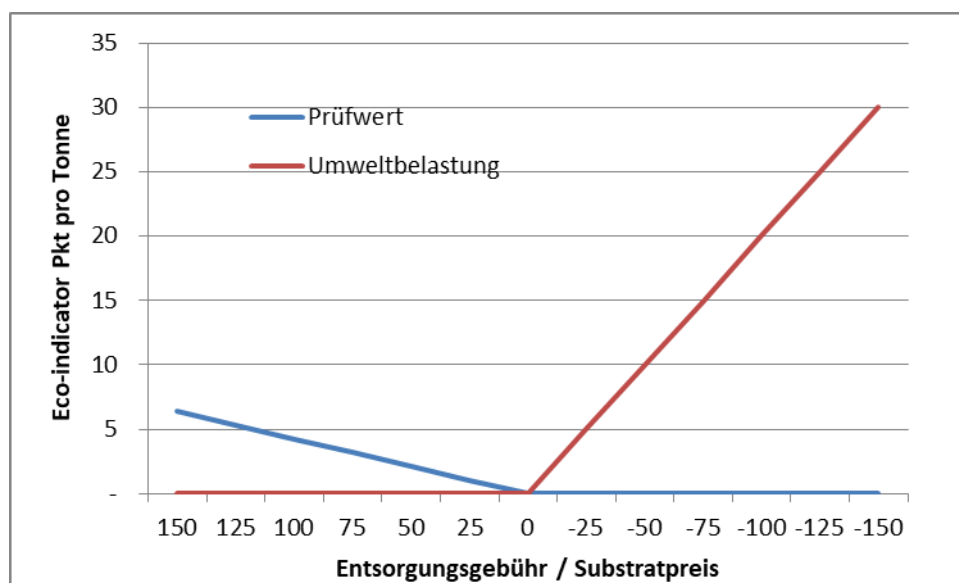


Fig. 3.5 Beispiel für die Berechnung von Prüfwert und Umweltbelastung für durchschnittliches Biomasse-Substrat (Finanzieller Ertrag (plus) bzw. Aufwand (minus), ohne Transportkosten, für die Anlage

### 3.2.4 Verarbeitung von Co-Substraten: Entsorgung von Schlachtabfällen Kategorie 1

Schlachtabfälle der Kategorie 1<sup>11</sup> müssen gemäss Gesetz verbrannt werden. Das gilt auch bei vorangegangener Vergärung (Bachmann & Wellinger 2012). Schlachtabfälle können auch in Biogasanlagen vergärt werden, wenn das Gärrest später ebenfalls verbrannt wird. Für das KWM werden Schlachtabfälle der Kategorie 1 in der gleichen Kategorie wie Klärschlamm erfasst. Das gesamte Gärrest muss in diesem Fall verbrannt werden. Die Berechnung des Referenzwertes erfolgt analog zum Klärschlamm mit den Umweltbelastungen einer direkten Verbrennung.

Für Schlachtabfälle der Kat 2<sup>12</sup> und 3<sup>13</sup> ist eine Verbrennung nicht notwendig. Sie werden wie bisher als Abfälle in der Substratliste abgefragt. Dazu stehen folgende Substrate im KWM zur Auswahl:

<sup>11</sup> Tierische Nebenprodukte der Kategorie 1 umfassen hauptsächlich Schlachttierkörper oder Teile davon von Tieren, bei denen eine transmissible spongiforme Enzephalopathie festgestellt worden ist, tierische Nebenprodukte von Tieren, die medikamentös (nach Tierarzneimittelverordnung) behandelt wurden, zur Fleischgewinnung getötete Wildtiere, die Anzeichen einer auf Menschen oder Tiere übertragbaren Krankheit aufweisen, Feststoffe aus dem Abwasser von Schlachthanlagen für Rinder, Schafe und Ziegen sowie Speisereste aus grenzüberschreitendem Verkehr (Flugzeuge, etc.).

<sup>12</sup> Tierische Nebenprodukte der Kategorie 2 umfassen hauptsächlich Tierkörper, die von der Fleischkontrolle als ungeniessbar bezeichnet worden sind und Anzeichen einer auf Menschen oder Tiere übertragbaren Krankheit aufweisen; Tierkörper von Geflügel, das aus kommerziellen Gründen getötet statt geschlachtet wurde; Stoffwechselprodukte sowie zur Fleischgewinnung getötete Tiere und Teile davon, die nicht als Lebensmittel verwendet werden.

<sup>13</sup> Zur Kategorie 3 zählen insbesondere genusstaugliche oder nicht genusstaugliche, aber risikofreie Fleischteile; Blut, Plazenta, Häute, Hörner, Borsten, Federn, Felle, etc. sowie tierische Nebenprodukte, Eier, Milch, etc.

- Blut, Fettabscheiderrückstände
- Blutmehl, Tiermehl
- Darminhalt Schwein
- Fischrückstände, Fleischabfälle
- Fett aus Fettabscheider
- Flotatschlämme (Schlachthaus)
- Panseninhalt
- Speisereste

Für die Vorbehandlung dieser Abfälle sind zusätzliche Gerätschaften notwendig. Es wurde grob überprüft, ob diese in der Bilanz der Infrastruktur von Relevanz sind. Dabei hat sich gezeigt, dass diese nicht mehr als 1% der Materialmenge ausmachen und folglich vernachlässigt werden können.

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

In den landwirtschaftlichen Anlagen werden Holzanteile vor der Vergärung aussortiert (Triage des Grünguts), bei Kompogasanlagen 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 dann 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, Trocknung der Holzschnitzel).

### 3.2.6 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.

Es gibt auch Anlagen, die für Mist und Gülle etwas bezahlen. Theoretisch müsste man auch hierfür eine Referenz einführen bei dem Hofdünger mit Vorbelastung aus der Tierhaltung in die Anlage eingebracht wird. Dazu müsste neben dem Preis ab Hof für den Hofdünger auch die anderen Preise für Fleisch, Milch, etc. bekannt sein. Bisher wurde das aber nicht implementiert, da ein solches Vorgehen in Ökobilanzen z.B. zur Anwendung von Hofdünger aber auch zur Produktion von tierischen Produkten nicht üblich ist.

Es wird kein Referenzwert für den Transport zur Ausbringung des Hofdüngers im Modell hinterlegt. Es wäre wohl fair einen Wert zu berücksichtigen, aber er ist nicht ganz einfach festzulegen. Da viele Anlagen mehr Substrat produzieren als nur durch die Menge der eigenen Tiere anfällt und häufig Co-Substrate verarbeitet werden, ist davon auszugehen, dass der Transport

für die Ausbringung tendenziell zunimmt. Man kann die Ausbringung also nicht einfach auf null setzen.

Teilweise werden Mist und Gülle erst zur Anlage hingefahren. Wenn diese auf die Bauernhöfe zurückgebracht werden wo Mist und Gülle herkam, dann ist das zweimal ein zusätzlicher Transport, der beim Substrat und bei Ausbringung berücksichtigt werden muss.

Wenn Mist und Gülle vom eigenen Hof kommen (0 km Distanz), dann ist es gerechtfertigt für diesen Anteil auch den Transport zur Ausbringung auf null zu setzen.

Es erscheint einfacher, hier mit Augenmass die Eingaben entsprechend anzupassen, als im Modell einen Standardwert zu hinterlegen, der nie genau stimmt. Erfasst werden müssen alle auf Grund der Anlage zusätzlich erfolgten Transporte für den Hofdünger.

### 3.2.7 Referenz für einige direkte Emissionen der Biogasanlage

Einen wesentlichen Punkt für die Modellierung von Biogasanlagen stellen die direkten Emissionen aus Gärrestlagerung 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 Gärrestbehandlung

Emission	Entstehung	Einflussgrössen bzw. Reduktionsmassnahmen
Methan	Lagerung Gärrest	Abdeckung, mechanische Separierung Gärrest, Rottetrommel, Kompostmiete
Ammoniak	Nachkompostierung Gärrest	Biofilter, Rottetrommel
	Lagerung Gülle und Gärrest	Abdeckung des Lagers
	Ausbringung Gärrest	Verfahren, z.B. Schleppschlauch
N <sub>2</sub> O	Lagerung und Ausbringung	evtl. Biofilter, Schleppschlauch
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. D.h. das entstehende Methan wird möglichst vollständig aufgefangen und einer Verbrennung zugeführt. Auf Bauernhöfen ohne Biogasanlage war dieser Zusatzaufwand früher nicht immer üblich. Zur Reduktion von Geruchsbelästigungen wird eine Abdeckung im Jahr 2012 bereits bei etwa 80% der Güllelager eingesetzt.<sup>14</sup>

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

Für die Ausbringung des Hofdüngers ist für zertifizierte Biogasanlagen das Schleppschlauchverfahren vorgeschrieben, um die Ammoniakemissionen zu verringern. Auch auf Bauernhöfen ohne Biogasanlage 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

<sup>14</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). Trotzdem weisen etwa 80% der Lager eine Abdeckung auf. Dabei werden bis zu 80% der NH<sub>3</sub>-Emissionen vermieden.  
([www.nw.ch/dl.php/de/20060502101744/Ammoniak\\_NH3\\_Faktenblatt.pdf](http://www.nw.ch/dl.php/de/20060502101744/Ammoniak_NH3_Faktenblatt.pdf)).

Oberland fast 10%.<sup>15</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>16</sup> Im Kanton Luzern wird der Einsatz finanziell gefördert und ein Anteil von 60% angestrebt.<sup>17</sup> Auch im Kanton Zürich gibt es einen Massnahmenplan zur Erhöhung des Anteils von Schleppschlauchausbringung.

Die Ausbringung des ausgefaulten Substrats (Gülle, Gärrest) wird im KWM nur berücksichtigt, wenn dem Abnehmer hierfür eine Gebühr bezahlt wird. Transportkosten sind für diese Eingabe nicht zu berücksichtigen. Wenn der Abnehmer nichts für die ausgefaulten Substrate bezahlt, werden die Belastungen der Düngieranwendung 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. Dazu werden folgende Berechnungen gemacht (teilweise gemäss Edelmann 2006):

- CH<sub>4</sub>: Für Methan werden die Emissionen zunächst substratspezifisch gerechnet. Für das Referenzszenario werden die Annahmen von (Edelmann et al. 2001:31) zu Grunde gelegt. Für die Berechnung der aktuellen Emissionen wird die Abdeckung des Lagertanks als auch die höheren Grundemissionen berücksichtigt (5% der erzeugten Biogasmenge).<sup>18</sup>
- NH<sub>3</sub>: Für die Emissionen von NH<sub>3</sub> gibt es substratspezifische Faktoren. Gemäss Edelmann et al. (2001) wird bei normaler Lagerung und Ausbringung etwa 50% des Ammoniums emittiert. Dabei entfällt 1/6 auf die Lagerung und 5/6 auf die Ausbringung. Für den Ammoniumgehalt wurden Literaturangaben der FNR (2009) verwendet. Durch die Vergärung erhöhen sich die potenziellen Ammoniakemissionen um 40% bei der Lagerung und 10% bei der Ausbringung (Edelmann et al. 2001). 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 bzw. 0.1 kg/t aus dem Feststofflager (Edelmann 2006). Durch Abdeckung des Lagers bei einer Biogasanlage kann 75% Reduktion erreicht werden.

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

In Tab. 3.6 sind Literaturangaben zu den direkten Emissionen zusammengestellt (Dinkel et al. 2009; Dinkel et al. 2012; Edelmann et al. 2001; Edelmann 2006; Jungbluth et al. 2007; Langevin et al. 2008; Schleiss 1999; Schleiss & Edelmann 2000).

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 einem landwirtschaftlichen Modell durchgeführt (Edelmann 2006). Hiermit werden zunächst die Grundemissionen bestimmt.

<sup>15</sup> [http://www.strickhof.ch/fileadmin/strickhof\\_files/Fachwissen/Feldbau/duengung/guelleaf.pdf](http://www.strickhof.ch/fileadmin/strickhof_files/Fachwissen/Feldbau/duengung/guelleaf.pdf), 25.11.08

<sup>16</sup> <http://www.landwirtschaftsamt.tg.ch/documents/Projektgesuch.pdf>, 26.11.2008

<sup>17</sup> <http://www.lawa.lu.ch/index/medien/lawa-newpage-3/schleppschlauch.htm>, 25.11.2008

<sup>18</sup> Bei einer Grubenabdeckung muss der Speicherbehälter für das ausgefaulte Substrat (Gärrest-Lager) gasdicht abgedeckt sein. Die Gase, die im Gärrest-Lager entstehen, werden in die Biogasanlage zurückgeführt oder mit dem Biogas verbrannt.

Aufbauend hierauf werden die Reduktionsfaktoren entsprechend der Anlagenspezifikation verwendet. So wird z.B. für CH<sub>4</sub> als Grundwert 5% der Biogasmenge angenommen. In der geschlossenen Kompostierung mit Biofilter reduziert sich der Wert um 75%. Gemäss Systemgrenzen für die Biogasanlage, werden Emissionen bei der Ausbringung in der Regel nicht berücksichtigt.

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	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	NM <sub>2</sub> OC	NO <sub>x</sub>	Quelle
	Bezug	kg	kg	kg	kg			
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 (Rottetrommel 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 NH <sub>3</sub>	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, Prozess	t Grüngut	0.6		0.05				Dinkel 2012:14
Vergärung, Lager/Nachrotte	t Grüngut	1.5		0.05				Dinkel 2012:14
Vergärung, Landwirtschaft, nicht abgedeckt, Mehrmission	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
Vergärung, Lagerung, Mehrmission			40%					Edelmann 2001
Vergärung, Ausbringung, Mehrmission			10%					Edelmann 2001
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 NH <sub>3</sub>	t Grüngut	1.0	0.02	0.20	0.30			Dinkel 2008
Kompostierung	t Grüngut	1.0	0.50	0.05				Dinkel 2012:13
<b>Reduktionsfaktoren gegenüber Standardvariante</b>	<b>Referenz</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>NM<sub>2</sub>OC</b>	<b>NO<sub>x</sub></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, Rottetrommel	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 Lager und Behandlung</b>	<b>Referenz</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>NM<sub>2</sub>OC</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	
<i>Referenz, Gärgut fest</i>	<i>kg/t</i>	<i>1</i>	<i>0.42</i>	<i>0.10</i>	<i>0.28</i>	<i>0.24</i>	<i>0.02</i>	
Keine Behandlung	Kompostierung	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
offene Kompostierung, Miete bzw. Nachrotte	Kompostierung	150%	0%	0%	0%	0%	0%	
Rottetrommel, geheizt	Kompostierung	-10%	0%	0%	0%	0%	0%	
geschlossene Lagerung/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>	<i>5%</i>	<i>Substratspez</i>	<i>0.018</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
<i>Referenz Güllelager, 80% abgedeckt</i>	<i>Offenes Lager</i>	<i>-64%</i>	<i>-64%</i>	<i>-60%</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
Offenes Gärgutlager/Nachgärung	Offenes Lager	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Geschlossenes Gärgutlager/Nachgärung	Offenes Lager	-80%	-80%	-75%	0%	0%	0%	
Nährstoffaufbereitung (Ultrafiltration/Umkkehrosiose)	Offenes Lager	-80%	-90%	-75%	0%	0%	0%	

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.

### 3.2.8 Vorreinigung von Industrieabwässern

Biogasanlagen zur Vorbehandlung von industriellem Abwasser (zurzeit ca. 20 Anlagen in CH) können zurzeit nur als Einzelfall geprüft werden. Hierzu muss das Kennwertmodell soweit möglich ausgefüllt werden. Eine Fallbeschreibung mit Angaben zu weiteren nicht erfassten Inputs oder Outputs wird dann an den Ökobilanzexperten zur weiteren Bearbeitung geschickt.

Industriekläranlagen verwenden als Hauptsubstrat oft ein hoch belastetes Abwasser (z.B. Molke, Waschwasser, Abwasser aus der Zuckerherstellung, Papierherstellung, etc.). Für Biogas-Anlagen zur Vorreinigung von Industrieabwässern wird der aerobe CSB Abbau in eine Kläranlage als Referenz herangezogen werden. Ferner wird das vergäerte Abwasser wahrscheinlich oft in einem zweiten Schritt in eine kommunale Kläranlage eingeleitet. Auch hierfür stehen im Model noch nicht alle passenden Daten bei der Substratverwendung zur Verfügung. Für den Einzelfall müssten alle verfügbaren Angaben zu den Schadstoffkonzentrationen im Zulauf und Ablauf der Anlage bereitgestellt werden.

Für Einzelfälle wurde das KWM entsprechend erweitert, um eine spezifische Anlage abzubilden. Wenn die Prüfung einer Industrieanlage zur Diskussion steht, sollte das Kennwertmodell soweit möglich ausgefüllt werden. Die Substrate sollten zusätzlich genau beschrieben werden. Dann kann eine entsprechende Anpassung durch ESU-services erfolgen.

Notwendig sind auch Angaben zur Konzentration von Schadstoffen (z.B. BSB, CSB) im vergärten Abwasser. Bei der Schlammbehandlung könnten die vorhandenen Daten zur Vergärung in der Kläranlage genutzt werden. Für die Infrastruktur der Anlage gibt es auch noch keine entsprechenden Daten. Es ist unklar ob sich diese stark von den Grün- oder landwirtschaftlichen Anlagen unterscheidet.

### 3.2.9 Entsorgung von Altholz

Es fehlt im Holzenergie-Modell bisher ein Referenzwert für Altholzentsorgung. Auch diese Anlagen übernehmen eine Entsorgungsdienstleistung. Denkbar wäre z.B. eine Referenz entsprechend der Verbrennung in der KVA. Dann würden diese Anlagen vermutlich sehr gut abschneiden.

### 3.2.10 Trockenfermenter und Düngerpellets

Das Gärrest aus einem Trockenfermenter im Batchverfahren soll mit Wärme aus der Biogasanlage getrocknet werden. Dafür werden folgende Festlegungen getroffen:

Die Pelletherstellung liegt ausserhalb der Systemgrenze, da diese nicht Kernbestandteil der Biogasanlage ist. D.h. die genutzte Wärme wird als extern genutzt eingetragen. Die Verwendung des Gärrestes dann als Kompost oder Landwirtschaft grob abgeschätzt. Als Ertrag wird dann null oder einen sehr geringen Wert einsetzen (nicht den Ertragswert der Pellets). Transport kann als Null eingetragen werden wenn das Produkt ab Anlage verkauft wird. Das heisst die Belastungen der Pelletherstellung und Abtransport wird voll auf diesen Teil alloziert.

## 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.

Die Referenzwerte für direkte Emissionen werden dynamisch berechnet und sind deshalb in der Tabelle nicht aufgeführt.

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

		Einheit	Referenzsystem	Grenz- bzw. Referenzwert EI'99 Pkt/Einheit
Energieprodukte	Elektrizität	kWh	GuD Erdgas Kraftwerk	0.0160
	Wärme	kWh	Erdgasheizung	0.0089
	Fernwärme	kWh	Erdgasheizung	0.0089
	Kälte	kWh	R134a Kältemaschine mit GuD-Strom	JAZ abhängig
	Fernkälte	kWh	R134a Kältemaschine mit GuD-Strom	JAZ abhängig
	Biomethan/Biogas	kWh	Erdgas, ab Netz, abzüglich CO <sub>2</sub> -Emission Biogas	0.0089
Nebenprodukte	Frischklärschlamm Entsorgung	m <sup>3</sup>	Keines	-
	Entsorgung Co-Substrat	CHF	Kompostierung	0.0432
	Gärgut, fest	kg	Kompostierung	0.0012
	Gärgut, flüssig	kg	Kompostierung	0.0003
	Lagerung Hofdünger	m <sup>3</sup>	Konventionelles Güllelager	0.0034
	Klärschlammbehandlung, Schlachtabfälle Kategorie 1	kg	Verbrennung von Frischschlamm	0.0073
	Total			-

### 3.4 Prüfung des globalen Kriteriums

Zur Prüfung des globalen Kriteriums gibt es folgendes Vorgehen.<sup>19</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.

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.

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. Dafür müssen alle Produkte der Anlage im Kennwertmodell eingegeben werden.

Grunddaten und Bewertungsmethoden werden auf versteckten Blättern dokumentiert.

In Fig. 3.6 wird ein Beispiel für die Prüfung gezeigt. Auf der linken Seite werden die Gesamtumweltbelastungen der Anlage für den Referenzzeitraum bestimmt. Für die Anlage werden die Gesamtumweltbelastungen in Eco-indicator 99 (H,A) Punkten angezeigt und eine Aufteilung auf verschiedene Inputs und Outputs durchgeführt. 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 weniger als die maximal erlaubten Umweltbelastungen und das naturemade Kriterium ist damit erfüllt.

<sup>19</sup> Für das KWM wurde entschieden, keine differenzierte Prüfung pro Energieprodukt durchzuführen.

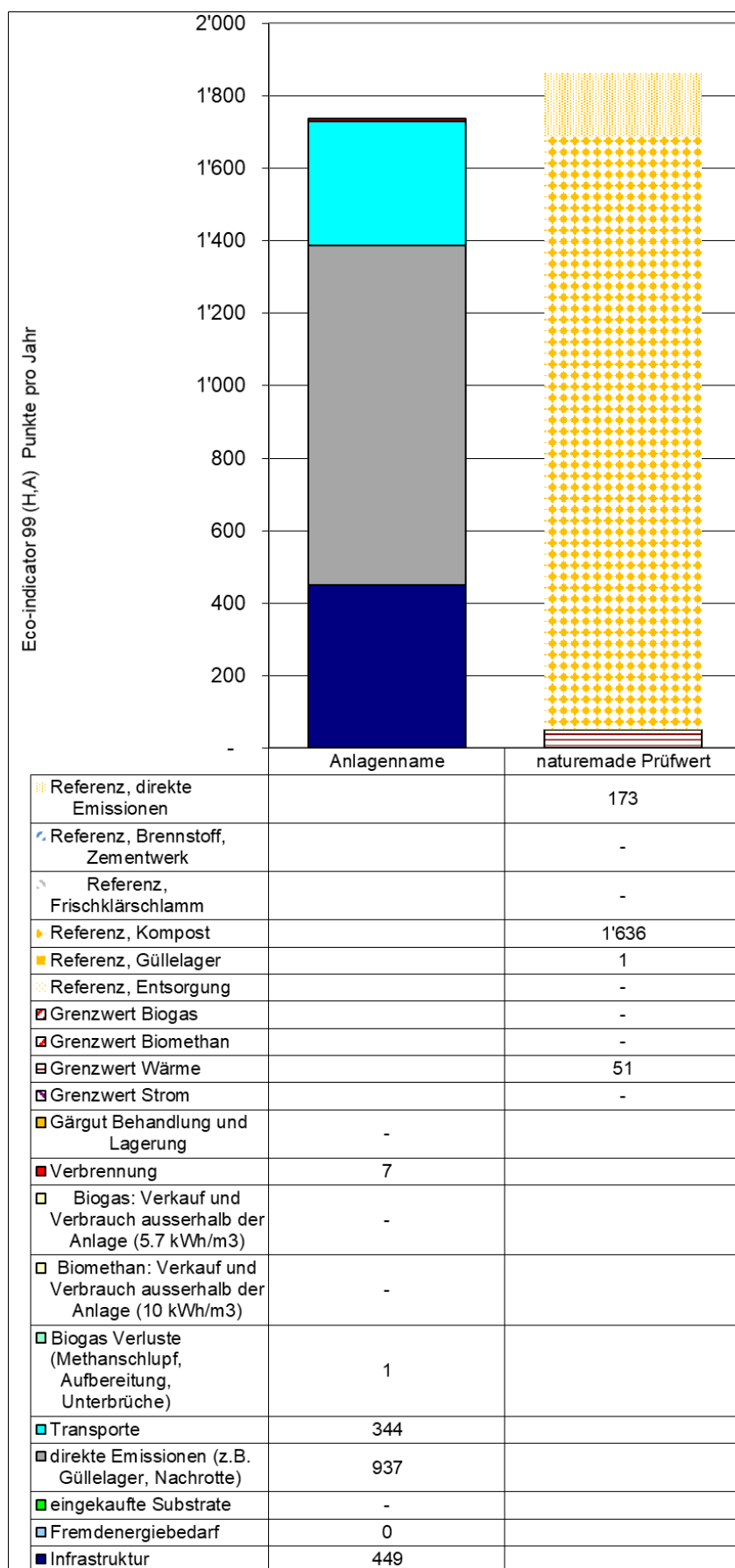


Fig. 3.6 Beispiel für die Prüfung des globalen Kriteriums im Kennwertmodell

## 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.<sup>20</sup> 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 der Anlage 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.

### 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 Eingaben müssen für den Betrieb der Anlage für den Zeitraum von einem Jahr eingegeben werden.

Die Hintergrundfarben für Eingabefelder werden in der grafischen Ergebnisdarstellung wieder verwendet damit klar ist welche Eingaben auf welchen Teil der Ergebnisse haben.

In einigen Feldern sind bei den Texteingaben nur bestimmte Werte zulässig. Dies wird mittels Datenüberprüfung sichergestellt.

Im Kennwertmodell werden Angaben zu finanziellen Erträgen und Aufwendungen abgefragt. Diese sind jeweils aus Sicht des Anlagenbetreibers positiv (Ertrag) bzw. negativ in der jeweiligen Währung als Summe des Referenzzeitraums einzugeben.

Transportkosten müssen dabei grundsätzlich nicht berücksichtigt werden, da Transporte mit entsprechenden Kilometern (oder Treibstoffverbräuchen) eingegeben werden.

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.

Da die Kennwertmodelle unter Umständen aktualisiert werden, sollten jeweils die aktuellen Modelle von der naturemade-Webpage heruntergeladen werden.

<sup>20</sup> Siehe <https://www.naturemade.ch/de/allgemeine-zertifizierungsunterlagen.html>

### 4.3 Allgemeine Systemgrenzen für das Kennwertmodell

Grundsätzlich wird die zertifizierte Anlage im Kennwertmodell aus Sicht des Anlagenbetreibers abgebildet. Zunächst werden 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. Auch die Weitergabe von genutzten Substraten und Materialien zur weiteren Behandlung und Entsorgung wird auf der Input Seite verbucht, wenn hierfür eine Entsorgungsgebühr anfällt. 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.

Der für Transporte verbrauchte Diesel oder Erdgas muss nicht im Modell eingegeben werden. Falls der Treibstoffverbrauch allerdings genau bekannt ist, kann er auch statt der Transportkilometer eingegeben werden wodurch die Berechnung genauer wird.

Die Transportdistanzen werden grundsätzlich für die einfache Distanz eingegeben. Im Modell wird eine leere Rückfahrt berücksichtigt. Wenn das Transportmittel auf der Rückfahrt nachweisbar voll ausgelastet ist, kann die Transportdistanz in Rücksprache mit dem Zertifizierenden halbiert werden.

Alle Kennwertmodelle wurden für in der **Schweiz und weitere Länder** (siehe Kapitel 4.6.3.2) betriebene Energieanlagen erstellt. Die Anwendung der Modelle auf Anlagen, die in anderen Ländern betrieben werden, ist nicht möglich, da hierzu bestimmte Annahmen in den Hintergrunddaten wie z.B. Angaben zum Strommix angepasst werden müssten. Dies ist auf Anfrage möglich.

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

### 4.4 Datengrundlagen und Berechnung

Für alle Berechnungen wurden Hintergrunddaten der ecoinvent und ESU Datenbank mit der Ökobilanz-Software SimaPro (SimaPro 9) ausgewertet. Ausserdem wurden für dieses Projekt erhobene Daten in der Berechnung berücksichtigt. Die in SimaPro berechneten Ergebnisse wurden dann in die EXCEL Dateien mit den Kennwertmodellen übertragen.

---

Von ESU-services wurden zusätzliche Hintergrunddaten wie z.B. für die Trinkwasserbereitstellung in einer Reihe von Ländern erhoben und ergänzt (Jungbluth & König 2014). Integriert wurden in diese Datenbank auch aktuelle Daten für Erdölförderung, Erdgasförderung, Ferntransport, Verarbeitung, Distribution und Nutzung von Heizölen (Jungbluth & Meili 2018; Jungbluth et al. 2018a; Jungbluth et al. 2018b; Meili et al. 2018; Meili & Jungbluth 2018, 2019a, b).

Die ESU Datenbank enthält eine Reihe von zusätzlichen und aufdatierte Datensätze (Tab. 4.1). Insgesamt enthält die Datenbank über 5160 Datensätze.

Tab. 4.1 Übersicht über Korrekturen, Updates und Erweiterungen für die ESU Datenbank

Changed: 436	New: 133	Dataset	ESU database UVEK	Error corrected
1		basalt, at mine/RER	OK	Fehler bei Berechnung der Gesamt-PM-Emissionen, Fehler bei Berechnung des Land Use
3		anaerobic digestion plant, biowaste; anaerobic digestion plant, agriculture und anaerobic digestion plant covered, agriculture	OK	Ersterer wurde mit Daten aus der Biogasanlage Wauwil (axpo) ergänzt. Neue Daten für Landverbrauch, Beton und Stahl, restliche Daten sind gleich wie v2.2. Letzterer wurde mit "uncovered" harmonisiert, da davon ausgegangen wird, dass covered = uncovered & Folie. Zum Teil wurden die Werte neu gerechnet, zum Teil wurden die nachgefragten Materialien harmonisiert.
2		Irrigating/US and /CH	OK	Country specific water flows implmented
	18	Photovoltaics, Rockwool, Flexcell, flumroc	OK	Import LC-inventories
	42	Flooring Daten, Klingler, Umweltchemie	OK	Import LC-inventories, 42, viele DS Namen Änderungen
1		Bailing	OK	Added disposal of silage foil
1		Poultry manure, dried, at regional storehouse/CH U	OK	Added Nitrogen as a biotic resource input
57		wood cogen, furnaces	OK	Replace wood ash to landfarming to municipal incineration. Landfarming is not allowed for these plants
1		electricity, wood, at distillery	Deleted	Unit war kg statt kWh
1		Process-specific burdens, municipal waste incineration/CH U	OK	Update Dioxin Emission gemäss Dinkel 2012 auf 0.0006 ug/kg
1		naphtha, APME mix, at refinery/kg/RER	OK	Links replaced with Naphtha, at refinery/kg/RER U
4		Datasets "heat, 10kW and 100kW non-modulating/CH U"	OK	Outdated technology. Links replaced with "light fuel oil, average/CH U"
5		waste management infrastructure	OK	Replacement of 10kW heatings with 100kW
3		at mine, datasets	OK	Replacement of 10kW heatings with 100kW
6	20	tap water	OK	Replaced and deleted the outdated datasets from v2.2 and KBOB 2016 with new LCI by ESU
1		Epichlorohydrin, from hypochlorination of allyl chloride, at plant/RER U	OK	Water consumption reduced by factor 1000
1		iron ore, 46% Fe, at mine/GLO	OK	Particles reduced by factor 10 according to Email by World Steel, project trade for BAFU
1		hard coal, at mine/IN	OK	Uncertainty bug corrected. Lognormal instead of Normal
57	1	agricultural products updated emission factors	OK	Added impacts of peat and land transformation, corrected land use categories
1		Peat, at mine/NORDEL	OK	Update inventory
1		carbon black	OK	Crude oil input updated crude oil, import mix, at long distance transport/kg/RER U
202	7	crude oil and natural gas	OK	Update with LCI datasets for 2019, GLO only for ESU
12	10	rare earth metals update and Ruthenium	OK	Update with 674 Project data with new price allocation and additional by-products
1		electricity mix, DE	OK	Update 2019
1		natural gas mix, DE	OK	Update 2019
7		Natural gas, low pressure/ CH	OK	Input RER instead of CH for all RER datasets. RER DS linked to CH Input
2		tap water, at user CH/RER	OK	link to new nomenclature of data
	1	activated carbon	OK	new dataset
2		solid manure spreading	OK	nitrogen ressource added
1		crude coconut oil PH	OK	electricity mix adapted
	4	electricity PH	OK	imported
	1	operation barge	OK	old data imported
	1	disposal flumroc	OK	imported
	4	electricity, parameterized	OK	imported
1		methanol	OK	gas inputs corrected
	6	oil and gas GLO	OK	added
	6	passenger car /DE	OK	rough assumption with fuel use
35		data biogas project 320	OK	Updated prices for allocation
1		vegetable oil, from waste cooking oil	OK	glyzerine changed also to waste input
16		operation datasets for transport	OK	import old KBOB datasets
1		zinc, primary, at regional storage	OK	zinc emissions to air, 4.4E-5 according to ecoinvent v3.6, ROW
4	12	electricity mixes, renewable RER and DE	OK	
2		biogas, production mix CH/RER	OK	Update of inputs for 2018

Die generelle Umstellung auf ecoinvent v3.x Daten ist aus Sicht von ESU-services weiterhin noch nicht zu empfehlen.

## 4.5 Holzenergieanlagen

Das Kennwertmodell für Holzenergieanlagen wurde seit 2013 nicht mehr aktualisiert. Deshalb gelten hierfür weiter auch die Beschreibungen im früheren Bericht (Jungbluth & Flury 2013).

Wärme aus Holzheizungen und Wärme und Strom aus Holzheizkraftwerken sowie Holzvergasungsanlagen werden in einem Kennwertmodell zusammengefasst. Es sind sowohl Holzheizkraftwerken als auch reine Wärmeerzeugungsanlagen in das Kennwertmodell integriert. Hierbei handelt es sich um Stückholz-, Holzschnitzel- und Pellets-Feuerungen im Leistungsbereich > 70 kW. Für das Modell werden die Sachbilanzdaten des ecoinvent Datenbestands v2.2 als Grundlage verwendet (ecoinvent Centre 2010). 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). Keine der Holzheizungen bleibt unter dem Grenzwert von 9.1 Millipunkten pro kWh Wärme (Tab. 3.7). Bei allen in ecoinvent (ecoinvent Centre 2010) 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 (ecoinvent Centre 2010) angenommen, dass ein Teil der Asche auf Landwirtschaftsland verstreut wird. Auch dies erscheint für Anlagen in dieser Grössenordnung nicht besonders realistisch. Wenn diese Emissionen wegfallen 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).

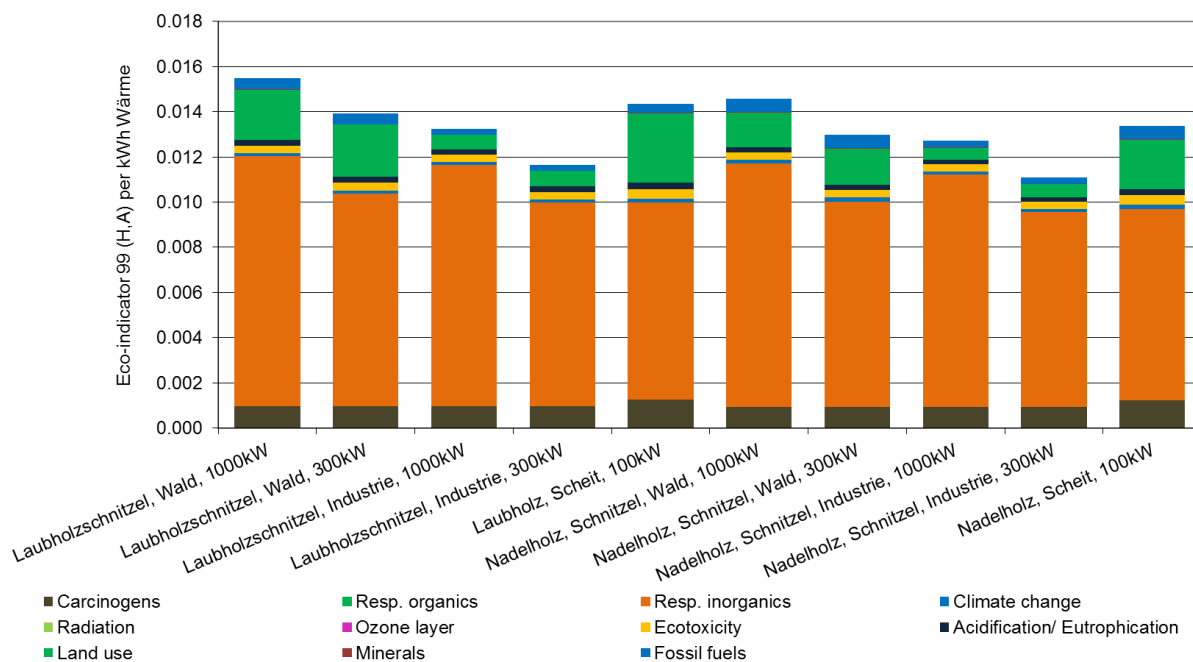


Fig. 4.1 Vergleich der Wärmebereitstellung mit unterschiedlichen Holzheizungen (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh).

#### 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 entsprechenden naturemade Grenzwerten gemäss Kapitel 3. 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. Ein ORC Kraftwerk wird ohne Luftfilter modelliert und hat deshalb besonders hohe Partikelemissionen.

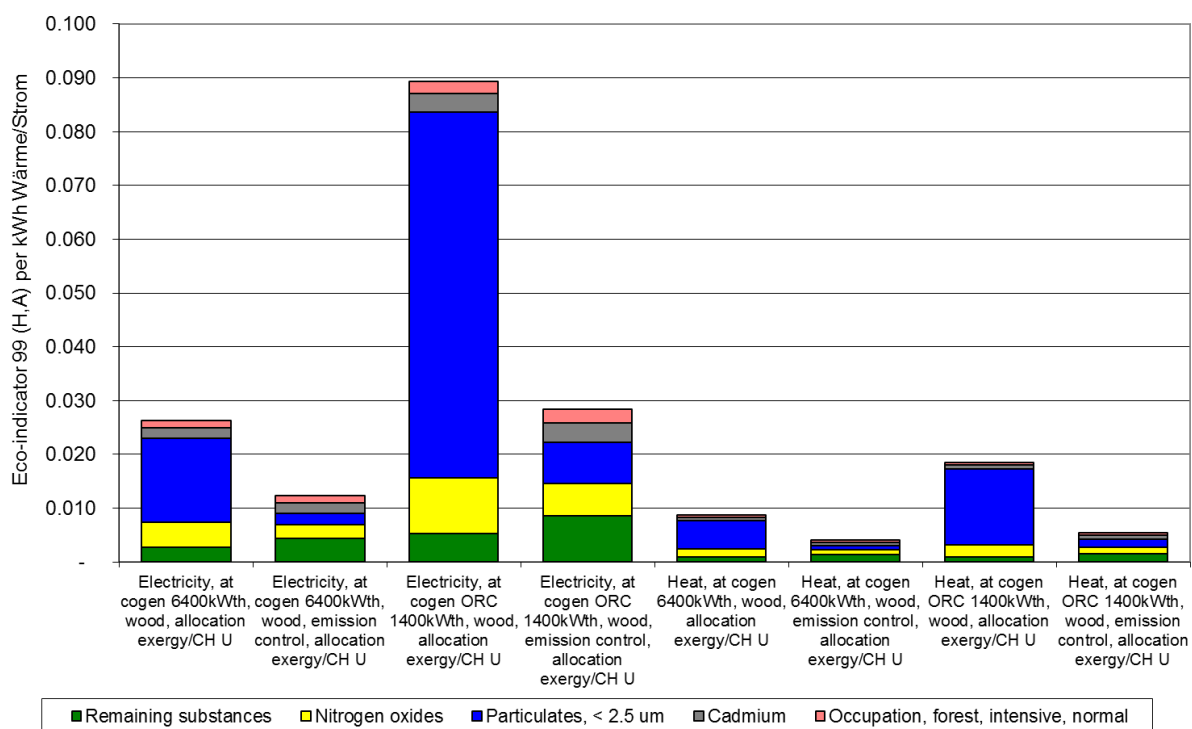


Fig. 4.2 Vergleich der Strom- und Wärmebereitstellung mit unterschiedlichen Holzheizkraftwerken (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh).

#### 4.5.1.3 Holzvergasung

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

Mit einem ähnlichen Verfahren soll zukünftig auch Bio-SNG (Synthetic Natural Gas) erzeugt werden. Dazu soll ein Wirbelschichtvergaser der Firma Repotec verwendet werden und das Synthesegas mit Hilfe eines Wirbelschicht-Katalysators methanisiert werden. Für die geplante Anlage „Energie-Hub Baden“ wurde im Rahmen des Projektes auf Grundlage von Planungs- und Literaturdaten eine erste Ökobilanz berechnet.

#### 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 Biometan 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 Holzschnitzel 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.

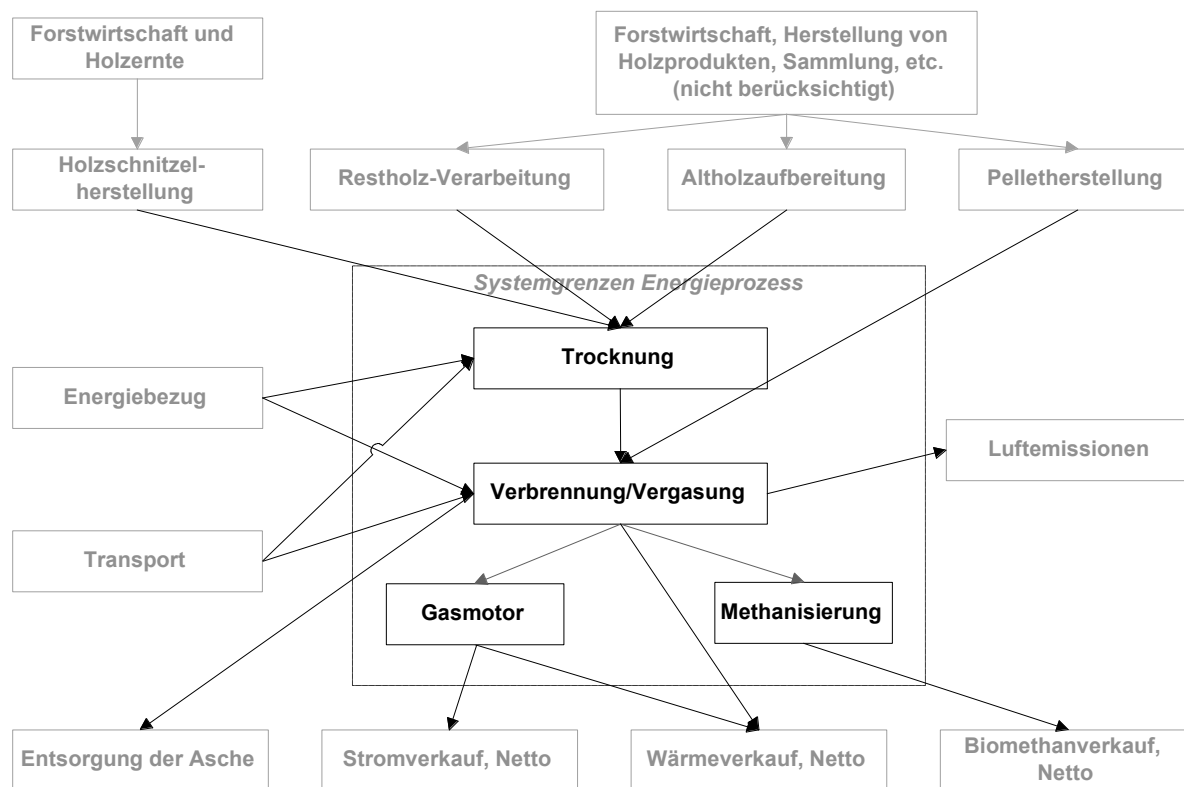


Fig. 4.3 Systemgrenzen der Eingaben für die Holzenergieanlage im Kennwertmodell.

### 4.5.3 Kenngrößen

Die Auswertung bestätigt die 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 (t), falls eine Gasreinigung betrieben wird
- 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 eingegeben 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 und mit Transportkilometern erfasste Lkw Fahrten.
- Erdgasverbrauch (kWh) z.B. zum Beheizen der Gebäude oder zur Holz-trocknung.
- *Bezug von Abwärme, z.B. zur Schnitzeltrocknung (kWh)*<sup>21</sup>
- Emission von Partikeln und NO<sub>x</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>) bezogen auf 11 bzw. 13% O<sub>2</sub> 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 (mg/Nm<sup>3</sup>) 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 der Eigenverbrauch von Wärme zum Betrieb der Anlage selbst, z.B. zum Trocknen der Holzschnitzel oder zur Beheizung des Betriebsgebäudes.
  - Biomethan, aufbereitet auf 96% Methangehalt, direkt verkauft oder in ein Erdgasnetz eingespeist (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 NO<sub>x</sub> Emissionen) werden bereits im Kenngrössenmodell erhoben. Der Verbrauch von Ammoniak und evtl. erhöhte NH<sub>3</sub> 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.

Im Kennwertmodell werden die Eingabewerte für NO<sub>x</sub> und Staub mit den Grenzwerten gemäss Luftreinhalteverordnung verglichen (LRV 2009). Für Stationäre Verbrennungsmotoren, also auch BHKW, definiert die Schweizer Luftreinhalteverordnung (LRV) in Anhang 2, Ziffer 824 für Anlagen welche gemäss Anhang 5, Ziffer 41 jährlich zu mindestens 80% mit Biogas betrieben werden, einen NO<sub>x</sub>-Grenzwert von 400 mg/Nm<sup>3</sup> für eine Feuerungswärmeleistung bis 100 kW, 250 mg/Nm<sup>3</sup> für eine Feuerungswärmeleistung ab 100 kW und 100 mg/Nm<sup>3</sup> für eine

<sup>21</sup> Kann im KWM zurzeit noch nicht erfasst werden.

Feuerungswärmeleistung über 1 MW (bezogen auf einen Sauerstoffgehalt im Abgas von 5 % vol). Es werden die Zahlen gemäss Tab. 4.2 verwendet.

Tab. 4.2 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.

**naturemade Star Prüfung: Energieprodukte aus Holzenergieanlagen**

Eingabe:

Anlagenname und Referenzzeitraum:

Anlagentyp:

Inputs	Schütt-kubikmeter	relative Feuchte (W)	atro	Mittlere einfache Transportentfernung, Lkw	Mittlere einfache Transportentfernung, Bahn	Mittlere einfache Transportentfernung, Schiff
Holzschnitzel, Laubbaum	0 Sm3	45%	0 t	50 km	0 km	0 km
Holzschnitzel, Nadelbaum	0 Sm3	45%	0 t	50 km	0 km	0 km
Holzschnitzel, Restholz (z. B. aus Sägerei)	0 Sm3	29%	0 t	10 km	0 km	0 km
Holzpellets	0 Sm3	9%	0 t	50 km	0 km	0 km
Holzschnitzel, Altholz	150'000 Sm3	29%	28'350 t	26 km	0 km	0 km
Holzmenge	150'000 Sm3		28'350 t			
Rapsölmethylester	54.0 t		54.0 t	29 km	0 km	0 km
Gesamtinputmenge für Anlage	115'164'000 kWh	2'902 kWh/t FM	768 kWh/Sm3	1'033'506 tkm	0 tkm	0 tkm

**Energiebezug der Anlage (Systemgrenzen beachten)**

Strombezug aus Netz: 0 kWh  
 Heizölverbrauch: 0 kWh  
 Dieserverbrauch (10 kWh/Liter): 0 kWh  
 Erdgasverbrauch: 560'764 kWh

**Luftemissionen im trocken. Abgas bez. auf 11%/13% O<sub>2</sub> / Feuerungswärmeleistung**

Stickoxide NO<sub>x</sub> als NO<sub>2</sub> / Emissionsgrenzwerte gemäss LRV: 110 mg/Nm<sup>3</sup> (250 mg/Nm<sup>3</sup>)  
 Staub (= Feststoffe), PM<sub>10</sub> / Emissionsgrenzwerte gemäss LRV: 2 mg/Nm<sup>3</sup> (20 mg/Nm<sup>3</sup>)  
 Blei / Emissionsgrenzwerte gemäss LRV: 0.08 mg/Nm<sup>3</sup> (1.0 mg/Nm<sup>3</sup>)  
 Cadmium / Emissionsgrenzwerte gemäss LRV: 0.002 mg/Nm<sup>3</sup> (0.1 mg/Nm<sup>3</sup>)  
 Zink / Emissionsgrenzwerte gemäss LRV: 1.00 mg/Nm<sup>3</sup> (1.0 mg/Nm<sup>3</sup>)

**Outputs der Anlage**

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: 1'000'000 kWh  
 Eigenverbrauch der Anlage: 100'000 kWh  
 Strom: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage: 900'000 kWh  
 Einspeisung Wärmeverbund / Verteilverluste: 50'000'000 kWh (10%)  
 Nahwärmenutzung: Verkauf, Verbrauch im Gebäudekomplex: 0 kWh  
 Total Wärmeverkauf (nach Abzug Verteilverluste): 45'000'000 kWh  
 Gesamtmenge Energieprodukte: 69'970'000 kWh  
 energetischer Wirkungsgrad: 61%

Einfache Distanz Anlage - Ausbringung/Entsorgung:   
 Aschen zur Entsorgung:  710.0 t

**Resultate:**

ET99-aggregated, Hierarchist: Holzvergäsung Prüfwert 3.31E+05 6.45E+05 **51%**

Globales naturemade Star Kriterium 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, Schlachtabfällen, Klärschlamm und Gülle wird zusammen in einem Kennwertmodell abgebildet. Das Kennwertmodell ermöglicht das Zertifizieren von Anlagen, die Strom und Wärme beziehungsweise Biogas oder Biomethan verkaufen. Hierzu wird der Aufbereitungsschritt von Biogas zu Biomethan in das Kennwertmodell aufgenommen. Es gibt keine Einschränkung für einen maximalen Co-Substrat Anteil.

#### 4.6.1 Auswertungen

Es gibt Flüssig- und Feststoffvergärungsanlagen. Flüssigvergärungsanlagen (landwirtschaftliche Biogasanlagen) sind darauf ausgelegt, flüssige Substrate mit Feststoffgehalten von maximal 15 % zu verarbeiten. In Feststoffvergärungsanlagen (gewerblich-industrielle Biogasanlagen) hingegen werden Substratgemische mit Trockensubstanzgehalten von bis zu 45 % verarbeitet. In der Praxis gibt es inzwischen viele Verfahrensvarianten mit fließenden Übergängen (siehe BAFU-Publikation Kompostier- und Vergärungsanlagen). Biogas aus Abwasserreinigungsanlagen (Klärgasanlage mit Co-Vergärung) liegt ausserhalb dieser Definition. Entsprechend gibt es alle 4 Varianten:

- 1) Flüssigstoffvergärungsanlagen die nur Flüssige Reststoffe erzeugen (z.B. Anlagen die Gülle nutzen und den flüssigen Hofdünger wieder auf die Felder ausbringen).
- 2) Feststoffvergärungsanlagen die abgesehen vom Perkolat primär festen Kompost erzeugen.
- 3) Trockenfermentation wie z.B. klassische Kompogasanlage (mittlerer Wassergehalt rund 75 %) für die Grüngutvergärung. Austrageitig entnimmt eine Pumpe das zähe Gärrest. Ein Drittel gelangt zur Impfung zurück zum Eintrag. Der Rest wird mit einer Presse in festes und flüssiges Gärrest getrennt.
- 4) Biogaserzeugung aus Klärschlamm. Im Faulturm zieht man nach der Vergärung oftmals die Flüssigkeit über dem Faulschlamm ab und führt sie direkt zurück in die ARA. Der Rest wird ausgepresst. Danach wird der feste Teil verbrannt und das Presswasser zurückgeführt.

##### 4.6.1.1 *Landwirtschaftliche und Grüngutanlagen*

In einem ersten Schritt wurden unterschiedliche Datensätze zur Biogasproduktion ausgewertet (Dinkel et al. 2009; Edelmann et al. 2001; Jungbluth et al. 2007; Schleiss & Edelmann 2000; Stucki et al. 2011). 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 der bei der Erstellung im Jahr 2010 verfügbaren Angaben dominiert bei der Grüngutvergärung das Verfahren von Kompogas.<sup>22</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.

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; Dinkel et al. 2012; 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 und sich durch die Ausbringung die Konzentration der Schwermetalle im Boden nicht so stark erhöht.

#### 4.6.1.2 Vergärung von Energiepflanzen

Die Vergärung von Energiepflanzen und gekauften Substraten wurde beispielhaft in Ökobilanzen untersucht (Stucki et al. 2011). Der Anbau der Energiepflanzen verursacht hohe Umweltbelastung und eine Zertifizierung für das naturemade star Label ist damit in der Regel nicht möglich.

Im Kennwertmodell können einige landwirtschaftlich produzierte Substrate, wie z.B. Mais, Gras oder andere Energiepflanzen beispielhaft eingegeben werden.

Gemäss Beschluss VUE gelten nur Mais und Wiese intensiv als Energiepflanzen. Da die Verwendung von Energiepflanzen gemäss lokalen Kriterien ausgeschlossen ist, wird im KWM ein Fehler für die Zertifizierung angezeigt, wenn hier eine Eingabe gemacht wurde.

Weitere Anbauprodukte können als Zwischenfrüchte ohne Konkurrenz zu Nahrungsmitteln eingegeben werden (z.Zt. Grünroggen, Klee gras, Gras IP, Gras Bio, Wiese extensiv). Evtl. ist eine Zertifizierung der Anlage als naturemade star dann aber nicht mehr erreichbar da der Anbau zu hohe Umweltbelastungen verursacht.

#### 4.6.1.3 Infrastruktur der Biogasanlagen

Die Datengrundlage für den Bau (Infrastruktur) bei landwirtschaftlichen Anlagen wurde für das Update 2013 überprüft, die vorhandenen Daten wurden harmonisiert und im KWM wurden die Berechnungen angepasst. Es wird berücksichtigt, dass landwirtschaftliche Anlagen in der Regel über eine Abdeckung verfügen. Für landwirtschaftliche Anlagen, die mehr als 20% Co-Substrate vergären, wird ein Korrekturfaktor für die Infrastruktur eingefügt da hier eine aufwändigere Infrastruktur notwendig ist. Dazu wird für den prozentualen Massenanteil von Co-Substraten die Infrastruktur der Grüngutvergärung verwendet. Die Infrastruktur für Grüngutvergärung wurde 2013 zuletzt überprüft. Basierend auf einer damals aktuellen Anlage<sup>23</sup> wurden die verwendeten Mengen an Zement, Stahl und Landverbrauch berechnet. Die weiteren Materialverbräuche wurden beibehalten wie sie in ecoinvent v2.2 modelliert wurden (ecoinvent Centre 2010; Jungbluth et al. 2007).

<sup>22</sup> Persönliche Auskunft Konrad Schleiss, 19.11.2008.

<sup>23</sup> Persönliche Auskunft Bernhard Wanner, axpo, Februar 2013

#### 4.6.1.4 Klärschlamm

Zunächst wurden die im Rahmen der ecoinvent Datenbank erhobenen Daten ausgewertet (Jungbluth et al. 2007). In der ecoinvent 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.

#### 4.6.1.5 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 in der Schweiz genauso wie der normale Klärschlamm verbrannt. Zur Lagerung dieser Substrate bestehen eine Annahmestelle und Chromstahl-Lagertanks. Gemäss dem Technischen Bericht der ARA Bern wurden die in Tab. 4.3 gezeigten Co-Substrate gegen Entgelt angenommen (arabern 2008). Zusätzlich wurden Schlämme von anderen Kläranlagen in der ARA Bern behandelt. Ethanol-Abwasser wurde unentgeltlich entgegengenommen und direkt in die Kläranlage gegeben anstatt in den Gärbehälter.

Tab. 4.3 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 in der ARA berücksichtigt.

#### 4.6.1.6 Biogasanlagen für Industrieabwässer

Bei den industriellen Anlagen wird die anaerobe Vergärung ausschliesslich zur Vorreinigung der organisch belasteten Abwässer eingesetzt, vor allem um so die ARA-Gebühren zu reduzieren. Es muss dann nachträglich nur noch jene stark reduzierte Menge von organischen Stoffen belüftet werden, die nach der Vergärung noch übrigbleibt. Das entstehende Biogas ist eine willkommene Beigabe zur energetischen Nutzung im Betrieb.

Im Jahr 2011 standen in der Schweiz 21 Biogasanlagen auf lebensmittelverarbeitenden Betrieben sowie in der Papierindustrie im Einsatz. In den meisten Anlagen wurde das Biogas vollständig zur Wärmeproduktion für den jeweiligen Betrieb genutzt. Nur in drei Anlagen gab es ein BHKW. Im Folgenden einige Beispiele von Anlagen in der Schweiz:<sup>24</sup>

- 1 auf einer Brauerei
- 3 auf Kartoffeln verarbeitenden Betrieben
- 4 auf Brennereien
- 2 auf Zuckerfabriken
- 1 auf einer Tiermehlfabrik
- 2 auf Papier- und Kartonagenfabriken
- 1 bei einem Tiefkühlprodukte-Hersteller
- 1 auf einer milchverarbeitenden Industrie
- 1 auf einer Hefefabrik
- 1 bei einem Gewürzmittel-Hersteller
- 1 Co-Fermenter auf einer ARA mit Flotatschlamm

Alle Systeme (ausser des Co-Fermenters) sind sogenannte Hochleistungs-Fermenter (UASB oder Kontaktverfahren). Das vorbehandelte Abwasser aus der Biogasanlage wird nach der Vergärung in eine Kläranlage geleitet oder evtl. im Kreislauf des Betriebes wiederverwendet. Oft wird dazu der bakterienreiche Schlamm vorher in Absetzbecken oder Schlammseparatoren abgetrennt und rezykliert. Das Substrat wird nicht als Dünger verwendet.

Für Anlagen zur Vorbehandlung von Industrieabwässern stehen bisher nur wenige Ökobilanzdaten zur Verfügung. Als Referenz müsste hier die vollständige Klärung in der kommunalen Anlage betrachtet werden. Diese Art von Anlagen für Industrieabwässer können im Kennwertmodell noch nicht standardmässig geprüft werden.

##### 4.6.1.6.1 Papierfabrik

*Anpassung im Oktober 2019*

Es wurde eine Anlage bei einer Papierfabrik untersucht. Folgende Anpassungen wurden durchgeführt.

- Zeile für Eingabe «Abwasser, Papierfabrik» mit eigenen Berechnungen zum Biogasertrag.
- Eingabemöglichkeit für verschiedene Chemikalien, die eingesetzt werden im Blatt Substrate unter Titel «Hilfsstoffe, industrielle Anlage»
- Referenzberechnung für Vorklärung des Abwassers vor Ort und dann Einleitung in eine kommunale Kläranlage.

<sup>24</sup> Informationen in diesem Abschnitt gemäss [http://www.biogas.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7&Itemid=23](http://www.biogas.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=23), Präsentation von Arthur Wellinger (2010) und Telefongespräch mit Hans Engeli, engeli engineering, Neerach am 16.3.2011.

- Berechnung für Abwasserentsorgung

#### 4.6.1.7 *Verbrennung von Biogas zur Strom- und Wärmeproduktion*

Grundsätzlich bestätigt die Auswertung der in ecoinvent (ecoinvent Centre 2010) verfügbaren Daten zur Verbrennung von Biogas die bekannten Einflussparameter wie z.B. Zündölverbrauch. Untersuchungen nach 2007 zeigten, dass einige Luftemissionen deutlich höher sind als bisher angenommen. Insbesondere Stickoxide sind bei der Bewertung relevant.

Im Modell erfasst wird die Emission von Stickoxiden.

Für Stationäre Verbrennungsmotoren, also auch BHKW, definiert die Schweizer Luftreinhalteverordnung (LRV) in [Anhang 2, Ziffer 824](#) für Anlagen welche gemäss [Anhang 5, Ziffer 41](#) jährlich zu mindestens 80% mit Biogas betrieben werden, einen NO<sub>x</sub>-Grenzwert von 400 mg/Nm<sup>3</sup> für eine Feuerungswärmeleistung bis 100 kW, 250 mg/Nm<sup>3</sup> für eine Feuerungswärmeleistung ab 100 kW und 100 mg/Nm<sup>3</sup> für eine Feuerungswärmeleistung über 1 MW (bezogen auf einen Sauerstoffgehalt im Abgas von 5 % vol).

Wird Biogas nur in einer Fackel verbrannt sind höhere Werte zulässig. Dies wird im Modell nicht abgefragt

Im Modell ist bei verschiedenen Verbrennungen ein gewichtetes Mittel einzutragen.

### 4.6.2 Systemgrenzen

Das Kennwertmodell ist nur für Biogasanlagen gültig, die Substrate gemäss der detaillierten Liste im Modell verwenden.

#### 4.6.2.1 *Anlagentypen*

Bei den Biogas-Anlagen gibt es unterschiedlichen Typen, die unterschiedliche Substrate vergären können. In Tab. 4.4 wird die Abgrenzung verschiedener Typen von Biogasanlagen gezeigt. Gemäss dieser Abgrenzung muss der Anlagentyp im Kennwertmodell gewählt werden. Schlachtabfallvergärungen können unter dem Anlagentyp Grüngut geprüft werden.

Tab. 4.4 Systematische Abgrenzung verschiedener Biogas-Anlagentypen im Kennwertmodell

Bezeichnung/Auswahl	Andere Bezeichnungen	Hauptsubstrat	Infrastruktur und Standort	Verwendung Gärrest	Hauptzweck	Referenz Co-Produkte
<b>Grüngut und industrielle Vergärungsanlagen</b>	Kompogas	Grüngut, Verschiedene Substrate aus Haushalten und Betrieben	Inkl. Vor- und Nachbehandlung, in Industriegebiet	Kompost	Energie	Kompost
		Gastroabfälle, Schlachtabfälle Kat. 2 und 3	Inkl. Vor- und Nachbehandlung, in Industriegebiet, Hygienisierung	Kompost	Energie	Kompost
	Industrielle Vergärung	Schlachtabfälle, Tierkadaver, Kategorie 1, (auch in kleinen Anteilen)	Inkl. Vor- und Nachbehandlung, in Industriegebiet oder Grüngutanlage, Hygienisierung	Verbrennung in KVA oder Zementwerk	Abfallbehandlung	Direkte Verbrennung von Kat. 1, keine Referenz für andere Inputs
<b>Landwirtschaft</b>		50% Gülle und Mist plus Co-Substrat	Teilweise Vor- und Nachbehandlung, beim Bauernhof in Landwirtschaftszone	Hofdünger, evtl. Kompost	Energie	Direkte Ausbringung
<b>Kläranlage</b>		Klärschlamm	Hauptsächlich Gärbehälter, bei kommunaler Kläranlage	Verbrennung	Abfallbehandlung	Direkte Verbrennung von Kat. 1, keine Referenz für andere Inputs
Energiepflanzen, Nicht zur naturemade Prüfung zugelassen		Energiepflanzen (Mais, Grassilage, Grünroggen, GPS, etc.)	Teilweise Vor- und Nachbehandlung, beim Bauernhof in Landwirtschaftszone	Hofdünger, evtl. Kompost	Energie	Keine
Industrielle Abwässer (Prüfung z.Zt. nur für Einzelfälle möglich)	Industrielle Vergärung	Abwasser aus einem Produktionsprozess	Hauptsächlich Gärbehälter, Industriebetrieb in dem Abwässer anfallen	Einleitung in Gewässer bzw. kommunale Kläranlage	Vorklärung	Abbau CSB in Vorklärung oder kommunaler Kläranlage

#### 4.6.2.2 *Biogasanlage*

Für das Kennwertmodell werden nach Möglichkeit 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 die 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.

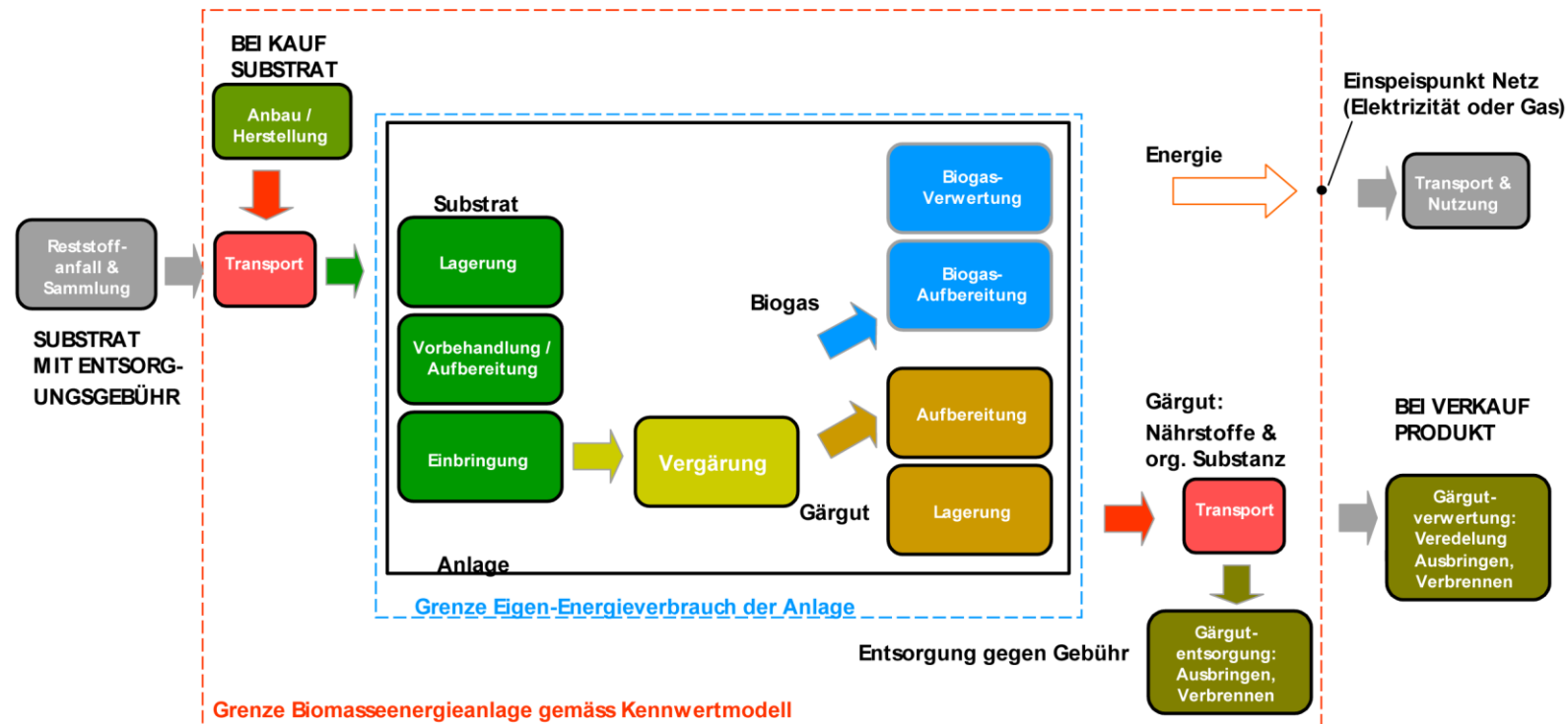
Bei der Strom- und Wärmeproduktion der Anlage ist der Bedarf für die dem Eigenverbrauch zugeordneten Anlagenteile in Abzug zu bringen. Erfasst wird somit die Nettoproduktion der Biogasanlage.

Für den Verkauf und Verbrauch von Biogas bzw. Biomethan ausserhalb der Anlage ist die Verteilung im Hochdrucknetz bis zum Abnehmer ab Hochdrucknetz bzw. Übergabe an Niederdrucknetz enthalten. Dazu gehört die Pipeline, Erdgasbedarf und Emissionen im Netz. Grundlage sind ecoinvent Datensätze zur Verteilung von Biogas.

Eine weitergehende Aufbereitung der Gärreste zu höheren Qualitäten als die im Kennwertmodell aufgeführten Optionen wird nicht im KWM erfasst. D.h. dass z.B. der Wärmebedarf zur Herstellung von Gärrest-Pellets als externe Nutzung eingetragen wird. Auf der anderen Seite darf dann auch nur der finanzielle Ertrag für nicht aufbereitetes Gärrest eingetragen werden. Der gesamte Anlagenteil zur weitergehenden Aufbereitung wird im Modell also ausgegliedert da dieser nicht direkt für die Bioenergieerzeugung notwendig ist.

Dies gilt z.B. auch für die Klärschlammverbrennung. Hier muss die Aufbereitung soweit gerechnet werden, dass die Qualität vergleichbar ist mit unvergärem Klärschlamm. Weitergehende Technologien wie z.B. P-Rückgewinnung in der KVA werden nicht betrachtet.

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



Herstellung und Anlieferung Substrate: Anbau / Herstellung, Transport  
 Lagerung der Substrate: Annahme, Zwischenlagerung  
 Vorbehandlung / Aufbereitung: Triage, Zerkleinerung, Hygienisierung, Rühren, Anmischen (Beim Eigen-Energieverbrauch nur Verarbeitungsschritte vor Ort)  
 Einbringung: per Feststoffeintrag, Pumpen, Schnecken  
 Vergärung / Biogasproduktion: Fermenter, Rührwerke, Gasspeicherung  
 Aufbereitung Gärgut: Mechanische Separation, Nährstoffaufbereitung, Nachrotte, Kompostierung, Siebung, Stapelung, Eindickung, Entwässerung, Trocknung, Absackung (Weitere Veredelung, z.B. Pelletierung, liegt ausserhalb der Systemgrenze)  
 Lagerung Gärgut: Lagerung Gärgut vor Verwertung  
 Verwendung Gärgut: Ausbringen mit Schleppschlauchverteiler, Schleppschuh, Cultan, Mistzetter, Trocknen, Verbrennen  
 Biogas Aufbereitung: Entfeuchtung, Entschwefelung, Aufbereitung zu Erdgasqualität  
 Biogas Verwertung: BHKW, Gaseinspeisung

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

### 4.6.2.3 Klärschlammvergärung

Die folgende Fig. 4.6 zeigt die Systemgrenzen für die Gesamtbilanz der Biogaszeugung in einer 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.

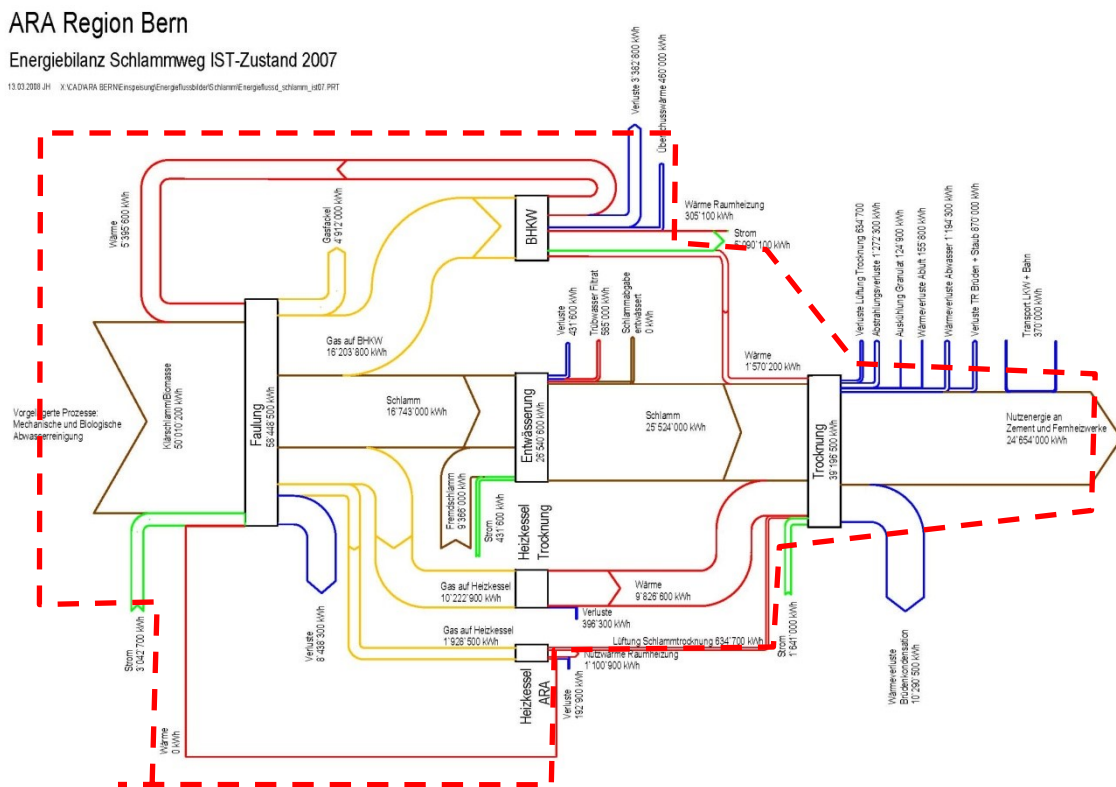


Fig. 4.6 Systemgrenzen für die Bilanzierung der Vergärung in einer Kläranlage aufgezeigt anhand eines Energieflussdiagramms.

## 4.6.3 Regionalisierung des Kennwertmodells

### 4.6.3.1 Ausgangslage

Die Kennwertmodelle wurden zunächst für die Schweiz entwickelt. Es besteht aber auch ein Interesse für die Zertifizierung in anderen Ländern. Teilweise werden dann Zertifikate für die Produkte in der Schweiz verkauft.

Aus verschiedenen Gründen ist es zurzeit nicht ohne weiteres möglich, das Modell für jedes beliebige Land anzuwenden:

Handbuch für die naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums  
ESU-services GmbH

- Alle Annahmen im Modell wurden für Anlagen in einzelnen Ländern getroffen, z.B. verwendeter Strommix, Bilanz der Transportmittel, gesetzliche Grenzwerte, etc.
- Die Eingabe der Preise für Entsorgung und Einkauf von Substraten erfolgt in der lokalen Währung. Das Modell hängt damit auch von Wechselkursschwankungen und Preisniveauunterschieden ab, wenn Preise in einer anderen Währung eingegeben werden müssen.
- Auch die Situation bei den Referenzprodukten ist im Ausland nicht grundsätzlich die gleiche wie in den bisher betrachteten Ländern. Gründe hierfür sind z.B. unterschiedliche Gesetze für Abfallbehandlung und unterschiedliche Marktsituationen. In einigen Ländern könnte auch die Deponierung von Abfällen noch als Referenzsituation eine Rolle spielen.

#### 4.6.3.2 *Bisher berücksichtigte Länder*

Im Kennwertmodell für Biogasanlagen wurde eine Option für die Angabe des Standortes eingefügt. Die Erweiterungen fanden in folgenden Jahren statt:

- 2021 für Spanien, Version: 18, Preise in Euro bisher wie in Deutschland angenommen.
- 2020 für Grossbritannien, Version: 17.0, Preise in britischen Pfund (GBP)
- 2018 für Dänemark, Version: 12.0, Preise in dänischen Kronen (DKK)
- 2015 für Ungarn, Version: 10.0, Preise in ungarischen Forint (HUF)
- 2014 für Deutschland, Version: 9.0, Preise in Euro (EUR)
- 2010 für die Schweiz, Preise in Schweizer Franken (CHF)

#### 4.6.3.3 *Anpassungen für die Regionalisierung*

Folgende Arbeiten und Anpassungen wurden am KWM Biogas für die Regionalisierung in den oben genannten Ländern durchgeführt.

Im Modell wurde jeweils eine zusätzliche Auswahlmöglichkeit „Land XY“ implementiert.

Ein wichtiger Unterschied ist die Beurteilung des Strommixes. Dies ist z.B. wichtig, wenn die Anlage direkt Strom ab Netz bezieht, aber auch wenn Strom für die verwendeten Hintergrunddaten im Modell relevant ist. Deshalb wurde dieser Mix jeweils für den Standort angepasst.

Die Strommixe für die verwendete Datenbank (UVEK 2018) wurden letztmals 2008 aufdatiert. In Dänemark wurde der Anteil von Windstrom seitdem deutlich erhöht. Deshalb werden für alle 4 Länder im KWM der Stromverbrauch mit Daten aus der ecoinvent v3.6 Version gerechnet (ecoinvent Centre 2019). Diese wurden letztmals für 2014 aufdatiert.

Beim Referenzwert für Güllelagerung wurde für jedes Land eine Version mit dem entsprechenden Strommix implementiert. Durch die Neuberechnung gab es eine deutliche Erhöhung (4.5-facher Wert) für den Referenzwert für Klärschlammverbrennung durch die Verwendung von Daten aus der KBOB Datenbank (KBOB v2.2: 2016). Hauptgrund sind die dort neu modellierte NO<sub>x</sub> und Arsen Emissionen. Auch die Güllelagerung wurde für alle Länder mit Strommix Daten gemäss ecoinvent v3.x gerechnet.

Für das Referenzsystem Kompost aus der Vergärung, welches ebenfalls pro CHF berechnet wurde, wird der jeweilige Wechselkurs zum Schweizer Franken zur Umrechnung eingesetzt.

Die Referenzpreise für die genutzten Substrate wurden vom jeweiligen Auftraggeber recherchiert und dokumentiert. Dort wo keine Preise zur Verfügung stehen wurden diese aus Euro bzw. CHF auf andere Währungen umgerechnet. Dabei wird als Worst-Case Abschätzung jeweils der Minimalpreis eingesetzt.

- Zusätzliche Daten für Dänemark standen auf [www.statbank.dk/10080](http://www.statbank.dk/10080) zur Verfügung.

- Die Referenzpreise aller Substrate in Deutschland wurden soweit wie möglich neu recherchiert und dokumentiert. Dazu wurden eigene Recherchen im Internet und in den Deckungsbeiträgen (AGRIDEA & FIBL 2012) durchgeführt. Weitere Informationen, die von Arthur Wellinger zur Verfügung gestellt wurden, wurden berücksichtigt. Es handelt sich dabei entweder um Angaben von Landwirtschaftskammern (dabei wurden Preise aus dem Norden und Süden von Deutschland gemittelt) oder um marktdominierende Grosshändler. Einige der Preise stammen aus Werten des Fachverbands, der diese über ganz Deutschland gemittelt hat. Es wurden die Preise der zweiten Jahreshälfte von 2013 eingesetzt, weil sie eher dem Durchschnitt entsprechen. Die Preise 2012 waren durchwegs exorbitant hoch aus verschiedenen Gründen der Marktnachfrage und der Produktion.

Der Referenzwert für die Entsorgung beträgt 0.04 EI99-Punkte pro CHF Entsorgungsgebühr. Für andere Länder wurde der Referenzwert über den Wechselkurs in die entsprechende Landeswährung umgerechnet. Dies entspricht einer gewissen Vereinfachung, ist aber vertretbar, weil der Anteil des Bonus für die Entsorgungsdienstleistung am gesamten Prüfwert generell eher gering ist.

Alle Wechselkurse wurden mit Stand 17.11.2020 angepasst (Tab. 4.5). Dort wo keine Preise zur Verfügung standen, wurden diese aus bisherigen Währungen umgerechnet. Dabei wurde als Abschätzung jeweils der mittlere Preis eingesetzt.

Tab. 4.5 Wechselkurse die im Kennwertmodell zur Vergärung eingesetzt werden 11.2020

Wechselkurse 17.11.2020	
1	Preisschätzung
1.08	Umrechnung von Euro zu CHF
334	Umrechnung von HUF zu CHF
361	Umrechnung von HUF zu Euro
6.89	Umrechnung von DKK zu CHF
7.45	Umrechnung von DKK zu Euro
0.0206	Umrechnung von DKK zu HUF
1.2091	Umrechnung von GBP zu CHF

Die Berechnung wurde hinsichtlich der Referenzpreise von Co-Substraten angepasst, so dass die Werte in der Spalte „Finanzieller Ertrag (plus) bzw. Aufwand (minus), ohne Transportkosten, für die Anlage“ direkt in lokaler Währung eingegeben werden können und nicht mit dem schwankenden Wechselkurs angepasst werden müssen.

Alle Ökobilanzdaten, Referenz- und Prüfwerte wurden auf Grundlage von aktuellen Hintergrunddaten und Bewertungsmethoden neu berechnet (ESU 2019; SimaPro 9).

Die Beispielanlage aus Ungarn leitet ihr Abwasser in eine kommunale Kläranlage ein. Diese Option war bisher im Model nicht vorgesehen. Es lagen Daten für CSB und NH4 Konzentrationen vor. Mit diesen Angaben wurde ein entsprechender Datensatz „kommunale Kläranlage“ erstellt. Zu beachten ist, dass dieser auch ungarischen Strom bezieht und dadurch relativ hohe Belastungen verursacht. Die Eco-indicator Belastung für diesen Aspekt ist etwa 4 Mal höher als im jetzigen Model mit dem Durchschnittsabwasser.

Weitere Punkte können bei der regionalen Betrachtung eine Rolle spielen. Aus verschiedenen Gründen wurden diese bisher nicht berücksichtigt:

- Der Unterschied in der Herstellung und Nutzung von Erdgas und Erdölprodukten zwischen der Schweiz und anderen Ländern könnte relevant sein, da z.B. Dänemark selber fördert.
- Technologieunterschiede z.B. Emissionsnormen und Dieserverbrauch der für Transporte genutzten Lkw, Emissionen der Biogasverbrennung oder von Kraftwerken können eine wichtige Rolle spielen. Daten, die einen generellen Unterschied zwischen verschiedenen Ländern belegen könnten, sind im Moment aber nicht verfügbar und soweit wir es abschätzen können sind die Unterschiede auch nicht wirklich relevant. Es wäre möglich gewisse Technologiestandards, z.B. EURO Norm der genutzten Lkw oder mehr Infos zu Emissionen der BHKW im KWM direkt abzufragen. Dies würde das Modell aber komplizierter machen. Darauf wurde verzichtet.
- Auch bei der Technologie der Biogasanlagen kann es Unterschiede geben. Dies hätte einerseits Einfluss auf die Daten zur Infrastruktur (Materialverbrauch) aber evtl. auch Einfluss auf direkte Emissionen z.B. von Methan aus der Substratlagerung. Im Moment ist noch nicht bekannt wie relevant solche generellen Unterschiede sein könnten.
- Die Grenzwerte und Referenzsysteme für Energieprodukte (Strom, Wärme, Biogas, Biomethan, Kälte) basieren alle auf der Bereitstellung eines vergleichbaren Produktes auf Erdgasbasis in der Schweiz. Hintergrund war ursprünglich die Annahme, dass als konventionelle Alternative zu erneuerbarem Strom in der Schweiz am ehesten ein Gaskraftwerk erstellt werden würde. Diese Grenzwerte sind auch Teil der naturemade Philosophie und es wäre wahrscheinlich schwierig zu erklären, wenn diese Grenzwerte in einem anderen Land einen anderen Wert haben. Hier halten wir es nicht für nötig, Anpassungen vorzunehmen.
- Schwieriger ist die Beurteilung der nicht-energetischen Referenzprodukte mittels Referenzsystemen (Kapitel 3.2 des Berichtes). Insbesondere bei den biogenen Substraten (Kapitel 3.2.2 des Berichtes) könnte sich die Situation in anderen Ländern unter Umständen anders darstellen. Im Moment wird Kompostierung als Referenz angenommen. Es würde allerdings unter Umständen einigen Aufwand an Recherche, Diskussion und Berechnung bedeuten diese Annahmen entsprechend anzupassen.
- Bei den Umweltbelastungen von pflanzlichen Substraten kann es grosse Unterschiede je nach Region (auch innerhalb eines Landes) und Anbaumethode geben. Bisher werden in erster Linie Daten für die Schweiz verwendet. Entsprechende Daten für andere Länder lagen in den verfügbaren Datenbanken nur teilweise vor. Deshalb wurde bei den Substraten keine regionale Differenzierung der Ökobilanzdaten durchgeführt.

#### 4.6.4 Anpassung für Glycerin

*Anpassung im März 2018*

##### 4.6.4.1 Ausgangslage

Die Berechnungen für Glycerin wurden im Jahr 2018 vertieft diskutiert. In Biogasanlagen wird Rohglycerin eingesetzt, das bei der Produktion von Biodiesel als Nebenprodukt anfällt. Von Anlagenbetreibern wird es als „Abfall“ betrachtet und sollte deshalb nach ihrer Auffassung nur eine geringe Umweltbelastung haben. Für das KWM relevant ist aber nur das Verhältnis der Preise zwischen Hauptprodukt (z.B. Fischfilet, Altölmethylether) und dem Nebenprodukt (Fischabfälle, Glycerin). Die Belastung des Ausgangsproduktes (Ganzer Fisch, Altöl) plus des Verarbeitungsprozesses wird dann über die Erlöse auf Haupt- und Nebenprodukt aufgeteilt. Je nach dem Preis, den eine Anlage für das Rohglycerin bezahlt, kann der Biogasanlage eine relevante Belastung zugewiesen werden.

Es gibt kein Referenzprodukt für „Abfälle“, wenn für die Nebenprodukte etwas gezahlt wird und diese dementsprechend im Model nicht als Abfall gelten. Als Abfall gelten nur Substrate für deren Entledigung der Verursacher bezahlen muss.

#### 4.6.4.2 *Marktsituation*

Die Produktion von Biodiesel erfolgte bis 2014 in Europa größtenteils aus Rapsöl, gefolgt von Soja- und Palmöl. Die absolute Menge des aus Pflanzenöl produzierten Biodiesels bleibt in der EU seit 2010 nahezu konstant bei 8,3 bis 8,7 Mio. t. Auch die Menge des aus tierischen Fetten produzierten Biodiesels war von 2008 bis 2013 nahezu konstant, hat sich jedoch im Jahr 2014 mehr als verdoppelt auf 0,7 Mio. t. Vor allem die Menge des aus Altspeiseölen und –fetten produzierten Biodiesels nimmt seit 2008 kontinuierlich zu und hat sich bis 2015 auf 2 Mio. t mehr als versechsfacht.

Glyzerin wird in verschiedenen Qualitäten gehandelt. Die Abgrenzungen sind etwas unübersichtlich. Für Biogasanlagen wird Rohglyzerin (80%) eingesetzt. Der Einsatz von aufbereitetem Glyzerin (99%) ist mit zusätzlichen Aufwendungen verbunden und macht für Biogasanlagen keinen Sinn. Er bleibt bei der weiteren Betrachtung aussen vor.

Rohglycerin kann neben dem Einsatz in Biogasanlagen einerseits als Ausgangsstoff für die Produktion von reinem Glyzerin genutzt werden und andererseits auch als Futtermittel Einsatz finden.

Für gereinigtes Glyzerin werden in Europa Preise von bis zu 80 Cents pro kg gezahlt. Der Marktpreis für Rohglyzerin zur Entsorgung lag in Europa 2017 bei ca. 20 Cents. Für Glyzerin zur Weiterverarbeitung werden 35-48 Cents bezahlt.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> <http://www.hbint.com/datas/media/590204fd077a6e381ef1a252/sample-quarterly-glycerine.pdf>

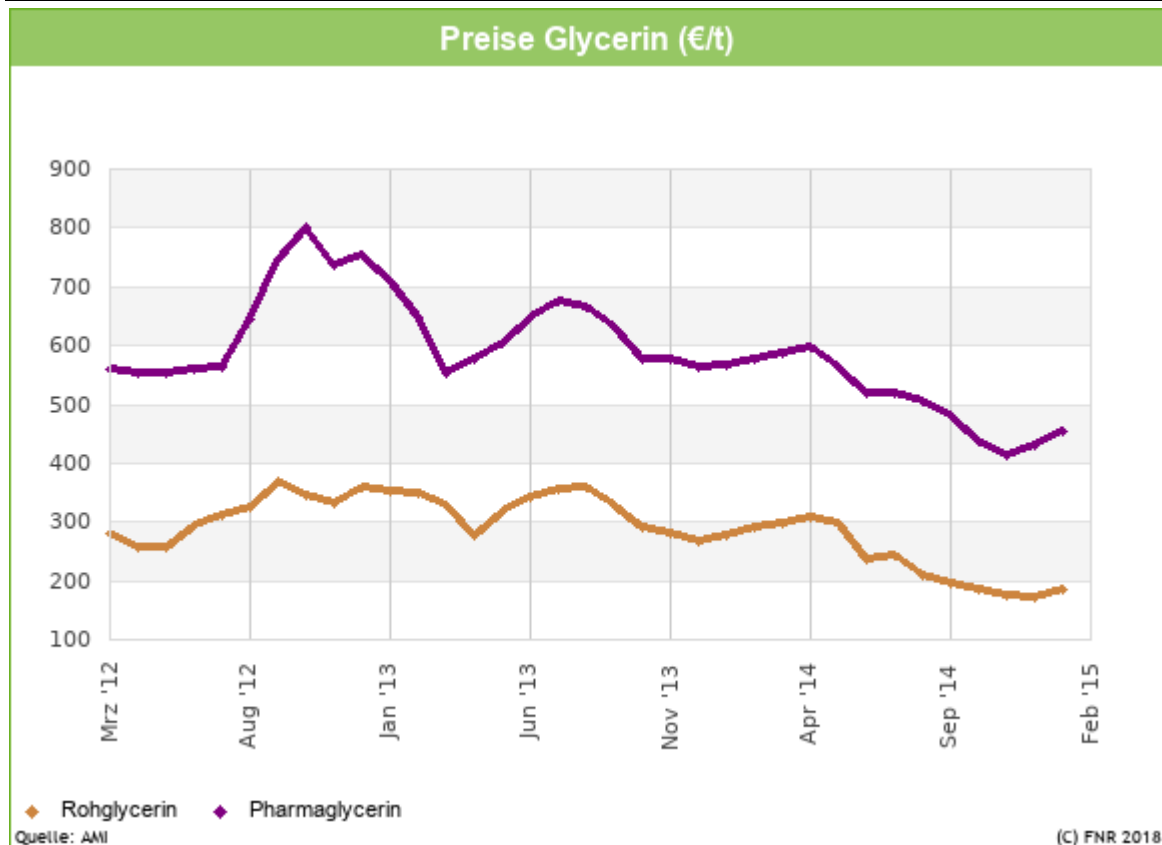


Fig. 4.7 Entwicklung der Marktpreise für Glycerin

Die Marktpreise für Glycerin sind deutlichen Schwankungen unterworfen. Dabei ist Qualität ein Faktor. Andere Faktoren sind die Nachfrage, schwankende Preise für Rohstoffe (z.B. Pflanzenöle) und schwankende Preise für konkurrenzierende und verwendete Energieträger (Erdölprodukte). Dies macht die Schwierigkeit für das Kennwertmodell aus, da hier ein durchschnittlicher Referenzpreis in der Landeswährung festgelegt werden muss.

Für Biodiesel werden zwischen 70-80 Cent pro Liter bezahlt.<sup>26</sup> Der Preis für Biodiesel (Methylester) ist von der Entwicklung der Rohölpreise und dadurch schwankenden Preisen für fossilen Diesel (und Benzin) abhängig. Auch hier gibt es also einen Einfluss auf die Beurteilung von Glycerin, der wenig mit dem eigentlichen kleinen Markt für Biogasanlagen zu tun hat.

Ferner spielen beim KWM auch noch Wechselkursschwankungen hinein.

Es gibt inzwischen also einen gut dokumentierten Markt für Rohglycerin und Biodiesel. Soweit bekannt gibt es auch keine Biogasanlage, die Glycerin umsonst erhält bzw. eine Entsorgungsgebühr dafür kassieren kann. Somit ist klar, dass Rohglycerin nicht als reines Neben- resp. Abfallprodukt betrachtet werden kann. Deshalb kann auch dessen Verwendung in Biogasanlagen infrage gestellt werden.

#### 4.6.4.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen in der Schweiz

Das Bundesamt für Landwirtschaft führt eine Liste<sup>27</sup> mit einer Empfehlung, welche Stoffe für die Vergärung/Kompostierung geeignet sind und demnach zugelassen werden sollten. Entscheidend für eine Zulassung in Vergärungsanlagen ist aber jeweils die Betriebsbewilligung

<sup>26</sup> <http://biodieselmagazine.com/articles/586737/price-gap-between-diesel-biodiesel-widens-in-germany>

<sup>27</sup> [https://www.biomassesuisse.ch/files/biomasse\\_temp/data/biomasse/2014-01-15\\_Inputliste\\_BLW.pdf](https://www.biomassesuisse.ch/files/biomasse_temp/data/biomasse/2014-01-15_Inputliste_BLW.pdf)

der zuständigen kantonalen Behörde. In der Regel beziehen sich die Kantone auf diese Liste. Abweichungen von dieser Liste können auf Gesuch genehmigt werden. Denselben Zweck wird dann auch die Liste für die angekündigte Vollzugshilfe der VVEA haben.

Die Oberzolldirektion führt eine Liste<sup>28</sup>, die regelt, welche Stoffe für die Mineralölsteuer-Erleichterung als biogene Abfälle oder Produktionsrückstände gelten.

Gemäss den Ausführungen von Arthur Wellinger sind in der neuen Vollzugshilfe für die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) sind

- Glycerin aus der Biodieselproduktion aus tierischen Nebenprodukten,
- Glycerin aus der Biodieselproduktion aus Frischöl (Pflanzenöl) und
- Glycerin aus der Biodieselproduktion aus Altspeseöl

für die Vergärung geeignet. Daraus lässt sich schliessen, dass Glycerin aus all diesen Rohstoffen in der Schweiz per Gesetz für Biogasanlagen zugelassen ist. Somit wäre es auch nicht gerechtfertigt, Anlagen, die Glycerin aus Raps-, Soja- oder Palmöl einsetzen, als nicht zertifizierbar zu bezeichnen.

#### 4.6.4.4 *Beurteilung*

Glycerin hat einen so hohen Energiegehalt, so dass es evtl. auch direkt oder nach Aufbereitung verbrannt werden könnte. Da es in Deutschland eher zu viele Biogasanlagen gibt, ist die Nachfrage nach Glycerin (und anderen energiereichen Substraten) so hoch, dass der Preis in einer gegenüber dem Biodiesel durchaus relevanten Grössenordnung liegt.

Im Vergleich aller in ecoinvent bilanzierten Glycerin-Produkte wurde in früheren Kennwertmodellen eine Variante ausgewählt, die sehr geringe Belastungen verursacht. In Einklang mit der Schweizer Gesetzgebung für die Mineralölsteuerbefreiung wurde davon ausgegangen, dass nur Altpflanzenöl und nicht z.B. Raps oder Palmöl die Grundlage dafür bildet. Wenn das Model nun auch in anderen Ländern angewendet wird ist davon auszugehen, dass die Belastungen eher deutlich höher sind, da z.B. auch Raps- oder Palm-Rohöle verestert werden.

Aus ökologischen Überlegungen ist es somit berechtigt, dass eine Zertifizierung mit einem substanziellen Anteil Glycerin in der Anlage schwierig ist. Dies gilt insbesondere für den Einsatz von Glycerin aus der Veresterung von neuen Pflanzenölen.

Der VUE hat bei den bereits zertifizierten Anlagen geprüft, inwiefern da Glycerin als Substrat eine Rolle spielt. Glycerin wird nur bei ein paar im Ausland zertifizierten Anlagen (in Deutschland und Ungarn) eingesetzt, und da auch nur in kleinen Mengen, wohl wegen dessen hohen Preises. Deshalb ist die Bedeutung bei den bisher durch den VUE zertifizierten Anlagen eher gering.

#### 4.6.4.5 *Anpassungen*

Um die Umweltbelastungen aktuell und genau zu rechnen, müsste jeweils bekannt sein, was das Ausgangsprodukt (Altöl, Raps, Palmöl, ...) für die Veresterung ist und welche Preise für Methylether bzw. Glycerin ab Produktion (ohne Transporte) der einzelnen Anlage bezahlt werden. In der Praxis sind diese Informationen aber nicht immer verfügbar. Ausserdem stört aus

<sup>28</sup> [https://www.ezv.admin.ch/dam/ezv/de/dokumente/archiv/2016/08/positivliste\\_deroberzolldirektions-stand01082016.pdf.download.pdf/positivliste\\_deroberzolldirektionstand01082016.pdf](https://www.ezv.admin.ch/dam/ezv/de/dokumente/archiv/2016/08/positivliste_deroberzolldirektions-stand01082016.pdf.download.pdf/positivliste_deroberzolldirektionstand01082016.pdf)

Sicht der Zertifizierung die grosse Variabilität bei den Glycerinpreisen. Deshalb wird auf eine Berechnung der Umweltbelastung über den Preis verzichtet.

Glyzerin wird ab 2018 getrennt von den übrigen Substraten und den Energiepflanzen als eigene Kategorie aufgeführt. Es wird eine fixe Umweltbelastung dafür eingesetzt. Damit wird vermieden, dass es bei der Beurteilung von Glyzerin starke Schwankungen in Abhängigkeit von den aktuellen Marktpreisen und den tatsächlich gezahlten Preisen gibt. Die Beurteilung sollte damit z.B. nicht mehr zwischen einzelnen Jahren stark schwanken. Der tatsächlich gezahlte Preis und ein Referenzpreis werden für Glyzerin nicht im KWM eingegeben.

Unterschieden werden verschiedene Ausgangsöle (tierischen Nebenprodukte und Fette (TNP), UCO (used cooking oil, Altpflanzenöl), Sojaöl, Palmöl, Rapsöl). Glyzerin aus TNP und UCO schneidet deutlich besser ab als Glyzerin aus Pflanzenölen.

Um den Aufwand vertretbar zu halten, wurden nur europäische Durchschnittsdaten gerechnet. Es wurde eine Allokation gemäss durchschnittlichen Marktpreisen für Rohglyzerin und Methyltester durchgeführt. Dabei wurden die Marktpreise soweit möglich über mehrere Jahre gemittelt. Für die Abschätzung wird ein Preis von 250 Euro pro Tonne Rohglyzerin als Durchschnitt über die letzten Jahre verwendet. Für Biodiesel werden 80 ct/Liter verwendet.

Für Altpflanzenöl und tierische Fette wurde nur die Umweltbelastung aus deren Aufbereitung berücksichtigt. Es wurde aber keine Allokation von Umweltbelastungen aus der Tierhaltung bzw. aus der Herstellung von Neupflanzenölen auf diese Produkte durchgeführt.

#### 4.6.5 Prüfung für Biogas

*Erweiterung im April 2018*

Das Kennwertmodell wurde für die Beurteilung für die direkte Einspeisung von nicht aufbereitetem Biogas erweitert. Die Befürworter der direkten Einspeisung von Biogas argumentieren unter anderem, dass es ökologischer sei, Biogas direkt zu nutzen, da der Aufbereitungsschritt eine beträchtliche Menge Energie benötigt.

Gemäss Auskunft von Energie 360° ist die Einspeisung von Biogas von allen relevanten Behörden und Verbänden in der Schweiz anerkannt (VSG, SVGW, Clearingstelle, Oberzolldirektion, BAFU, etc.). Das auf diese Weise eingespeiste Biogas wird über die Clearingstelle gehandelt und nicht von aufbereitetem Biogas differenziert. Rund 10% der Anlagen in der Schweiz speisen im Jahr 2018 schon Biogas ins Gasnetz ein. Dieser Trend wird laut Energie 360° in Zukunft deutlich zunehmen, denn die Einspeisung von Biogas ist ein Ansatz, um mehr Erdgas durch erneuerbares Gas zu verdrängen.

Bei der Rohgaseinspeisung müssen zwei Fälle unterschieden werden:

Fall 1: Einspeisung von Biogas in ein Verteilnetz, an dem viele Verbraucher hängen: Dies ist in der Schweiz nur erlaubt, wenn das Biogas im Gasnetz so stark verdünnt wird, dass alle Grenzwerte für Erdgas jederzeit eingehalten werden. Insbesondere der Brennwert des Gasgemisches im Netz darf nicht unter 10.6 kWh/Nm<sup>3</sup> liegen. Somit ist sichergestellt, dass keinerlei Probleme für den Einsatz in Erdgasfahrzeugen oder sonstigen Anwendungen entstehen.

Fall 2: Einspeisung von Biogas in ein Netz, an dem wenige Verbraucher angeschlossen sind (Stichwort Arealnetz): Speist man Biogas in ein Arealnetz ein, welches nur einen oder wenige Verbraucher versorgt, so müssen die Gaskessel für den Betrieb mit Biogas optimiert sein. Ein Einsatz von Biogas als Treibstoff ist nicht sinnvoll, da heutige Erdgasfahrzeuge nicht darauf ausgelegt sind.

In der 3-Stufigen Reinigung zu Biomethan fällt in diesem Fall die 2te Stufe weg.

1. H<sub>2</sub>O und S Entfernung
2. CO<sub>2</sub> Entfernung
3. Kompressor und Druckerhöhung für Einspeisung.

Gas wird grundsätzlich über kWh abgerechnet. Gemessen am Zähler wird aber der Volumenstrom, deshalb muss in der Verrechnung die Umrechnung in kWh angepasst werden, wenn die Energiedichte (kWh/m<sup>3</sup>) aufgrund der Einspeisung von Biogas abnimmt. Aktuell ist die Einspeisung nur bei Gasleitungen möglich, in denen die Verdünnung so gering sei, dass dies kaum ins Gewicht fällt.

Um die direkte Einspeisung im Biogas abzubilden wurden folgende Anpassungen im KWM durchgeführt:

- Im KWM werden für Biomethan und Biogas jeweils die ins Netz abgelieferten kWh abgefragt. Als Referenzsystem für beide gilt dann Erdgas (kWh).
- Eine Abfrage in «PrüfungBG: Biogas»: "Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage (5.7 kWh Ho/m<sup>3</sup>)" wurde eingefügt.
- Zusätzliche Zeilen für dieses Produkt wurden im Blatt «UmweltdeklarationBG» eingefügt.
- Eine bestimmte Energiemenge Biogas hat mehr Volumen (ca. um den Faktor 1.7) und beansprucht entsprechend mehr Netzinfrastruktur als dieselbe Menge Biomethan. Für die Einspeisung von Biomethan wurde mit einem Standarddatensatz die Infrastruktur für die Gasleitung, Erdgasbedarf fürs Pumpen, und Verluste von Methan berechnet. In einer groben Abschätzung wurde der Wert für die Infrastruktur mit dem Faktor 1.7 multipliziert. Bei Erdgas wird die Infrastruktur auch mit eingerechnet und kann deshalb nicht weggelassen werden. Der Gasspeicher ist in der Infrastruktur enthalten. Es wäre eher aufwändig hier noch mehr verschiedene Anlagentypen zu unterscheiden und der Einfluss erscheint gering. Auch für den Energiebedarf zum Pumpen wird ein Faktor von 1.7 angenommen. Die Berechnungen im Hintergrund wurden entsprechend angepasst.
- Strom und Gasverbrauch werden direkt im Modell eingeben. Dafür braucht also keine Anpassung.
- Das Modell für Biomethan-Nutzung und Holzenergieanlagen wurde für die Direkteinspeisung von Biogas noch nicht angepasst, da es im Moment keine entsprechende Nachfrage gibt.

#### 4.6.6 Kenngrössen

Aufgrund der Auswertungen werden die im Folgenden beschriebenen Kenngrössen festgelegt.

Im Kennwertmodell werden auch Angaben zu finanziellen Erträgen und Aufwendungen abgefragt. Diese sind jeweils aus Sicht des Anlagenbetreibers positiv (Ertrag) bzw. negativ (Aufwand) in der lokalen Währung 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<sup>3</sup>). Diese dient zur Skalierung der baulichen Aufwendungen.
- Standort der Anlage (Land)
- Detaillierte Auflistung aller Substrate, die direkt in die Vergärungsanlage eingebracht werden und Erfassung der Anlieferung in einem Extrablatt „Substrate“ (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

- Tierbestand (Anzahl Tiere, Anteil Stallhaltung (%), einfache Anlieferdistanz vom Stall bis zur Anlage). Falls der Tierbestand nicht bekannt ist, muss dieser geschätzt werden bis die Mengen der angelieferten Menge Gülle/Mist entsprechen. Eine direkte Eingabe im KWM ist nicht möglich.
- Co-Substrate und nachwachsende Rohstoffe (Art, Menge, Preis, einfache Distanz). Bei einigen Substraten ist evtl. eine Vorbehandlung notwendig (z.B. Schlacht- und Fleischabfälle). Der Energieverbrauch für die Vorbehandlung muss beim Eigenenergiebezug der Anlage berücksichtigt werden.
- Glycerin (ohne Angaben zum Preis)
- Energiepflanzen-Silage (ohne Angaben zum Preis)
- 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.*
- Wasserverbrauch (m<sup>3</sup>) aus Eigenförderung oder vom Trinkwassernetz. Dieser ist für die Überprüfung der Massbilanz von Input und Output relevant.
- Eigenenergiebezug der Anlage. Anzugeben ist dabei nur der Energiebedarf für die Anlage entsprechend der Systemgrenzen.<sup>29</sup> Anzugeben ist auch die Qualität (Standard, erneuerbar, naturemade star).
  - Strombezug aus dem Netz (kWh). Strom aus eigener Erzeugung muss hier nicht eingegeben werden.
  - Zündölverbrauch (fossil) (kWh)<sup>30</sup> zum Betrieb eines Zündstrahlmotors
  - Dieserverbrauch (kWh) z.B. für Maschinen, die Substrat einbringen oder Gärrest behandeln. Die Aufwendung zum Transport von Substraten und Gärrest 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.
  - Verschiedene Heizenergie und Brennstoffe (kWh) z.B. zum Beheizen des Fermenters oder Trocknung von Gärrest
- 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)<sup>31</sup>
- Energieprodukte

<sup>29</sup> Die Berechnung der Umweltbelastung des Fremdenergiebedarfs erfolgt nach der Menge und der Art der eingesetzten Energieträger. Auch bei der Berechnung des naturemade Prüfwerts/Grenzwerts hat der Energiepreis keinen Einfluss. Diese richtet sich ja nach dem Referenzsystem (Strom, Wärme oder Biogas) nach der Umweltbelastung der Produktion der gleichen Energiemenge mit der modernsten fossilen Technologie. Bei Biogas wäre das bspw. die Umweltbelastung der gleichen Menge Erdgas (von der Gaserzeugung über den Transport bis zur Einspeisung in ein Netz).

<sup>30</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).

<sup>31</sup> Bei den NO<sub>x</sub> Emissionen muss immer der Wert der Anlage eingetragen werden (unabhängig davon ob es ein BHKW ist). Den Text habe ich im März 2018 entsprechend angepasst. Der Trick, dort einfach 0.00000001 einzugeben, ist nicht zulässig!

- 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.
- Wärme ausserhalb der Biogasanlage genutzt oder verkauft (kWh). Erfasst wird die Wärmenutzung in unmittelbarer Nähe aber ausserhalb der Biogasanlage, z.B. für Heizung eines Wohnhauses, 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 Gärresttrocknung.
- Biomethan, aufbereitet auf 96% Methangehalt, direkt verkauft oder in ein Erdgasnetz eingespiessen (kWh Ho).
- Biogas in ein Erdgasnetz eingespiessen (kWh Ho).
- Biogas-Verluste (kWh). Verluste aus Betriebsunterbrüchen Methanschleupf der Biogaserzeugung und Biomethanaufbereitung.<sup>32</sup>
- Art und Menge der Gärrestbehandlung (Auswahl). Diese hat Einfluss auf die direkten Emissionen
  - Keine Behandlung
  - offene Kompostierung, Miete bzw. Nachrotte
  - Rottetrommel, geheizt
  - geschlossene Kompostierung mit Biofilter
  - Entwässerung, Faulschlamm 27% TS (gegebenenfalls auf diesen TS umrechnen und als Frischmasse eingeben)
- Art und Menge der Gärrestbehandlung, flüssig (Auswahl)
  - Offenes Gärrestlager/Nachgärung
  - Geschlossenes Gärrestlager/Nachgärung mit Gasnutzung
  - Nährstoffaufbereitung (Ultrafiltration/Umkehrosmose)
- Art und Menge der Gärrestverwendung (Auswahl und Menge), Finanzieller Ertrag bzw. Aufwand für das Gärrest (Währung)
  - Kompost, Gartenbau
  - Landwirtschaft, Mistzetter
  - Verbrennung, Zementwerk, 92% TS
  - Verbrennung, KVA, 27% TS
- Art und Menge der Gärrestverwendung, flüssig (Auswahl und Menge), Finanzieller Ertrag bzw. Aufwand für das Gärrest (Währung)
  - Landwirtschaft, Güllefass
  - Landwirtschaft, Schleppschlauch
  - Landwirtschaft, Einspritzung, Schleppschuh
  - Landwirtschaft, Einspritzung, Cultan (Impfen)
  - Kläranlage, Rückführung
  - Kommunale Kläranlage

<sup>32</sup> Gemäss einer Erhebung beträgt der durchschnittliche Biomethan-Verlust bei der Aufbereitung in der Schweiz 2.6% (Baier 2008).

- Transporte
  - Einfache Auslieferungsdistanz Anlage zur Gärrestverwendung (km)
  - Im Modell werden für Transporte zur Anlage mit einem Lkw und Transporte zur Ausbringung mit Werten für einen Traktor gerechnet. Wenn der genaue Dieserverbrauch der Fahrzeuge für alle notwendigen Fahrten und Aktivitäten bekannt ist kann statt der Kilometer auch der Dieserverbrauch eingegeben werden. Wenn Hin- und Rücktransporte mit demselben Fahrzeug erfolgen (das Fahrzeug also zu 100% ausgelastet ist), dann reicht es nur die einfache Transportdistanz einmal im Modell anzugeben. In den Ökobilanzdaten wird immer nur von einer 50% Auslastung bei den Transporten ausgegangen.

Bei den Gärresten sind folgende Kombinationen für die Eingabe je nach Anlagentyp möglich:

- 1) Flüssigstoffvergärungsanlagen: Es wird Art und Menge der Behandlung und Verwendung der flüssigen Gärreste (Hofdünger) eingetragen.
- 2) Feststoffvergärungsanlagen: Es wird Art und Menge der Behandlung und Verwendung der festen Gärreste (Kompost) eingetragen.
- 3) Kompogasanlage: Es werden die Mengen Kompost und Flüssigdünger eingegeben. Für die Behandlung könnte dann jeweils die Lagerung abgebildet werden. Das Separieren der Gärreste könnte nicht direkt abgebildet werden.
- 4) Abwasserreinigungsanlage: Es werden die Mengen Feststoff zur Verbrennung und flüssige Gärreste zur Rückführung eingetragen. Es kann die Entwässerung eingetragen werden und eine weitere Behandlungsmöglichkeit definiert werden.

#### 4.6.7 Annahmen zu Sachbilanzen

*Überarbeitung im Frühjahr 2021*

Folgende Standardannahmen werden bei der Auswahl der Hintergrunddaten getroffen (ecoinvent Centre 2019; ESU-services 2021a):

- Das Modell wird neu so aufgestellt, dass es möglichst für verschiedene Länder in Europa gültig ist. Für die Sachbilanzdaten bedeutet dies, dass da wo verfügbar europäische Daten eingesetzt werden. Wenn solche nicht verfügbar sind werden Schweizer oder globale Daten verwendet.
- Für den Strommix werden länderspezifische Sachbilanzdaten verwendet.
- Der Strommix «naturemade star» wurde basierend auf den star-Anteile der effektiven Lieferungen an Endkunden im Jahr 2018 modelliert. Der Strommix erneuerbar wird mit der Produktion von erneuerbarem Strom in Europa angenähert.
- Der Input von naturemade star zertifiziertem Biomethan wird mit Daten für den Schweizer Mix modelliert. Die Umweltbelastungen entsprechen in der Grössenordnung den im Durchschnitt der naturemade Kennwertmodelle berechneten Ergebnissen.
- Für die Verwendung von nicht zertifiziertem Biogas wird ein europäischer Mix unter Berücksichtigung der Erzeugung aus Energiepflanzen verwendet.

### 4.7 Gasaufbereitung und -verteilung

Die Aufbereitung von Holzgas und Biogas zu Biomethan (96-Vol%) wird auf Basis von ecoinvent 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 Eco-indicator

99 (H, A) ausgewertet (siehe auch Fig. 3.3). Wichtige Einflussgrößen sind demnach der Stromverbrauch für die Aufbereitung und für das Erdgasnetz, der Methanschluß bei der Aufbereitung und der Stromverbrauch der Tankstelle.

Gemäss Kriterien zu *naturemade star* darf der Methanschluß 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.

Der Strombedarf für Aufbereitung und Einspeisung muss ins KWM zusammen mit dem übrigen Strombedarf eingegeben werden. Eine evtl. zusätzlich vereinbarte Netzdruckunterstützung braucht dabei nicht berücksichtigt werden.

Der Aufwand zur Einspeisung muss eingerechnet werden, damit das Produkt mit dem Referenzprodukt Erdgas ab Hochdruckverteilung wirklich vergleichbar ist. Wenn der Biomethan-Verkäufer in Niederdruck einspeisen kann, hat er Glück gehabt bzw. eine gute Standortwahl getroffen.

## 4.8 Fernwärme- und –kältenetz (Wärme bzw. Kälteverbund)

Für die ins Netz eingespeiste Wärme bzw. Kälte werden dasselbe Referenzsystem und derselbe Grenzwert wie für Wärme beziehungsweise Kälte angewendet.

Der Transport von Wärme und Kälte in einem Wärmeverbund ist mit zusätzlichen Aufwendungen (Bau und Unterhalt des Netzes; Antriebsenergie) und Verlusten (Wärmeverluste im Netz) verbunden. Diese Aufwendungen müssen ebenfalls beurteilt werden.

Sachbilanzen von Fernwärme- und Fernkältenetzen liegen vor (Frischknecht & Tuchschnid 2009; Steiner et al. 2006).

Die Daten dieser Studien wurden für die Festlegung der Kennwerte ausgewertet (Frischknecht & Tuchschnid 2009). Fig. 4.8 zeigt einen Vergleich der Systeme. Bei allen Systemen ist der Stromverbrauch im Netz und die Infrastruktur wichtig.

Im Vergleich zur Wärmeerzeugung (Grenzwert bei 9.1 Millipunkten pro kWh, siehe Tab. 3.7) trägt der Ferntransport allerdings bei allen Systemen nur wenig zur Umweltbelastung bei (Fig. 3.2). Beim Referenzsystem Erdgas z.B. weniger als 1%. Relevant sind allerdings die Wärmeverluste im Netz.

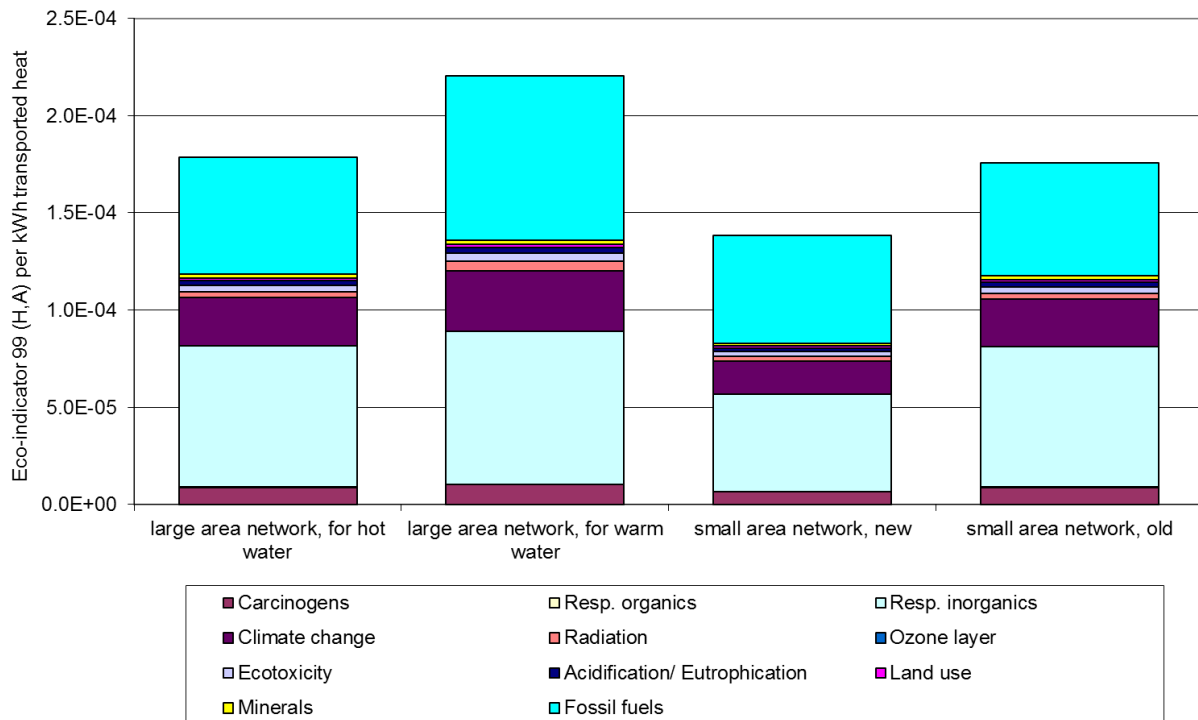


Fig. 4.8 Vergleich verschiedener Systeme für den Ferntransport von Wärme ohne Wärmeerzeugung und Verluste (Eco-indicator 99 (H,A) Punkte pro kWh zum Kunden transportierte Wärme), ecoinvent v2.2

Die hier erhobenen Daten zur Verteilung werden in denjenigen Kennwertmodellen verwendet, welche die Zertifizierung von Fernwärme und Fernkälte unterstützen. Für das Fernverteilungsnetz wird die folgende Angabe als Kenngrösse erfasst:

- Verlustrate Wärme (bzw. Kälte) ab Anlage zu Wärmelieferung an Kunden (%).

Es erfolgt keine Unterscheidung der vier Verteilsysteme gemäss Fig. 4.8. Stattdessen wird der ungewichtete Mittelwert der vier Systeme als Standard eingesetzt, da die Unterschiede für die Beurteilung kaum relevant sind.

Im Kennwertmodell werden maximal 20% Verluste zugelassen. Per Voreinstellung nimmt das KWM eine Verlustrate von 5% an.

Stromverbrauch und Bau des Leitungsnetzes werden in erster Näherung als konstant pro kWh transportierte Wärme oder Kälte angenommen und nicht mit Kenngrössen modelliert.

Die gesamten Umweltbelastungen der Fernverteilung werden im Modell erfasst. Die Umweltbelastungen der Verteilung plus Bereitstellung von Wärme und Kälte werden dann mit dem (dezentral eingesetzten) Referenzsystem Wärme oder Kälte direkt ab Anlage verglichen.

## 5 Literatur

- AGRIDEA & FIBL 2012 AGRIDEA and FIBL (2012) Deckungsbeiträge - Ausgabe 2012. AGRIDEA und Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Schweiz.
- arabern 2008 arabern (2008) Technischer Bericht 2007. ara region bern ag, retrieved from: [www.ara-bern.ch](http://www.ara-bern.ch).

- Bachmann & Wellinger 2012 Bachmann N. and Wellinger A. (2012) Zertifizierung von Biogasanlagen mit Vergärung von Schlachtabfällen. Triple E & M, 8004 Aadorf im Auftrag des Verein für Umweltgerechte Energie.
- Baier 2008 Baier U. (2008) Ökologische Aspekte der Biogasaufbereitung. ZHAW, Wädenswil.
- 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 Grüngutverwertung in Basel. Carbotech, Basel.
- Dinkel et al. 2012 Dinkel F., Zschokke M. and Schleiss K. (2012) Ökobilanzen zur Biomasseverwertung. Carbotech und Uweko im Auftrag des Bundesamtes für Energie BfE, Basel, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/) (login).
- 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: [www.lca-center.dk/cms/site.asp?p=1378](http://www.lca-center.dk/cms/site.asp?p=1378).
- 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).
- ecoinvent Centre 2019 ecoinvent Centre (2019) ecoinvent data v3.6, Cut-Off model. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich, 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.
- ESU-services 2021a ESU-services (2021a) The ESU database. ESU-services Ltd., Schaffhausen, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/database/](http://www.esu-services.ch/data/database/).
- ESU-services 2021b ESU-services (2021b) Public life cycle inventory reports and datasets, retrieved from: <http://esu-services.ch/data/public-lci-reports/>.
- ESU 2019 ESU (2019) The ESU database. ESU-services Ltd., Schaffhausen, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/database/](http://www.esu-services.ch/data/database/).
- FNR 2009 FNR (2009) Umrechnungstabelle Viehbestand bzw. Fläche oder Substratanfall in installierte Leistung. Retrieved 30-11-2009 retrieved from: [www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/bayern/dateien/biogasertraege Divers.pdf](http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/bayern/dateien/biogasertraege Divers.pdf).
- Frisknecht 1999a Frisknecht R. (1999a) Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel: Ökobilanzen für Wärmepumpen und Kälteanlagen - Anhang. 9933303. ESU-services, Uster, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE), Bern, retrieved from: [www.esu-services.ch/publications/energy/](http://www.esu-services.ch/publications/energy/).
- Frisknecht 1999b Frisknecht R. (1999b) Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel: Ökobilanzen für Wärmepumpen und Kälteanlagen. 9933303. ESU-services, Uster, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE), Bern, retrieved from: [www.esu-services.ch/publications/energy/](http://www.esu-services.ch/publications/energy/).

- 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: [www.naturemade.ch/Deutsch/Download/downloads\\_d\\_oekobilanz.htm](http://www.naturemade.ch/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., Hischier 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.esu-services.ch/data/ecoinvent/](http://www.esu-services.ch/data/ecoinvent/).
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. ESU-services GmbH im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: [www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de).
- Frischknecht & Tuchschnid 2009 Frischknecht R. and Tuchschnid M. (2009) Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, Version 1.41. im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich und von novatlantis, ESU-services Ltd., Uster.
- Frischknecht et al. 2013 Frischknecht R., Büsser Knöpfel S., Flury K. and Stucki M. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit: Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. treeze und ESU-services GmbH im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: [www.bafu.admin.ch/uw-1330-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1330-d).
- 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: [lcia-recipe.net/](http://lcia-recipe.net/).
- Hischier et al. 2010 Hischier R., Weidema B., Althaus H., Bauer C., Frischknecht R., Doka G., Dones R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M. and Nemecek T. (2010) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- IPCC 2013 IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, retrieved from: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- 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 for 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: [www.naturemade.ch/Deutsch/Download/downloads\\_d\\_oekobilanz.htm](http://www.naturemade.ch/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. 2010a Jungbluth N., Frischknecht R., Orthlieb A., Büsser S. and Leuenberger M. (2010a) 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: [www.esu-services.ch/projects/naturemade/](http://www.esu-services.ch/projects/naturemade/).
- Jungbluth et al. 2010b Jungbluth N., Stucki M., Frischknecht R. and Buesser S. (2010b) Photovoltaics. 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-XII, v2.2+ (Ed. Bauer C. and Dones R.). pp. 233. ESU-services Ltd., Uster, CH retrieved from: [www.esu-services.ch](http://www.esu-services.ch).
- Jungbluth & Flury 2013 Jungbluth N. and Flury K. (2013) Aktualisierung und Ergänzung der naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums von Energieprodukten. ESU-services im Auftrag vom Verein für umweltgerechte Energie (VUE), Zürich, retrieved from: [www.esu-services.ch/projects/naturemade/](http://www.esu-services.ch/projects/naturemade/).
- Jungbluth & König 2014 Jungbluth N. and König A. (2014) Ökobilanz Trinkwasser: Analyse und Vergleich mit Mineralwasser sowie anderen Getränken. ESU-services GmbH im Auftrag des Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW, Zürich, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/de/projekte/lcafood/wasser/>.
- Jungbluth & Meili 2018 Jungbluth N. and Meili C. (2018) Life cycle inventories of oil products distribution. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Jungbluth et al. 2018a Jungbluth N., Meili C. and Wenzel P. (2018a) Life cycle inventories of oil refinery processing and products. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Jungbluth et al. 2018b Jungbluth N., Wenzel P. and Meili C. (2018b) Life cycle inventories of oil heating systems. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- KBOB v2.2: 2016 KBOB v2.2: (2016) Datenbestand KBOB v2.2:2016. Bundesamt für Umwelt BAFU, Switzerland, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- 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: [www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/impact2002+.htm](http://www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/impact2002+.htm).
- Meili et al. 2018 Meili C., Jungbluth N. and Wenzel P. (2018) Life cycle inventories of long distance transport of crude oil. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Meili & Jungbluth 2018 Meili C. and Jungbluth N. (2018) Life cycle inventories of crude oil extraction. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Meili & Jungbluth 2019a Meili C. and Jungbluth N. (2019a) Life cycle inventories of long-distance transport of crude oil. ESU-services Ltd. commissioned by Plastics Europe, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: confidential.
- Meili & Jungbluth 2019b Meili C. and Jungbluth N. (2019b) Life cycle inventories of crude oil and natural gas extraction. ESU-services Ltd. commissioned by Plastics Europe, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: confidential.
- Naturemade 2000 Naturemade (2000) Grundsätze zur Zertifizierung mit naturemade star für Produzenten, Version 3.0. Verein für Umweltgerechte Elektrizität (VUE), Zürich.
- 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).
- Primas 2007 Primas A. (2007) Life Cycle Inventories of New CHP Systems. ecoinvent report No. 20, v2.0. Basler und Hoffmann, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- 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.
- SimaPro 9 SimaPro (9) SimaPro 9.1.1 (2020) LCA software package. PRé Consultants, Amersfoort, NL, retrieved from: [www.simapro.ch](http://www.simapro.ch).

- 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: [www.cpm.chalmers.se/html/publication.html](http://www.cpm.chalmers.se/html/publication.html).
- Steiner et al. 2006 Steiner R., Frischknecht R. and Jungbluth N. (2006) COOL-FIT Cooling Systems LCA. ESU-services Ltd., Uster.
- Stucki et al. 2011 Stucki M., Jungbluth N. and Leuenberger M. (2011) Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. im Auftrag des Bundesamtes für Energie BfE, ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/) (login).
- 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: [www.uvek.admin.ch/dokumentation/00474/00492/index.html?lang=de&msg-id=19469](http://www.uvek.admin.ch/dokumentation/00474/00492/index.html?lang=de&msg-id=19469).
- UVEK 2018 UVEK (2018) UVEK LCI Data 2018. Bundesamt für Umwelt BAFU, Switzerland, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- 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: [www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=12653](http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=12653).

## A.Anhang

### A.1 Kennwertmodell Biomethan-Nutzung

Dieser Modellteil wurde entwickelt. Mangels Nachfrage wird es im aktuellen Kennwertmodell aber ausgeblendet. Für eine allfällige Nutzung müssten zunächst die Berechnungen aktualisiert werden.

#### A.1.1 Systemgrenzen

Der Modellteil für die Biomethan-Nutzung wurde ins Kennwertmodell der Biogasanlagen integriert. Damit ist es auch möglich, die Nutzung von Biomethan, das über ein Netz aus einer spezifischen Anlage geliefert wird bzw. für das Zertifikate erworben wurden, auszuwerten. Im Kennwertmodellteil zur Nutzung von Biomethan aus einem Verteilnetz werden verschiedene Energieprodukte abgebildet. Zunächst werden die Umweltbelastungen des Biomethan-Mixes im Versorgungsnetz abgebildet. Dazu gehört neben der Bilanz der Biomethan Herstellung in unterschiedlichen nach *naturemade star* zertifizierten Anlagen auch die Verteilung über Druckleitungen zum Endverbraucher. Dabei kann sowohl ein einzelnes Produkt als auch ein Produktmix bezogen werden.

Beim Endverbraucher wird das Biomethan verbrannt und zur Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt. Eigenverbräuche dieser Anlage, z.B. Stromverbrauch für eine Abgasreinigung,

müssen zunächst von der erzeugten Menge abgezogen werden. Wird der Energieträger nicht erzeugt, muss er als Input im Modell eingegeben werden.

Die Verwendung von Biomethan in Wärmepumpen könnte zukünftig über das KWM für Wärmepumpen bilanziert werden und wird deshalb hier nicht abgebildet. Bisher ist dieses KWM noch nicht verfügbar.

Die Nutzung von Biomethan in Brennstoffzellen wäre ebenfalls möglich. Bisher ist sie aber noch nicht im KWM berücksichtigt.

Noch nicht berücksichtigt wird, dass die Wärme wiederum für eine Absorptionskältemaschine eingesetzt werden kann.

### A.1.2 Kenngrößen

Aufgrund der Auswertungen in den vorangegangenen Kapiteln werden die im Folgenden beschriebenen Kenngrößen festgelegt. Fig. 5.1 zeigt die Eingabemaske für die verschiedenen Größen.

- Folgende Biomethan-Erzeugungsarten werden berücksichtigt:
  - Biomethan, Landwirtschaft
  - Biomethan, Grüngut
  - Biomethan, Klärschlamm
  - *Biomethan, industrielle Vergärung (Modell ist noch nicht verfügbar)*
  - Holzvergasung, Wirbelschicht
  - Biomethan, naturemade mix
  - naturemade Grenzwert, Biomethan (genaue Herkunft unbekannt, aber Grenzwert sicher erfüllt)
  - Biomethan, Einzelanlage gemäss Eingabe im KWM
- Eigenenergiebezug der Anlage. Anzugeben ist dabei nur der Energiebedarf für die Anlage entsprechend der Systemgrenzen.
- Biomethanverbrennung (kWh) und Art der Verbrennungsanlage (Auswahl)<sup>33</sup>
  - 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 Anlage genutzt wird.
  - Wärme ausserhalb der Biomethanverbrennung genutzt oder verkauft (kWh). Erfasst wird die Wärmenutzung in unmittelbarer Nähe, z.B. für die Heizung eines Hauses, Gewächshauses, Stalls, etc. Als Fernwärme wird die über einen Wärmeverbund transportierte Wärme erfasst. Hier sind zusätzlich die Verluste im Fernwärmenetz anzugeben.

---

<sup>33</sup> Für die Nutzung in Brennstoffzellen liegen einige Daten aus der ecoinvent Datenbank vor (Primas 2007). Diese könnten als Nutzungsoption zukünftig ebenfalls berücksichtigt werden.

## naturemade Star Prüfung: Biomethan-Nutzung

Anlagenname und Referenzzeitraum		Beispielanlage	
<b>Biomethanverbrauch der Anlage (14.25 kWh/kg)</b>		<b>9'900'000 kWh</b>	
naturemade star Biomethanmix		0 kWh	0%
Biomethan, Landwirtschaft		0 kWh	0%
Biomethan, Grüngut		0 kWh	0%
Biomethan, Klärschlamm		0 kWh	0%
Holzvergasung, Repotec		0 kWh	0%
Biomethan, Grenzwert gerade erfüllt		0 kWh	0%
<a href="#">Biomethan, Beispielanlage 2012</a>		9'900'000 kWh	100%
<b>Energieeigenverbrauch der Anlage (Systemgrenzen beachten)</b>		<b>0 kWh</b>	
Strombezug aus CH Netz		0 kWh	
Heizölverbrauch		0 kWh	
Dieserverbrauch (12 kWh/kg)		0 kWh	
Erdgasverbrauch		0 kWh	
<b>Outputs der Anlage</b>			
Biomethan verbrannt in Heizung, BHKW		9'900'000 kWh	
Art der Verbrennung	BHKW 500kWel Mager		
Stickoxide NOx als NO2 aus Verbrennung		300 mg/Nm3	
Total Biomethannutzung, Brutto		9'900'000 kWh	
Gesamtproduktion Strom, Brutto		4'000'000 kWh	
Eigenverbrauch der Anlage aus Bruttostromproduktion		0 kWh	
Strom: Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage		4'000'000 kWh	
Einspeisung Wärmeverbund / Verteilverluste		0 kWh	10%
Nahwärmenutzung: Verkauf, Verbrauch im Gebäudekomplex		4'400'000 kWh	
Total Wärmeverkauf (nach Abzug Verteilverluste)		4'400'000 kWh	
Gesamtmenge Energieprodukte		8'400'000 kWh	85%
<b>Resultate für: Beispielanlage</b>		Prüfwert	
EI'99-aggregated, Hierarchist		1.96E+04	1.05E+05 <b>19%</b>
<b>Globales naturemade Star Kriterium erfüllt</b>			

Fig. 5.1 Kennwertmodell für Biomethan-Nutzung. Blatt „PrüfungBM“

**A.1.3 Lokale Kriterien**

Es muss sichergestellt sein, dass der gesamte angegebene Biomethan-Verbrauch gemäss *naturemade star* zertifiziert ist.

Ein lokales Kriterium für den Anteil fossiler Energieträger, die mit verbrannt werden dürfen, z.B. Erdgas, muss noch festgelegt werden.