

Handbuch für die naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums für naturemade (resources) star

Auftraggeber
VUE Verein für umweltgerechte Energie
Molkenstrasse 21
CH - 8004 Zürich
www.naturemade.org

Auftragnehmer
ESU-services GmbH
Niels Jungbluth
Vorstadt 10, CH-8200 Schaffhausen
www.esu-services.ch

Impressum	
Zitiervorschlag	Jungbluth N. (2023) Handbuch für die naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums für naturemade (resources) star. ESU-services im Auftrag vom Verein für umweltgerechte Energie (VUE), Schaffhausen, www.esu-services.ch/projects/naturemade/
Auftraggeber	VUE Verein für umweltgerechte Energie, www.naturemade.org , Projektleitung: Valentin Graf (ab 2018, Bio- und Klärgasanlagen, Holzenergieanlagen) Daniel Streit (2015-18, ab 2021, KVA, Wärmepumpen und Kältemaschinen)
Begleitgruppe 2023	Geschäftsstelle VUE: Valentin Graf, Pascal Steingruber, Daniel Streit, Regina Bulgheroni, Regula Keller AG Kriterien: Manuel Pauli, Energie 360° Dietmar Küther, IWB Industrielle Werke Basel Christian Brüttsch, Repower Luca Vetterli, Pro Natura Patrick Hofstetter, WWF Arthur Wellinger, Biomasse Suisse
Weitere Arbeitsgruppen aus früheren Überarbeitungen	AG Biogas: Beat Ammann, ARA Bern (Kläranlagen) Stefan Mutzner, Ökostrom Schweiz (landwirtschaftliche Anlagen) Daniel Würgler, Kompogas (Grüngutanlagen) Reto Steiner, Ernst Basler + Partner (VUE Experte) AG Biomethan Michael Reichert, Marc Zysset, Erdgas Zürich AG Holzenergie: Georg Meier, EKZ René Nijsen, Durena AG Christoph Rutschmann, Holzenergie Schweiz Peter Müller, Simon Inauen, EWZ AG Wärmepumpe: Georg Dubacher, Gerhard Emch, Brigitta Künzli, EWZ Stephan Peterhans, FWS (Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz)
Autoren	Niels Jungbluth Mitarbeit an KWM durch Samuel Solin, Catarina Rocha und Michael Nigg! ESU-services GmbH, Vorstadt 10, CH-8200 Schaffhausen Tel. 044 940 61 32, jungbluth@esu-services.ch , www.esu-services.ch
Über uns	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.
Haftungsausschluss	Die Informationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. ESU-services GmbH und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung, oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. ESU-services GmbH und die Autoren lehnen jede rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder Folge-Schäden oder welche Schäden auch immer, ausdrücklich ab.
Version	22.03.24 20:45 https://naturemadevue.sharepoint.com/sites/kobilanzenundKWMVUE/Freigegebene Dokumente/General/jungbluth-2023-Handbuch-naturemade-KWM-Update-23.docx

Inhalt

INHALT	II
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN	IV
1 EINFÜHRUNG UND METHODIK	1
1.1 Ziel des Handbuchs	1
1.2 Ausgangslage	1
1.3 Verfügbare Kennwertmodelle	2
1.4 Zertifizierte Energieprodukte	3
1.5 Zusammenhang der verschiedenen Produkte und Systeme	4
1.6 Allgemeine Methodik für Produktökobilanzen gemäss ISO 14040/44	5
1.7 Verursacherprinzip in Ökobilanzen von Abfällen und Reststoffen	7
2 ALLGEMEINE FESTLEGUNGEN	9
2.1 Datengrundlagen und Berechnung	9
2.2 ReCiPe Bewertungsmethode für das globale Kriterium	11
2.2.1 Midpoint Indikatoren	12
2.2.2 Endpoint Indikatoren	13
3 REFERENZSYSTEME, GRENZ- UND REFERENZWERTE	15
3.1 Überblick zu den Systemgrenzen für die Prüfung	15
3.2 Energetische Leistung der Anlagen: Energieprodukte	16
3.2.1 Grenzwert für die Umweltbelastung der Energieprodukte	16
3.2.2 Strom	17
3.2.3 Wärme	18
3.2.4 Kälte	19
3.2.5 Biomethan und Biogas	21
3.3 Nichtenergetische Leistung der Anlagen: Entsorgung/Reinigung von Abfällen/Abwässern	23
3.3.1 Entsorgung von biogenen Abfällen in Vergärung	24
3.3.2 Entsorgung von Schlachtabfällen Kategorie 1 in Vergärung	28
3.3.3 Entsorgung von Schlachtabfällen Kategorie 2+3 in Vergärung	29
3.3.4 Entsorgung von Frischklärschlamm in Vergärung	29
3.3.5 Entsorgung von Siedlungsabfall in der KVA	30
3.3.6 Entsorgung von Altholz in Verbrennung/Vergasung	30
3.3.7 Abwasserreinigung in Kläranlage mit Vergärung	33
3.3.8 Vorreinigung von Industrieabwässern in Vergärungsanlage	34
3.3.9 Überblick Referenzsysteme für Entsorgung	34
3.4 Nichtenergetische Nebenprodukte: weitere Outputs der Anlagen	38
3.4.1 Bereitstellung Gärgut aus biogenen Rest- und Abfallstoffen als biogener Dünger	38
3.4.2 Faulschlamm als Brennstoff für Zementwerke	41
3.4.3 Holzschnittel aus Grüngut-Vorbehandlung: Verkauf als Brennstoff	41
3.4.4 Vergärung in der Landwirtschaft: Lagerung und Emissionen von Hofdünger	41
3.4.5 Produktion von Düngerpellets im Trockenfermenter	46
3.5 Wertstoffe aus der KVA	46
3.6 Zusammenfassung der Grenz- und Referenzwerte	48
3.7 Prüfung des globalen Kriteriums	48
4 BESCHREIBUNG DER KENNWERTMODELLE	50
4.1 Einführung	50
4.2 Bedienung	50

4.3	Allgemeine Systemgrenzen für das Kennwertmodell	51
4.3.1	Inputs	51
4.3.2	Outputs	51
4.3.3	Transporte	51
4.3.4	Regionale Gültigkeit	52
4.3.5	Verbundanlagen und Mixe	52
4.3.6	Produzierte und verkaufte Energiemenge	52
4.4	Biomasse Verbrennung (Holzenergieanlagen)	53
4.4.1	Auswertungen zur Relevanz von Kennwerten	53
4.4.2	Systemgrenzen der Eingaben im KWM	54
4.4.3	Kenngrößen	55
4.5	Biomasse Vergärung (Bio- und Klärgasanlagen)	58
4.5.1	Auswertungen zur Relevanz von Kennwerten	58
4.5.2	Systemgrenzen der Eingaben im KWM	62
4.5.3	Regionalisierung des Kennwertmodells	70
4.5.4	Anpassung für Glycerin	73
4.5.5	Prüfung für Direkteinspeisung von Biogas	76
4.5.6	Kenngrößen	77
4.5.7	Hinweise zur Auswahl der Substrate	80
4.5.8	Annahmen zu Sachbilanzen	81
4.6	Wärmepumpen und Kältemaschinen	82
4.6.1	Anlagentypen	82
4.6.2	Auswertungen	82
4.6.3	Systemgrenzen der Eingaben im KWM	83
4.6.4	Systemgrenzen bivalente Wärmeerzeugung mit integrierter Spitzenlastheizung	85
4.6.5	Kenngrößen	85
4.6.6	Spezifische Kriterien	86
4.7	Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	86
4.7.1	Einführung	86
4.7.2	Resultatbestimmende Parameter	86
4.8	Strom als Input im Kennwertmodell	89
4.9	Gasaufbereitung und -verteilung	91
4.10	Fernwärme- und -kältenetz (Wärme bzw. Kälteverbund)	91
4.12	Umweltdeklaration für Energieprodukte	92
4.12.1	Eingaben	92
4.12.2	Berechnung und Allokation	92
4.12.3	Umwelt-Indikatoren	94
4.12.4	Beispiel einer Umweltdeklaration im Kennwertmodell	94
4.12.5	Standardwerte konventioneller Systeme	95
4.12.6	Kompensationsberechnung und CO ₂ -Zertifikate	95
5	LITERATUR	97
A.	ANHANG SACHBILANZDATEN	103
A.1	Umweltbelastung der Wertstoffgewinnung	103
A.2	Strommix für verschiedene Länder	104
A.3	Altholzverbrennung in KVA	104
A.4	Sachbilanz Biogas Dinkel-2022	107
A.4.1	Lagerung	107
A.4.2	Vergärung	107
A.4.3	Ausbringung	108

Glossar und Abkürzungen

Abfall	Material, das gegen Entgelt einem Verarbeiter abgegeben wird, um dieses zu behandeln bzw. zu entsorgen.
atro	Absolut trocken. Fachbegriff um Trockengewicht von Holz zu bezeichnen.
BG	Biogas
CHF	Schweizer Franken
COP	Coeffizient of Performance für die Anlage. Verhältnis Energieverbrauch der Anlage (Wärmepumpe, Kompressionskälte) im Verhältnis zum Output.
DKK	dänische Kronen
Energieprodukt	Als naturemade Energieprodukte werden Strom, Wärme, Kälte, Biogas und Biomethan betrachtet.
EUR	Euro
FLUWA	Flugaschenwäsche, Rückgewinnung von Stoffen aus der Asche von KVAs
FLUREC	Flugaschenrecycling
Gärgut	Gärrest (siehe unten), der in der Vergärungsanlage produziert wird und als biogener Dünger genutzt werden kann.
Gärrest	Biogene Reststoffe, die in der Vergärungsanlage produziert werden und deren Wertigkeit nicht weiter spezifiziert ist. Es kann sowohl ein nutzbarer Rohstoff (z.B. Dünger, siehe Gärgut) sein, als auch ein entsorgungspflichtiger Abfall (z.B. Faulschlamm aus der Abwasserreinigungsanlage)
GBP	Britische Pfund
Globales Kriterium	Mit dem globalen Kriterium wird geprüft, ob der Prüfwert (Summe Grenz- und Referenzwerte) von einer Anlage eingehalten wird. Dazu wird in einem Kennwertmodell, das auf einer vereinfachten Ökobilanz basiert, gerechnet.
Grenzwert	Der Grenzwert beschreibt die maximale Umweltbelastung für ein zertifiziertes naturemade Energieprodukt. Der Grenzwert beträgt 50% der Umweltbelastung, ausgedrückt in ReCiPe (H,A) Punkten, des festgelegten Referenzsystems für ein Energieprodukt. Auch für in der KVA erzeugte Wertstoffe wird ein Grenzwert festgelegt und damit deren Zertifizierung möglich gemacht.
GuD	Gas- und Dampfkraftwerk
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.
HUF	Ungarische Forint
Indikator	Masszahl zur Bewertung von Umweltbelastungen. Indikatoren sind z.B. „kg CO ₂ -eq“ für die Emission von Treibhausgasen oder „ReCiPe (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	Kältemaschinen
Kompost	Biogener Dünger der in der Kompostanlage produziert wird.
KVA	Kehrrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunden. Standardeinheit für energetische Inputs und Outputs. Bei Brenn- und Treibstoffen wird der obere Heizwert (Ho) zur Umrechnung verwendet.
KWM	Siehe Kennwertmodell
Spezifische Kriterien	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. Dies wird Allokation genannt.
naturemade star	Label für zertifizierte erneuerbare Energie
naturemade resources star	Label für Metall und Energie aus der Kehrrichtverbrennung
Nebenprodukt	Produkt einer geprüften Anlage, das nicht energetisch genutzt wird, z.B. Kompost oder Entsorgungsdienstleistung für Abfälle.
ORC	Organic Ranking Cycle
PPP	Verursacherprinzip bzw. polluter-pays-principle für die Definition von Abfällen (siehe Kapitel 1.7)
Produkte	Energieprodukt oder Nebenprodukt der Anlage
Prüfwert	Summe der Grenz- und Referenzwerte multipliziert mit den Produktionsmengen einer Anlage.
ReCiPe 2016 (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. Die Hierarchist Perspektive wird in Kapitel 2.2.2.4 beschrieben.. Langzeitemissionen werden in der Bewertung nicht berücksichtigt.
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 ReCiPe 2016 (H,A) Punkten.

SCR	selective catalytic reduction, Ein Verfahren zur Entstickung von Rauchgasen (DeNO _x)
SNCR	selective non-catalytic reduction, Ein Verfahren zur Entstickung von Rauchgasen (DeNO _x)
Sm ³	Schüttkubikmeter (auch Schnitzelkubikmeter oder Schüttraummeter). Allgemein gebräuchliches Raummaß zur Bestimmung der Holzschnittmenge.
tA	Aussentemperatur
VUE	Verein für umweltgerechte Energie

1 Einführung und Methodik

1.1 Ziel des Handbuchs

Der Verein für umweltgerechte Energie (VUE) vergibt für besonders umweltfreundliche Erzeugung von Strom, Wärme, Kälte und Biomethan aus erneuerbaren Energien das Label «naturemade star». Hierzu werden verschiedene Kriterien berücksichtigt.

Ein Kriterium im Rahmen der Zertifizierung ist das globale Kriterium. Mittels einer vereinfachten Ökobilanz wird für die Anlagen geprüft, ob die Gesamtumweltbelastung unter einem festgelegten Grenzwert liegt.

Zur Berechnung der Umweltbelastungen werden Excel-Kennwertmodelle (KWM) verwendet, in die die Anlagenbetreiber dafür notwendige Informationen zum Betrieb der Anlage eingeben.

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 einem Prüfwert (der Summe der produktspezifischen Referenz- und Grenzwerte) verglichen.

In diesem Bericht wird das methodische Vorgehen für das globale Kriterium festgelegt. Dazu gehören unter anderem die Datengrundlagen, Bewertungsmethoden und methodische Festlegungen. Ausserdem wird der Aufbau und die praktische Verwendung der Kennwertmodelle erläutert.

1.2 Ausgangslage

Im Jahr 2000 wurden erstmals Kriterien für die Prüfung von erneuerbarer Stromerzeugung für die Zertifizierung mit dem naturemade star Label erarbeitet (Frischknecht & Jungbluth 2000). Die Arbeitsgruppe Kriterien des damals sogenannten Vereins für umweltgerechte Elektrizität, heute Verein für umweltgerechte Energie, war bereits damals für die Bereitstellung von Bewertungskriterien zur Vergabe eines Ökolabels für Energie aus erneuerbaren Quellen zuständig. Die Bewertungskriterien waren damals eingeteilt in sogenannte *lokale* und *globale* Kriterien.

Seit 2022 heissen diese *spezifische* und *globale* Kriterien. Die *spezifischen* Kriterien umfassen den Kraftwerksperimeter plus eine wirkungsspezifische Grauzone, das *globale* Kriterium basiert auf einer Lebenszyklusbetrachtung aller Umweltauswirkungen der Anlage (Ökobilanz, siehe auch Fig. 1.1).

Für die Verwendung des naturemade star Labels darf dabei ein Höchstwert von Umweltbelastungen nicht überschritten werden (Frischknecht & Jungbluth 2000; Naturemade 2000). Dieser **Prüfwert** dient als globales Kriterium zur Vergabe eines Ökolabels für Strom aus erneuerbaren Energiequellen (siehe Fig. 1.1).

Zur Vereinfachung der Prüfung wurden Kennwertmodelle (KWM) erarbeitet, die es Anlagebetreibern ermöglichen, in kurzer Zeit abzuklären, ob die eigene Anlage den Prüfwert unterschreitet und damit das globale Kriterium für die Vergabe des Ökolabels erfüllt.

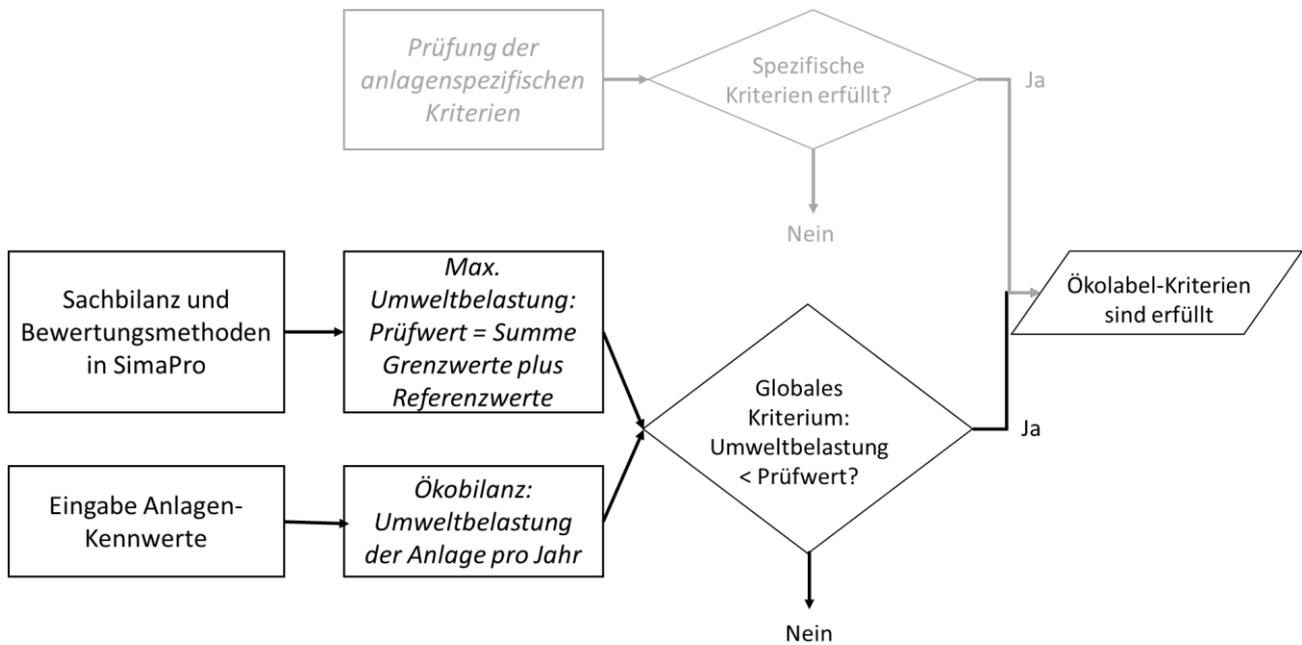


Fig. 1.1 Ablaufschema Vergabe des Ökolabels «naturemade star»

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 erneuerbarer Energie beschlossen.

Ein erste Version dieses Handbuchs wurde Mitte 2010 publiziert (Jungbluth et al. 2010b). Nach der Fertigstellung des ersten Berichtes gab es einige Änderungen und Ergänzungen an den Kennwertmodellen, die in einem überarbeiteten Bericht dokumentiert wurden (Jungbluth & Flury 2013).

Fortlaufend wurden viele kleine Korrekturen, Verbesserungen und Erweiterungen an den Kennwertmodellen durchgeführt.

In der Überprüfung des globalen Kriteriums wurde 2023 festgelegt, welche Bewertungsmethode und Grenz- und Referenzwerte ab 2024 verwendet werden (Kapitel 2.1). Aufdatiert wurden auch die Grundlagendaten (ESU-services 2024a, b).

Im vorliegenden Bericht wird eine Übersicht zu den aktuellen Kennwertmodellen gegeben. Der Bericht enthält auch eine detaillierte Beschreibung der Methode und der analysierten Systeme. Der Bericht wird immer wieder erweitert oder in Teilen aufdatiert. Für Fragen sollte jeweils die aktuelle Version heruntergeladen werden.

Mittels der Kennwertmodelle kann auch eine einfache Umweltdeklaration für die Anlagen erstellt werden. Dafür werden in einem gesonderten Blatt die Umweltbelastungen für verschiedene Indikatoren gezeigt (Kapitel 4.12).

1.3 Verfügbare Kennwertmodelle

Im Kapitel 4 werden die Kennwertmodelle (KWM) für die nachstehend aufgelisteten Anlagentypen beschrieben.

Für die Systeme für Wasser, Wind und Photovoltaik gibt es Kennwertmodelle aus dem Jahr 2003 bzw. 2010 (Frischknecht & Jungbluth 2000; Jungbluth et al. 2010a). Diese werden allerdings nicht mehr verwendet, da sich gezeigt hat, dass Wasserkraftwerke (inklusive Trink- und Abwasser) sowie PV- und Windkraftanlagen den globalen Grenzwert pauschal erfüllen (siehe Kapitel 3.2.2).

Tab. 1.1 Kennwertmodelle, zertifizierte Produkte und Energieträger zur Zertifizierung

Anlagentyp / Kennwertmodell	Energieträger	Zertifizierte Produkte	Status
Holzenergie	Restholz Altholz Stückholz Holzschnitzel Holzpellets	Strom Wärme Fernwärme Biomethan	Aufdatiert 2023
Bio- und Klärgasanlagen	Hofdünger Biogene Abfälle und Reststoffe nachwachsende Rohstoffe Klärschlamm Industrieabwasser	Biomethan Biogas Strom Wärme Fernwärme	Aufdatiert 2023
Wärmepumpe und Kältemaschinen	Umweltwärme/Kälte und Strom aus erneuerbaren Energien	Wärme Fernwärme Kälte Fernkälte	Aufdatiert 2023
Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)	Abfälle	Strom Fernwärme	Aufdatiert 2023
Fernwärmemix	Zertifizierte Wärme aus erneuerbarer Energie Wärme aus weiteren Quellen zur Spitzenlastabdeckung	Fernwärme	Kann bei Bedarf erstellt werden.
Biomethannutzung	Biomethan aus erneuerbarer Energie	Strom Wärme Kälte	KWM in Modell Biogas integriert seit 2013 aber mangelnder Nachfrage ausgeblendet und nicht mehr aktualisiert
Photovoltaik	Sonnenenergie	Strom	Stand 2000, ab 2024 nicht mehr angeboten
Sonnenkollektoren	Sonnenenergie	Wärme	Kein KWM vorhanden
Wasserkraft	potenzielle Energie	Strom	Stand 2003, ab 2024 nicht mehr angeboten
Windkraft	kinetische Energie	Strom	Stand 2003, ab 2024 nicht mehr angeboten
Biomasse-Verbrennung	Klärschlamm Faulschlamm Biogene Abfälle und Reststoffe	Strom Wärme Fernwärme	Kann bei Bedarf erstellt werden bzw. als Erweiterung zum KWM Holz erarbeitet werden

1.4 Zertifizierte Energieprodukte

Für die Zertifizierung einer Energieanlage werden die verschiedenen Energieprodukte Strom, Wärme (inkl. Fernwärme), Kälte (inklusive Fernkälte), Biogas und Biomethan berücksichtigt. 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)¹
- Prüfung, Biogas
- Prüfung, Biomethan (96 Vol.-% Methan)

Bei der Diskussion des grundsätzlichen Vorgehens wurde entschieden, dass es nicht sinnvoll oder möglich ist, die Erreichung des Prüfwertes getrennt für die einzelnen Energieprodukte zu prüfen.²

Für jedes dieser Energieprodukte wird in diesem Bericht ein Referenzsystem und der naturemade Grenzwert festgelegt. 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 (siehe Kapitel 3).

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.

1.5 Zusammenhang der verschiedenen Produkte und Systeme

Fig. 1.2 zeigt einen generellen Überblick zum Zusammenhang der verschiedenen Systeme, Produkte, Referenz- und Grenzwerte, die im Rahmen des Projektes festgelegt werden müssen.

Ausgangspunkt ist ein erneuerbarer Energieträger. Dieser wird in einer Anlage in Endenergie in Form von Strom, Wärme, 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.³

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

¹ KWM wurde noch nicht erstellt.

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

³ Noch nicht betrachtet.

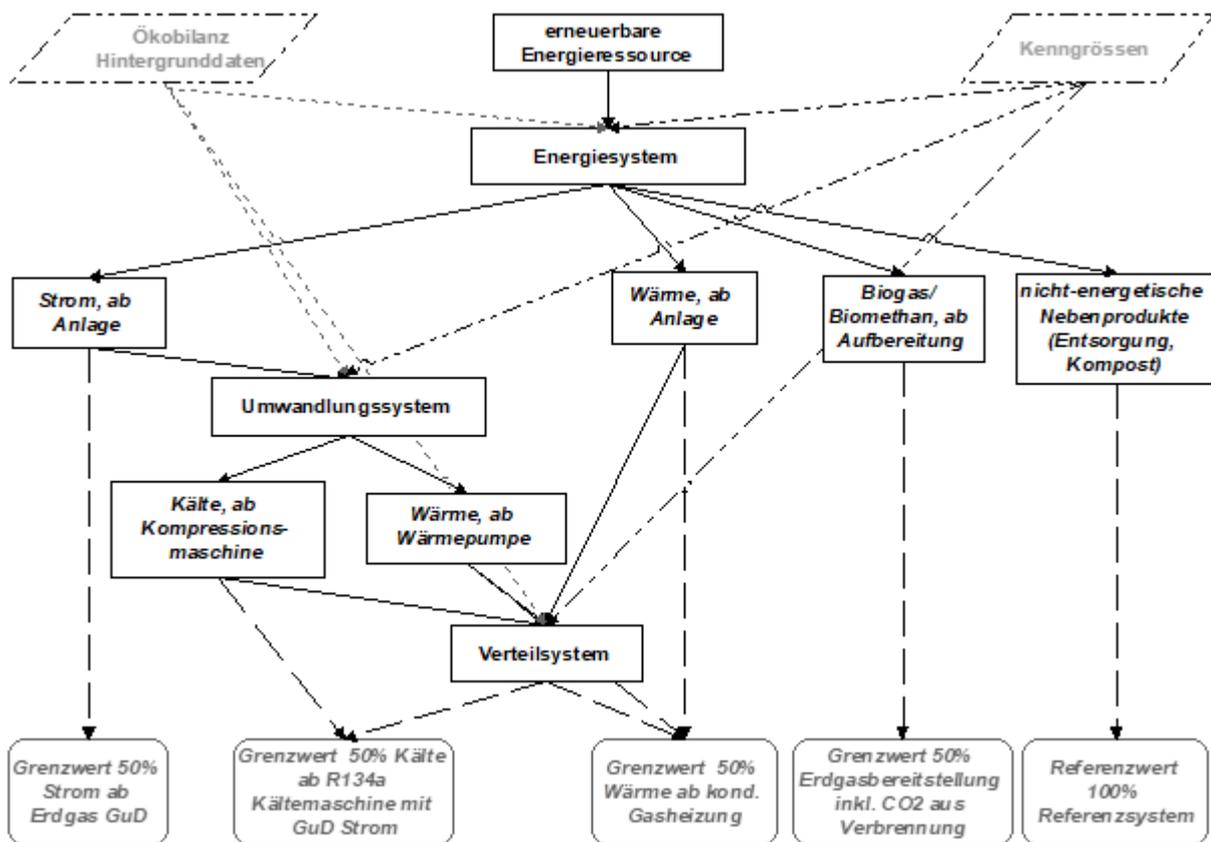


Fig. 1.2 Übersicht zum Vorgehen bei der Unterscheidung von Energiesystemen, Umwandlung und Verteilung. Zuordnung des Referenzsystems sowie der Grenz- und Referenzwerte zu den verschiedenen Produkten. Abfrage von Kenngrößen in der Modellierung.

1.6 Allgemeine Methodik für Produktökobilanzen gemäss ISO 14040/44

Die ursprüngliche Ökobilanz bzw. das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt⁴ verbundenen Umweltauswirkungen. Die Ökobilanz beruht auf einem Lebenszyklus-Ansatz. Damit werden die Umweltauswirkungen eines Produktes von der Rohstoffentnahme über Fertigung und Nutzung bis zur Entsorgung des Produktes und der Produktionsabfälle (von der Wiege bis zur Bahre, „cradle to grave“) erfasst und beurteilt.

Eine Ökobilanz lässt sich gemäss ISO 14040 grob in vier Phasen unterteilen (siehe Fig. 1.3):

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

4 Der Begriff Produkt schliesst hier Dienstleistungen mit ein.

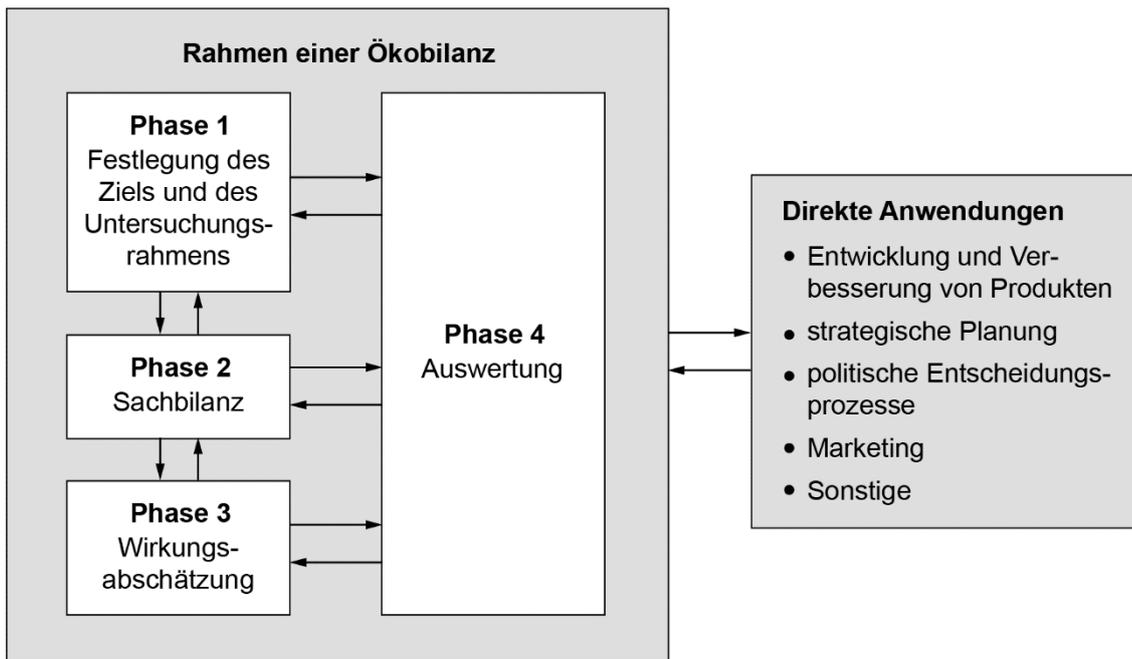


Fig. 1.3 Bestandteile einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA); Bezeichnungen in Deutsch (International Organization for Standardization (ISO) 2006)

Die *Zieldefinition* (Phase 1) enthält die Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes, und die Definition der Bezugsgrösse, der sogenannten funktionellen Einheit. Zudem werden diejenigen Umweltaspekte definiert, die bei Wirkungsabschätzung und der Interpretation berücksichtigt werden sollen. Der *Untersuchungsrahmen* wird abgesteckt, indem die Modellierungsweise und die für ein Produkt massgebenden Prozesse bestimmt und beschrieben werden.

In der *Sachbilanz* (=Ökoinventar, Phase 2) werden die Umwelteinwirkungen⁵ und der Bedarf an Halbfabrikaten, Hilfsstoffen und Energie der am Produktlebenszyklus beteiligten Prozesse erfasst und zusammengestellt. Diese Daten werden in Bezug zum Untersuchungsgegenstand, der funktionellen Einheit gesetzt. Das Ergebnis der Sachbilanz sind die kumulierten Stoff- und Energieflüsse, die durch das Bereitstellen der funktionellen Einheit ausgelöst werden.

Ausgehend von der Sachbilanz wird die *Wirkungsabschätzung* (Phase 3) durchgeführt. Gemäss ISO 14040 wird die Wirkungsabschätzung in verschiedene Teilschritte unterteilt. Die ISO 14044 legt weder spezifische Verfahren fest, noch unterstützt sie die zugrunde liegenden, für die Ordnung der Wirkungskategorien verwendeten Werthaltungen. Die Werthaltungen und Beurteilungen innerhalb der Wirkungsabschätzung liegen in alleiniger Verantwortung des Autors und Auftraggebers der Studie.

Normierung und Gewichtung werden in ISO 14044 als optionale Elemente der LCIA nach der Klassifizierung und Charakterisierung eingeführt. Die Gewichtung darf nicht als alleinige Aussage in Ökobilanzstudien verwendet werden, die für vergleichende Aussagen verwendet werden sollen, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollen. Der Entwurf der ISO/TS 14074⁶ enthält weitere Leitlinien für die Normierung, Gewichtung und Interpretation. Darin heisst es z.B., dass die Gewichtung auf Wertentscheidungen beruht und nicht wissenschaftlich fundiert ist. Außerdem müssen alle Indikatorergebnisse der Studie vor der Gewichtung in den LCA-Bericht aufgenommen werden.

⁵ Ressourcennutzung und Schadstoffemissionen.

⁶ <https://www.iso.org/standard/61117.html>

In der *Auswertung* (Phase 4) werden die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zusammengefasst. Es werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert.

1.7 Verursacherprinzip in Ökobilanzen von Abfällen und Reststoffen

Die Allokation von Abfällen in Umweltdeklarationen erfolgt nach dem Verursacherprinzip und dessen Auslegung in EN 15804 (European Committee for Standardisation (CEN) 2022:6.4.3.3): "Prozesse der Abfallbehandlung sind dem Produktsystem zuzuordnen, das den Abfall erzeugt, bis das Abfallende erreicht ist." Das Abfallende ist erreicht, wenn alle folgenden Kriterien für das Abfallende erfüllt sind (in Anlehnung an EN 15804 übersetzt von EPD 2021:A5.2):

- das verwertete Material, Bauteil oder Produkt wird üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet;
- es besteht ein Markt⁷ oder eine Nachfrage, z. B. **durch einen positiven wirtschaftlichen Wert**, für einen solchen verwerteten Stoff, ein solches Bauteil oder ein solches Produkt (in der englischsprachigen Version wird dies als polluter-pays-principle, PPP benannt);
- der zurückgewonnene Werkstoff, das Bauteil oder das Produkt die technischen Anforderungen für die spezifischen Zwecke erfüllt und den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen für Produkte entspricht; und
- die Verwendung des zurückgewonnenen Materials, Produkts oder Bauelements keine nachteiligen Gesamtauswirkungen auf die Umwelt oder die menschliche Gesundheit haben wird.

Der oben beschriebene Grundsatz bedeutet, dass der Verursacher des Abfalls die vollen Umweltauswirkungen bis zu dem Zeitpunkt im Produktlebenszyklus zu tragen hat, an dem alle Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft erfüllt sind. Abfälle können einen negativen wirtschaftlichen Marktwert haben, und dann wird das Abfallende in der Regel nach (einem Teil) der Abfallverarbeitung und weiteren Veredelung erreicht, zu dem Zeitpunkt, an dem der Abfall keinen negativen Marktwert mehr hat. Diese Zuteilungsmethode steht (in den meisten Fällen) im Einklang mit der rechtlichen und finanziellen Verantwortung eines Abfallerzeugers. Die Methode ist in Fig. 1.4 für einen Fall dargestellt, in dem der Marktwert des Abfalls immer positiv ist und das Abfallende erreicht wird, wenn der Abfall seinen niedrigsten Marktwert hat. Im Folgenden werden gängige Fälle der Zuordnung von Abfallbehandlungsverfahren beschrieben.

⁷ Markt bedeutet in diesem Zusammenhang nicht unbedingt einen perfekten, unbeeinflussten Markt sondern die Marktrealität die auch Einflüsse durch Subventionen oder gesetzliche Regelungen abbildet.

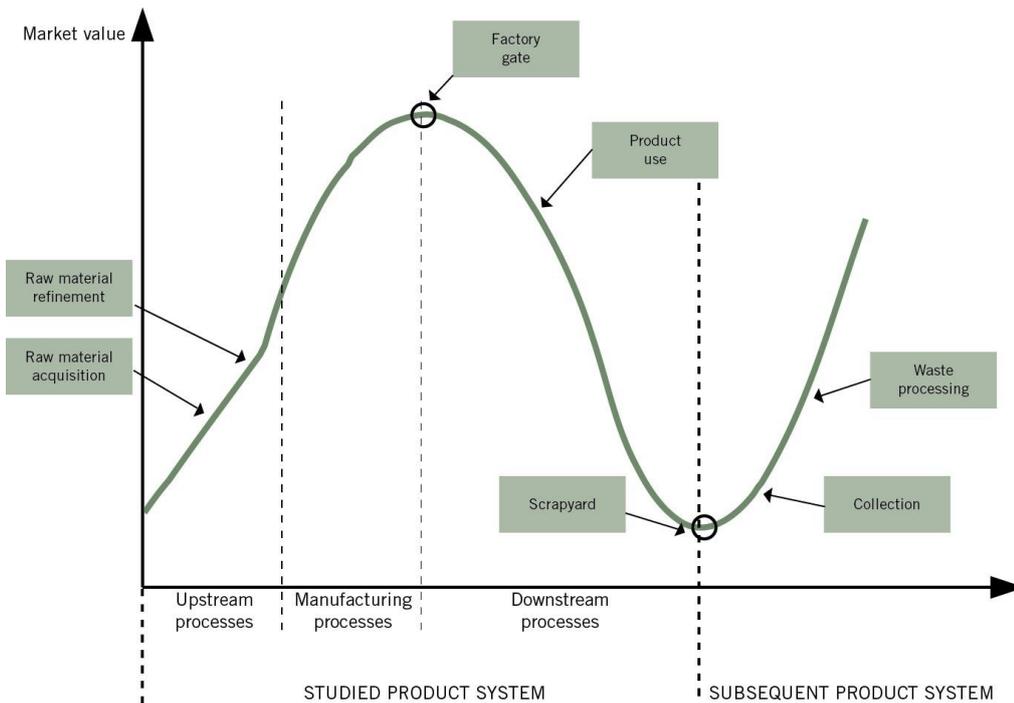


Fig. 1.4 Ein Beispiel dafür, wo die Systemgrenze zwischen nachfolgenden Produktsystemen, die Wiederverwendungs-, Recycling- und Verwertungsprozesse beinhalten, auf der Grundlage des im Text beschriebenen Zuordnungsverfahrens festgelegt werden kann (Quelle: EPD 2021:A5.2).

Bei Abfällen, die recycelt oder wiederverwendet werden, sind die Umweltauswirkungen der Prozesse bis zum Ende der Abfalleigenschaft dem Produktsystem zuzurechnen, das den Abfall erzeugt. Prozesse nach dem Ende der Abfalleigenschaft, sofern vorhanden, sind dem Produktsystem unter Verwendung des recycelten/verwendeten Materialflusses zuzurechnen (recycelte Materialien werden danach als Sekundärmaterialien betrachtet). Interne Abfälle, die innerhalb eines Herstellungsprozesses recycelt werden, gelten nicht als Input von Sekundärmaterial.

Bei der Abfallverbrennung mit Energierückgewinnung ist das Abfallende nach der Verbrennung erreicht, wenn die Abfallverbrennungsanlage für die Verbrennung des Materials bezahlt wird (d. h. das Material hat einen negativen wirtschaftlichen Wert), was bedeutet, dass die Umweltauswirkungen der Sammlung, Vorbehandlung und Verbrennung des Abfalls dem Produktsystem zuzurechnen sind, das den Abfall erzeugt. Die Auswirkungen, die mit der Nutzung der Energie verbunden sind, sind jedoch dem Produktsystem zuzurechnen, das die Energie nutzt. Wird das Abfallende vor der Verbrennung des Abfalls erreicht, wird der Abfall als Sekundärbrennstoff betrachtet, und die weitere Verarbeitung und Verbrennung des Sekundärbrennstoffs wird dem Produktsystem zugerechnet, das die Energie nutzt. Dies ist z. B. der Fall, wenn die (Müll)verbrennungsanlage für das Material bezahlt (d. h. der wirtschaftliche Wert des Materials ist positiv) und auch alle anderen Kriterien für den End-of-Waste-Zustand erfüllt sind.

Bei der Abfallverbrennung ohne energetische Verwertung sind die Umweltauswirkungen der Sammlung, Vorbehandlung und Verbrennung des Abfalls dem Produktsystem zuzurechnen, das den Abfall erzeugt.

Bei der Deponierung von Abfällen sind die Umweltauswirkungen der Deponierung sowie der Erfassung und Verbrennung von Deponiegas, sofern vorhanden, dem Produktsystem zuzurechnen, das den Abfall erzeugt. Auswirkungen im Zusammenhang mit der Nutzung der Energie sind gegebenenfalls dem Produktsystem zuzurechnen, das die Energie nutzt.

2 Allgemeine Festlegungen

2.1 Datengrundlagen und Berechnung

Für alle Berechnungen wurden Hintergrunddaten der ESU Datenbank mit der Ökobilanz-Software SimaPro (SimaPro 2023) 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.

Die ESU Datenbank (ESU-services 2024b) basiert auf dem UVEK-Ökobilanzdatenbestand 2018 (UVEK 2018) und der Methodik für die ecoinvent Datenbank Version 2.2 (Frischknecht et al. 2007a).

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 (Bussa et al. 2023; Jungbluth et al. 2018a; Jungbluth et al. 2018b; Jungbluth & Meili 2018; Meili et al. 2023a, b). Integriert wurden auch neuere Daten zu Plastik-Rohstoffen (PlasticsEurope 2016) und Aluminium (European Aluminium Association 2018).

Zu wichtigen Lieferketten wurden aufdatierte Daten der KBOB 2022 importiert (KBOB et al. 2022).

Die ESU Datenbank enthält eine Reihe von zusätzlichen und aufdatierte Datensätze (Tab. 2.1). Insgesamt enthält die Datenbank über 5000 Datensätze.

Tab. 2.1 Übersicht über Korrekturen, Updates und Erweiterungen für die ESU Datenbank

Changed: 1106	New: 475	Dataset	ESU database UVEK18	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		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 BAUFU
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
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	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 updated
4	12	electricity mixes, renewable RER and DE	OK	Newly modelled
2		biogas, production mix CH/RER	OK	Update of input mix for 2018
1	36	crude coconut oil, at plant/PH	OK	Import of 36 datasets from WFLDB and replace the old dataset with "Coconut oil, at oil mill (WFLDB 3.1)/GLO" also relinking former links. Delete the original dataset.
1		Lithium carbonate, at plant/GLO	OK	Input natural gas/JP relinked to GLO dataset
	1	aluminium chloride	OK	Modelled with own data
6	7	Several plastics data	OK	Import of PlasticsEurope data later than 2012 as system process with own assumptions on waste disposal. Implementation of emission factor for methane harmonized with new oil and gas data.
225	125	Photovoltaics Update 2020 by Treeze	OK	Import of new and replaced LCI data for the PV
6		fuel oil, burned in heating	OK	fuel oil, burned in heating, LHV korrigiert
1	9	electricity and tap water VN	OK	extrapolation
65	8	electricity mixes	OK	Update with reference year 2021
10	8	aluminium production	OK	Update with reference year 2018
0	21	tap water DE, water pipes and other materials for water supply	OK	Update with data from DE
0	2	polyoxymethylene, copolymer, at plant	OK	New data
40	0	refinery products, water balance	OK	correction
2	0	discharge, oil production effluents	OK	update
350	75	crude oil and natural gas	OK	Update with reference year 2021, Additional crude oil and natural gas long-distance transports and markets
68	0	electricity mixes in several countries	OK	ESU update with reference year 2022
80	32	coal and fossil fuels update by ZHAW	OK	Update and new datasets published 2023, KBOB 22
1		hard coal, at mine/IN	OK	Uncertainty bug corrected. Lognormal instead of Normal
14	4	earthProbe_PV-Mixes_corrections	OK	photovoltaics updates KBOB 22
		Rename "inert material landfill" to "construction waste landfill" and import some updated datasets	OK	KBOB 22
	5	scrap and furnaces	OK	KBOB 22
	22	gas heatings	OK	KBOB 22
4		gas using processes e.g. CHP	OK	gas input (CH and RER) aligned with the regional code of the dataset, e.g. CHP with natural gas RER input was CH

2.2 ReCiPe Bewertungsmethode für das globale Kriterium

Für dieses Projekt wurde im Jahr 2023 abgeklärt, welche Bewertungsmethode zukünftig verwendet werden soll. Festgelegt wurde die Beurteilung mit der Methode ReCiPe (H,A), (Huijbregts et al. 2017). Langzeit-Emissionen werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt.

Das Ziel von ReCiPe 2008 (Goedkoop et al. 2009) war es die beiden LCIA-Methoden Eco-Indicator 99 (Goedkoop & Spriensma 2000) und CML 2000 (Guinée et al. 2001a, b) zusammenzuführen. Ein Update der Methode wurde 2016 veröffentlicht (Huijbregts et al. 2017). Die ReCiPe Methode ermöglicht eine Auswertung auf Midpoint-Ebene (vergleichbar mit CML) wie auch auf Endpoint-Ebene (vergleichbar mit Eco-Indicator 99).

Auf beiden Ebenen stehen unterschiedliche Bewertungsindikatoren zur Verfügung

- 18 Midpoint Indikatoren vergleichbar mit CML 2000.
- 3 Endpoint Indikatoren vergleichbar mit Eco-Indicator 99 basierend auf den Schutzgütern menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcenentwertung.

Fig. 2.1 zeigt eine Übersicht über die Zusammenhänge der Sachbilanz und den Endpoint und Midpoint Indikatoren. Die deutschen Begriffe sind in Tab. 2.2 und Tab. 2.3 zu finden.

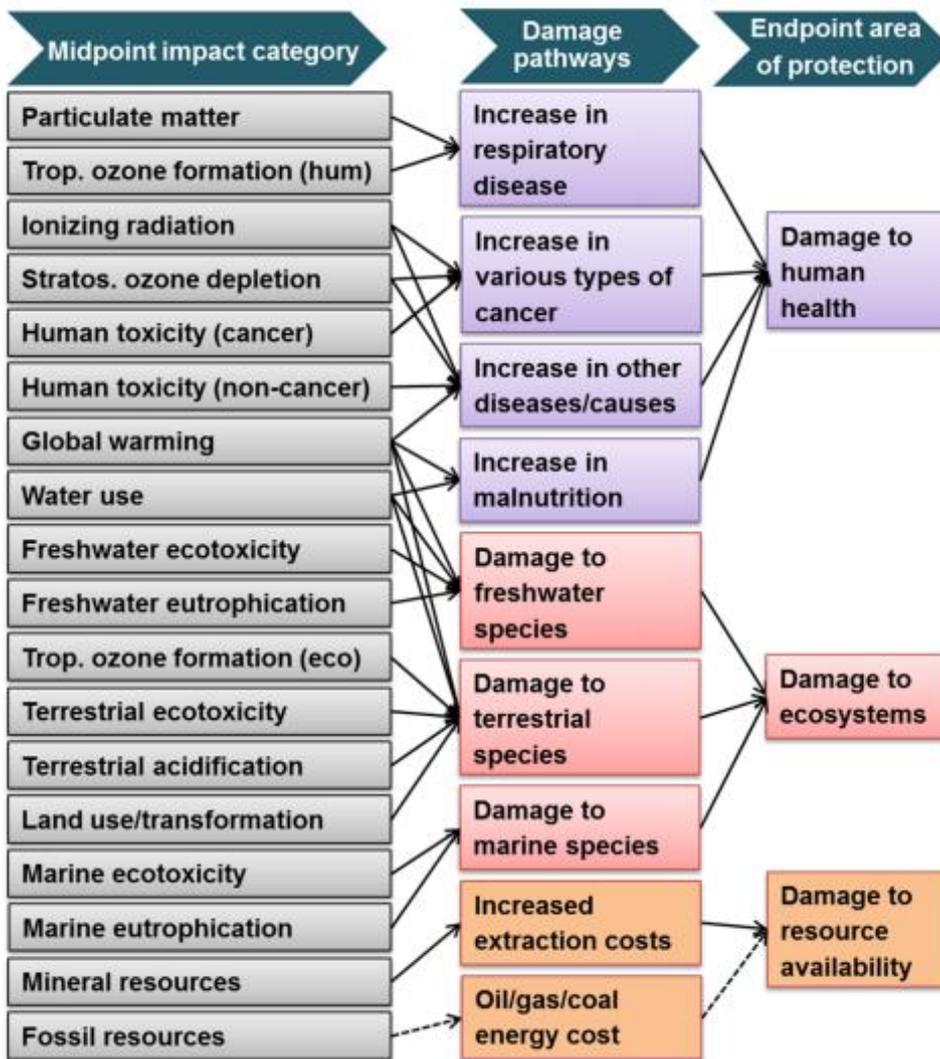


Fig. 2.1: Zusammenhänge zwischen der Midpoint Indikatoren (links) und deren Wirkungspfade zu den Endpoint Indikatoren (rechts) in ReCiPe 2016 (Huijbregts et al. 2017).

2.2.1 Midpoint Indikatoren

Die Midpoint-Indikatoren sollten in midpoint-orientierten Wirkungsmethoden autonom sein und gleichzeitig einen Zwischenschritt in einer endpoint-orientierten Methode darstellen. Tab. 2.2 gibt eine Übersicht über die 18 Midpoint-Wirkungskategorien und der dazugehörigen Indikatoren. Wirkungskategorien sind Bezeichnungen, Indikatoren entsprechen dem Messort eines Wirkungspfades.

Wichtige fehlende Aspekte auf Midpoint-Ebene sind Erosion, Versalzung, Lärm und Licht.

Tab. 2.2: Zusammenstellung der Namen der Wirkungskategorien, Indikatoren und Charakterisierungsfaktoren auf Midpoint-Ebene

Wirkungskategorie		Indikator		
Englischer Name	Deutscher Name	Einheit	Indikator	Einheit
climate change	Klimawandel	kgCO ₂	Infraroter Strahlungsantrieb	W*yr/m ²
ozone depletion	Ozonabbau	kgCFC-11	Stratosphärische Ozonkonzentration	ppt*yr
terrestrial acidification	Terrestrische Versauerung	kgSO ₂	Basensättigung	yr*m ² *mol/l
freshwater eutrophication	Frischwasser Eutrophierung	kgP	Phosphorkonzentration	yr*m ³
marine eutrophication	Meereseutrophierung	kgN	gelöster anorg. Stickstoff	yr*kgO ₂ /kgN
human toxicity: cancer	krebserregende Humantoxizität	kg1,4DCB	Risiko-Dosis Krebs	-
human toxicity: non-cancer	nicht krebserreg. Humantoxizität	kg1,4DCB	Risiko-Dosis Non-Krebs	-
photochemical oxidant formation: ecosystem	Photochemische Oxidantenbildung: Ökosystem	kgNO _x	troposphärische Ozonkonzentration	ppb*yr
photochemical oxidant formation: human health	Photochemische Oxidantenbildung: Menschliche Gesundheit	kgNO _x	troposphärische Ozonaufnahme	kg
fine particulate matter formation	Feinstaubbildung	kgPM _{2.5}	PM2.5 Aufnahme	kg
terrestrial ecotoxicity	Terrestrische Ökotoxizität	kg1,4DCB	Risiko-Konzentration	yr*m ²
freshwater ecotoxicity	Frischwasserökotoxizität	kg1,4DCB	Risiko-Konzentration	yr*m ³
marine ecotoxicity	Meeresökotoxizität	kg1,4DCB	Risiko-Konzentration	yr*m ³
ionizing radiation	ionisierende Strahlung	kBqCo-60	absorbierte Dosis	man*Sv
land use	Landnutzungung	yr*m ²	Fläche mal Dauer	yr*m ²
water use	Wasserverbrauch	m ³	Verbrauch	m ³
mineral resource scarcity	Verbrauch mineralischer Rohstoffe	kgCu	Erzkonzentration	kg
fossil resource scarcity	Verbrauch fossiler Rohstoffe	kgoil	Oberer Heizwert	MJ

2.2.2 Endpoint Indikatoren

Tab. 2.3 gibt eine Übersicht über die 3 Endpoint-Wirkungskategorien und den dazugehörigen Indikatoren. Die Wirkungskategorien entsprechen denjenigen Schutzgütern, welche die Entscheidungsgrundlage in Politik und nachhaltiger Entwicklung bilden sollten. Im Umweltbereich entsprechen diese Schutzgütern der menschlichen Gesundheit, der Ökosystemqualität und der Ressourcenverfügbarkeit.

Tab. 2.3: Zusammenstellung der Namen der Wirkungskategorien und Indikatoren auf Endpoint-Ebene.

Wirkungskategorie		Indikator			
Englischer Name	Deutscher Name	Einheit	Englischer Name	Deutscher Name	Einheit
Damage to human health	Schaden an der menschlichen Gesundheit	DALY	Disability-adjusted loss of life years	Behinderungsbereinigte Lebensjahre	yr
Damage to ecosystem diversity	Schaden an der Ökosystemdiversität	yr*species	Loss of species during a year	Verlust an Arten während eines Jahres	yr*species
Damage to resource availability	Schaden an der Ressourcenverfügbarkeit	Dollar	Increased cost	Angestiegene Kosten	Dollar

2.2.2.1 Menschliche Gesundheit

Schäden an der menschlichen Gesundheit werden in DALYs (disability adjusted life years) gemessen, ein Indikator, welcher von der Weltgesundheitsorganisation und der Weltbank entwickelt wurde und sowohl vorzeitige Todesfälle als auch Krankheiten unterschiedlicher Schweregrade einschließt. Schäden an der menschlichen Gesundheit werden für die Humantoxizität, Effekte infolge der

Klimaänderung, des Ozonschichtabbaus, photochemischer Oxidantenbildung, Feinstaubemissionen und radioaktiver Strahlung quantifiziert. Die verwendeten Modelle bestehen aus den fünf folgenden Teilschritten, die je nach Situation angewendet werden:

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

2.2.2.2 *Ökosystemqualität*

Schäden an der Ökosystemqualität werden in Abhängigkeit des Prozentsatzes der durch die Umweltbelastung verschwundenen Arten ausgedrückt.

- Der Einfluss der Klimaänderung wird modelliert über den Zusammenhang von Temperaturanstieg und Artenverlust an Land (Pflanzen und Schmetterlinge).
- Ökotoxizität wird durch den Anteil Arten quantifiziert, der in der Umwelt unter toxischem Stress leben muss (Potentially Affected Fraction, PAF). Da dieser Schaden nicht real beobachtbar ist, muss ein grober Umrechnungsfaktor verwendet werden, um toxischen Stress in tatsächlich beobachtbare Schäden überzuführen.
- Das Schadensmodell der Stoffe, die zur Versauerung beitragen, basiert auf einem atmosphärischen Niederschlagsmodell verknüpft mit einem dynamischen Bodenversauerungsmodell im Zusammenhang mit einer Dosis-Antwort Kurve der Stoffe.
- Die Schadensmodellierung der Überdüngung basiert auf dem Konzept der limitierenden Nährstoffe für das Algenwachstum (Stickstoff für Meereswasser und Phosphor für Frischwasser)
- Schäden durch Landbedarf und Landveränderungen basieren auf der Tatsache, dass durch den Landverbrauch die Artenvielfalt in dem besetzten Gebiet rückgängig ist.

2.2.2.3 *Ressourcenverfügbarkeit*

In ReCiPe 2016 wird der marginale Zuwachs an Kosten aufgrund der Ressourcenausbeutung als Grundlage des Modells angenommen. Im Falle von Mineralien wird dabei angenommen, dass ihr Gehalt in den Erzen sinkt. Bei fossilen Ressourcen wird davon ausgegangen, dass auch unkonventionelle fossile Ressourcen ausgebeutet werden.

Der Verbrauch an Wasser wird in der Endpoint Kategorie Ressourcenverfügbarkeit nicht berücksichtigt, sondern in Ökosystemqualität und menschliche Gesundheit.

2.2.2.4 *Unsicherheitsmodelle*

Die schon beim Eco-Indicator 99 entwickelten Betrachtungsweisen zum Umgang mit den Modellunsicherheiten für die Endpoint Modellierung wurden in ReCiPe übernommen. Modellunsicherheiten

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

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

Für dieses Projekt wird die Perspektive des durchschnittlichen Hierarchist (H, A) angewendet.

3 Referenzsysteme, Grenz- und Referenzwerte

3.1 Überblick zu den Systemgrenzen für die Prüfung

Fig. 3.1 zeigt einen Überblick zu den Systemgrenzen für Grenz- und Referenzwerte. Die Pfeile zeigen aus Sicht der Anlage, ob es sich um Inputs oder Outputs der Anlage handelt. Oben stehen die verschiedenen erneuerbaren Energieressourcen, die von den in KWM geprüften Anlagen genutzt werden. Unten stehen Outputs der Anlage, die für Grenz- und Referenzwerte eine Rolle spielen. Die Überbegriffe werden jeweils anhand von Beispielen erläutert, ohne dass dies die vollständige Komplexität des Vorgehens im Detail festlegt.

- Rot markiert sind dabei Flüsse, die aus Sicht der Gesamtbilanz der Anlage eine Umweltbelastung darstellen und für die der Anlagenbetreiber in der Regel zahlt.
- Grün markiert sind Aspekte, die für die Prüfung auf Seite der Grenz- und Referenzwerte verbucht werden und die in diesem Kapitel definiert werden. Aus Sicht der Anlage sind diese positiv und es wird auch ein ökonomischer Erlös erzielt.
 - Die Referenzsysteme für Energieprodukte beschreiben konventionelle Energiesysteme zur Bereitstellung eines vergleichbaren Energieproduktes. Der Grenzwert beschreibt die maximale Umweltbelastung für ein naturemade Energieprodukt des festgelegten Referenzsystems für ein Energieprodukt.
 - Die Referenzsysteme für nicht-energetische Nebenprodukte oder Entsorgungsleistungen beschreiben den aktuellen Stand der Technik für eine alternative Bereitstellung dieser Nebenprodukte oder Entsorgungsleistungen ohne gleichzeitige Erzeugung eines naturemade Energieproduktes. Der Referenzwert beschreibt die Umweltbelastung für die Bereitstellung eines Nebenproduktes oder einer Entsorgungsleistung in einem System, das keine naturemade Energieprodukte erzeugt.

- Gelb markiert sind frei verfügbare Ressourcen bzw. Outputs, die in der Bilanz weder positiv noch negativ bewertet werden. In die Ökobilanz der Anlage gehen weitere Umweltbelastungen z.B. durch Emissionen, Materialverbräuche und Transporte ein, die hier schwarz gezeigt sind.

Die Festlegung der Referenzsysteme, Grenz- und Referenzwerte erfolgt, wenn nicht anders beschrieben jeweils aus Sicht der Situation in der Schweiz, d.h. mit Ökobilanzdaten, die die Verhältnisse in der Schweiz abbilden.

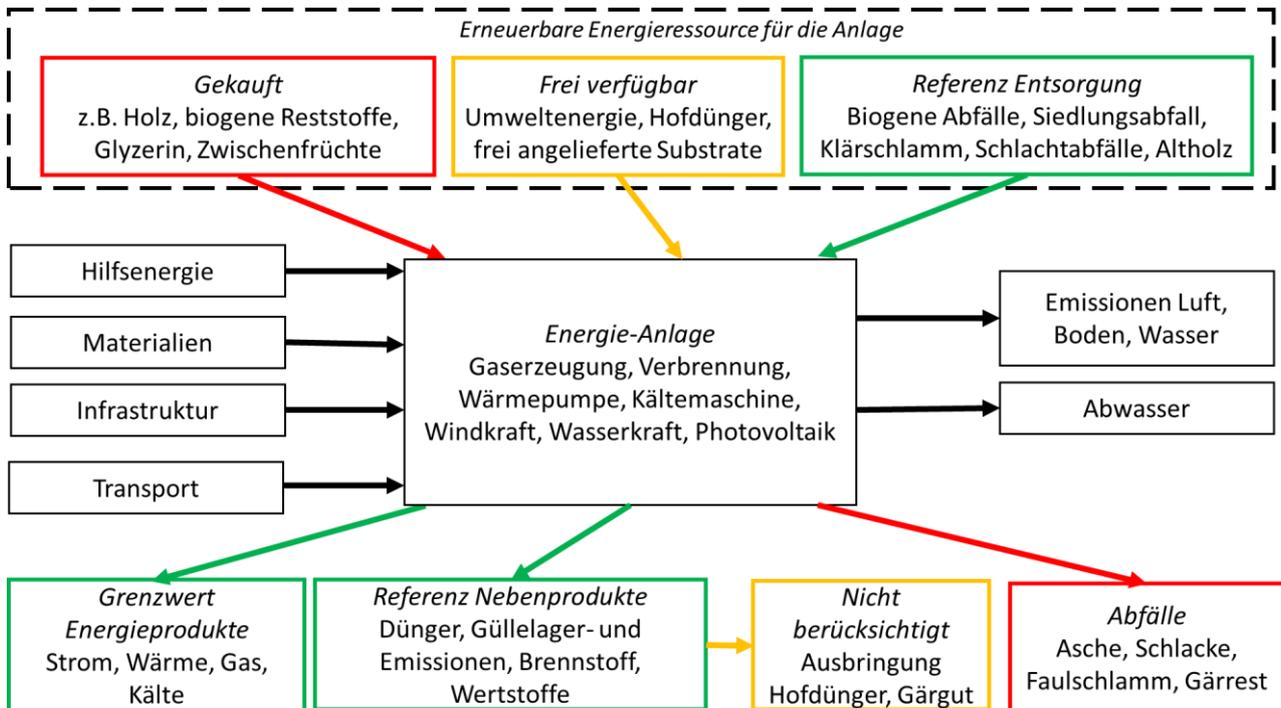


Fig. 3.1 Überblick zu den Systemgrenzen für Grenzwert- und Referenzwerte, sowie die Inputs- und Outputs, die in der Ökobilanz der Anlage berücksichtigt werden (Beispielhafte unvollständige Auflistung von Inputs- und Outputs)

3.2 Energetische Leistung der Anlagen: Energieprodukte

In diesem Kapitel werden die Referenzsysteme und dazugehörigen Grenzwerte für Energieproduktionsanlagen festgelegt, die für eine Zertifizierung nach naturemade star eingehalten werden müssen. Zur Festlegung geeigneter, ambitionierter Grenzwerte und Referenzsysteme wurden verfügbare Sachbilanzen für Energiesysteme der ESU-Datenbank (ESU-services 2024b) mit SimaPro als Grundlage ausgewertet. In den einzelnen KWM werden die Umweltbelastungen der entsprechenden Prozesse für die Grenzwerte dann jeweils mit den aktuellen Ökobilanzdaten berechnet und bewertet (vgl. Kap. 1.4).

3.2.1 Grenzwert für die Umweltbelastung der Energieprodukte

Die Festlegung des Grenzwertes ist ein normativer Prozess. Die hier verwendete Bewertungsmethode und der vorgeschlagene Grenzwert wurden von der Arbeitsgruppe „Kriterien“ des Vereins für umweltgerechte Elektrizität diskutiert und gutgeheissen.

Der Referenzsystem für alle Energieprodukte (Gas, Strom, Wärme und Kälte) wird auf Basis einer auf Erdgas basierenden Energiebereitstellung in der Schweiz festgelegt. Damit gibt es kein Anreiz, die Art des Energieproduktes wegen unterschiedlicher Ökobilanz-Bewertungen des Referenzsystems

zu verändern. Erdgas erlaubt eine klare Abgrenzung der erneuerbaren Energien gegenüber fossiler Energie als wichtiges Umweltproblem, insbesondere hinsichtlich des Klimawandels.

Als Grenzwert für die maximal zulässige Umweltbelastung für «naturemade star» werden 50% der Umweltbelastungen eines Referenzsystems für die Bereitstellung des Energieproduktes festgelegt.

Die Energie-Grenzwerte für «naturemade resources star» sind halb so gross wie diejenigen, die bei den naturemade star Energiesystemen angewendet werden, da nur 50 % der erzeugten Energie aus erneuerbaren Quellen stammt (Tschümperlin & Frischknecht 2017).

3.2.2 Strom

Die Umweltbelastungen verschiedener Systeme zur Bereitstellung von Strom aus erneuerbarer Energie werden mit Ökobilanzdaten aus der Hintergrunddatenbank ausgewertet (siehe Fig. 3.2). Als Grenzwert werden 50% der Umweltbelastungen, ausgedrückt in ReCiPe (H,A) Punkten, eines mit Erdgas betriebenes Gas- und Dampf (GuD)-Kraftwerke als Referenzsystem festgelegt. Der Grenzwert liegt somit bei ca. 4.7 Millipunkte pro kWh, d.h. die Belastungen sind etwas höher als beim in der Schweiz gelieferten Strommix ab Kraftwerksklemme.

Zunächst wurden alle verfügbaren Daten für eine Technologie ausgewertet. Fig. 3.2 zeigt die Umweltbelastungen des Referenzsystems, des Schweizer Strommixes, sowie – soweit Daten vorhanden – die beste, schlechteste und durchschnittliche Variante pro erneuerbares Energiesystem.

- Strom aus Windkraft, Wasserkraft und Photovoltaik liegt gemäss den Auswertungen in der Regel deutlich unter dem Grenzwert.
- Die Holz-WKK-Anlagentypen liegen über oder knapp beim Grenzwert. Allerdings zeigt Fig. 3.3, 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.
- Die Auswertung der Daten für Strom aus Biogasanlagen zeigt bei allen Anlagentypen ein Überschreiten des Grenzwerts.
- Bei der KVA wird in den Hintergrunddaten standardmässig keine Belastung auf den Strom alloziert. Dann liegt die Umweltbelastung bei 0. Bei der ökonomischen Allokation für die Entsorgung von Bioabfall in der KVA liegt die Belastung über dem Grenzwert.

Es wurde festgelegt, via KWM eine anlagenspezifische Prüfung für Biogasanlagen, Holz-WKK-Anlagen und KVA durchzuführen, um sicher zu stellen, dass die anlagenspezifischen globalen Umweltauswirkungen unter dem Grenzwert liegen.

Für Wasserkraftwerke (inklusive Trink- und Abwasserkraftwerke) sowie PV-Anlagen und Windkraftanlagen könnte auf eine anlagenspezifische Prüfung des globalen Kriteriums mit KWM verzichtet werden, da diese den Grenzwert pauschal einhalten.

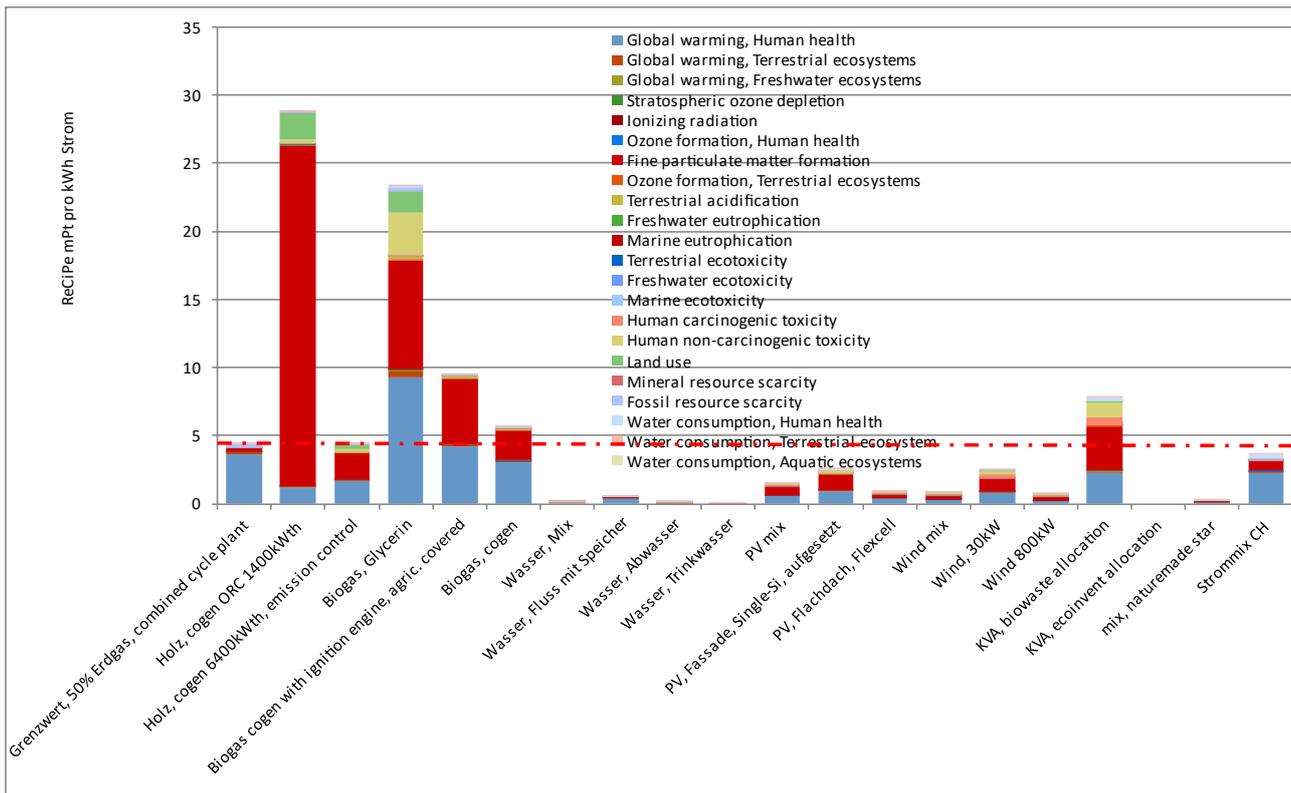


Fig. 3.2 Umweltbelastungen verschiedener Kraftwerke (ReCiPe (H,A) Milli-Punkte pro kWh Strom), ESU-services 2024b). Strom aus einem mit Erdgas betriebenen Schweizer GuD-Kraftwerk wird mit einem Faktor von 50% abgebildet, so dass dessen Umweltbelastung direkt dem naturemade star Grenzwert entspricht. Der Grenzwert ist als rote gepunktete horizontale Linie abgebildet. ORC=Organic Ranking Cycle

3.2.3 Wärme

Die Umweltbelastungen verschiedener Systeme zur Bereitstellung von Wärme aus erneuerbarer Energie werden mit Ökobilanzdaten aus der Hintergrunddatenbank ausgewertet (siehe Fig. 3.3). Für Wärme wird eine kondensierende und modulierende Erdgas-Heizung als Referenzsystem verwendet. In der Datenbank (ESU-services 2024b) gibt es eine kleine (<100 kW) und eine grosse (>100 kW) Anlage. Der Grenzwert für Wärme wird bei 50 % der Umweltbelastung des Referenzsystems „kondensierende und modulierende Erdgas-Heizung, 300kW“ festgelegt. Dies entspricht 2.5 Millipunkten pro kWh Wärme ab Anlage.

Für Fernwärme wird der gleiche Grenzwert verwendet, d.h. die Infrastruktur für die Verteilung im Fernwärmenetz wird in der Bilanz der geprüften Anlage berücksichtigt, nicht aber in der Referenzanlage.

- 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 hohe Umweltbelastungen mitbringt. Die Partikelemissionen der 1000 kW Heizung sind gemäss der in der Datenbank 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 abgebildete Wärmepumpe (heat pump) wird mit Strom aus einer Erdgas-WKK-Anlage betrieben und erreicht deshalb einen relativ hohen Wert.

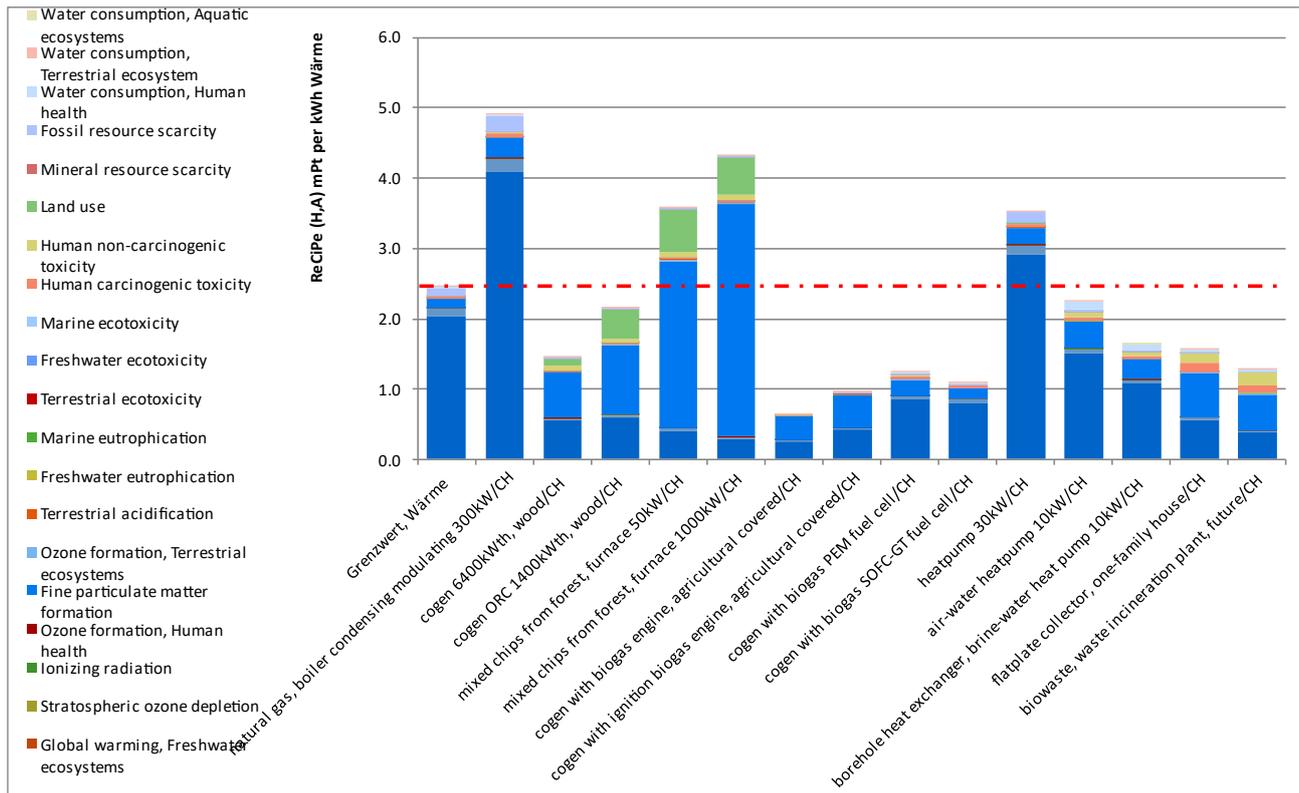


Fig. 3.3 Umweltbelastungen verschiedener Heizsysteme (ReCiPe (H,A) Milli-Punkte pro kWh), ESU-services 2024b). Für die Wärme aus beiden Erdgasheizungen wurde bereits der Faktor von 50% angewendet, so dass diese direkt als Grenzwert mit den anderen Systemen verglichen werden kann. Der Grenzwert ist als rote gepunktete horizontale Linie abgebildet.

Hinweis: Temperaturniveau wird nicht betrachtet

Wärme aus erneuerbarer Energie bzw. Abwärme wird je nach Anlagentyp auf einem eher niedrigen Temperaturniveau zur Verfügung gestellt. Bei tieferem Temperaturniveau können z.B. Wärmepumpen effizienter betrieben werden. Mit fossil betriebenen Systemen können alle Temperaturniveaus erreicht werden, wobei fossile Heizsysteme typischerweise auf höheren Temperaturniveaus gefahren werden und das Temperaturniveau einen geringeren Einfluss auf die Effizienz hat. Dies ist insbesondere bei industriellem Wärmebedarf relevant, der teilweise nicht mit allen Systemen gleichermassen gut gedeckt werden kann. Bei Wärme wird im KWM nicht hinsichtlich unterschiedlicher Temperaturniveaus unterschieden.

3.2.4 Kälte

Die Umweltbelastungen für die Bereitstellung von Kälte werden in Fig. 3.4 ausgewertet. Basis für die Ökobilanzen bilden einerseits die Sachbilanzdaten in der Hintergrund Datenbank (ESU-services 2024b) und andererseits Sachbilanzdaten, die in Fallstudien und Forschungsprojekten erhoben worden sind (Frischknecht 1999a, b; Jungbluth & Frischknecht 2001).

Betrachtet wurden nur Kältemaschinen (KM), die mittels Elektrizität Kälte (oder Wärme) erzeugen.

Die Bilanz für eine kombinierte Wärme- und Kälteerzeugung in Anlagen grösser als 400 kW basiert auf einem Produktdatenblatt.⁸ Das Gewicht von 5500 t wird aus Daten zur Luft-Wasser Anlage

⁸ DualPAC 104-W, gemäss <https://www.sabroe.com/en/products/chillers-and-heat-pumps/dualpac-heat-pumps/>.

skaliert, Füllgewicht 78 kg NH₃, Kältemittel Verluste 0.5%, Strombedarf 213 kWh/827 kWh = 0.26 kWh/kWh Kälte.

Für grosse Anlagen, die Grundwasser fördern, wurden Daten von einem Anlagenbauer für den Bau des Filterbrunnes zur Verfügung gestellt.⁹

Die Umweltbelastung hängt hauptsächlich von der Anlagen-Jahresarbeitszahl und somit vom Stromverbrauch ab. Ausserdem ist auch die spezifische Auslegung der Anlage von Bedeutung, z.B. das zu erreichende Temperaturniveau und die Umgebungsbedingungen. Dies wird bei der Festlegung des Referenzsystems nicht berücksichtigt.

Die Umweltbelastung der zu prüfenden Anlagen dürfen 50 % der Umweltbelastung einer mit direkt aus einem Gas- und Dampfkraftwerk (GuD-Kraftwerk) gelieferten Strom betriebenen Referenz-Kältemaschine nicht überschreiten. Damit orientiert sich die Definition des Grenzwertes nahe an den Systemen für Strom, Wärme und Gas. Die Referenz-Kältemaschine ist:

- für Anlagen bis 400 kW Kälteleistung eine R134a-Kältemaschine (50 kW), Anlagenjahresarbeitszahlen (JAZ) 3.75
- für Anlagen grösser als 400 kW eine Kältemaschine mit nicht ozonschicht-abbauendem und in der Luft nicht stabilem Kältemittel (R717 bzw. Ammoniak), JAZ 3.9.¹⁰

Die Umweltbelastungen der bereits bilanzierten Anlagen werden in Fig. 3.4 gezeigt. Das Kältemittel ist für die Beurteilung nicht relevant, da der Einfluss des Kältemittels auf die Umweltbelastung gering ist. Der wesentliche Faktor ist die Qualität des genutzten Stroms.

Der Grenzwert wird bei 1.7 bzw. 1.4 Millipunkten pro kWh bei Raumkühlung mit kleinen bzw. grossen Anlagen festgelegt. Werden die Anlagen statt mit Strom gemäss Grenzwert, mit dem naturemade star mix betrieben, liegen sie deutlich unter dem Grenzwert. Für Fernkälte wird der gleiche Grenzwert festgelegt. Das Energienetz wird in der Bilanz der Anlage hinzuaddiert. Bisher stehen keine Daten für die Kälteverteilung zur Verfügung und die Belastung wird mit dem Wärmeverteilnetz abgeschätzt.

⁹ Email Tamara Zaugg, Gebr. Mengis AG, 15.11.2021.

¹⁰ Das Kältemittel R134a ist gemäss Anh. 2.10 Ziff. 2.1 Abs. 3 Bst. d ChemRRV bei Anlagen mit einer Kälteleistung von mehr als 400 kW verboten.

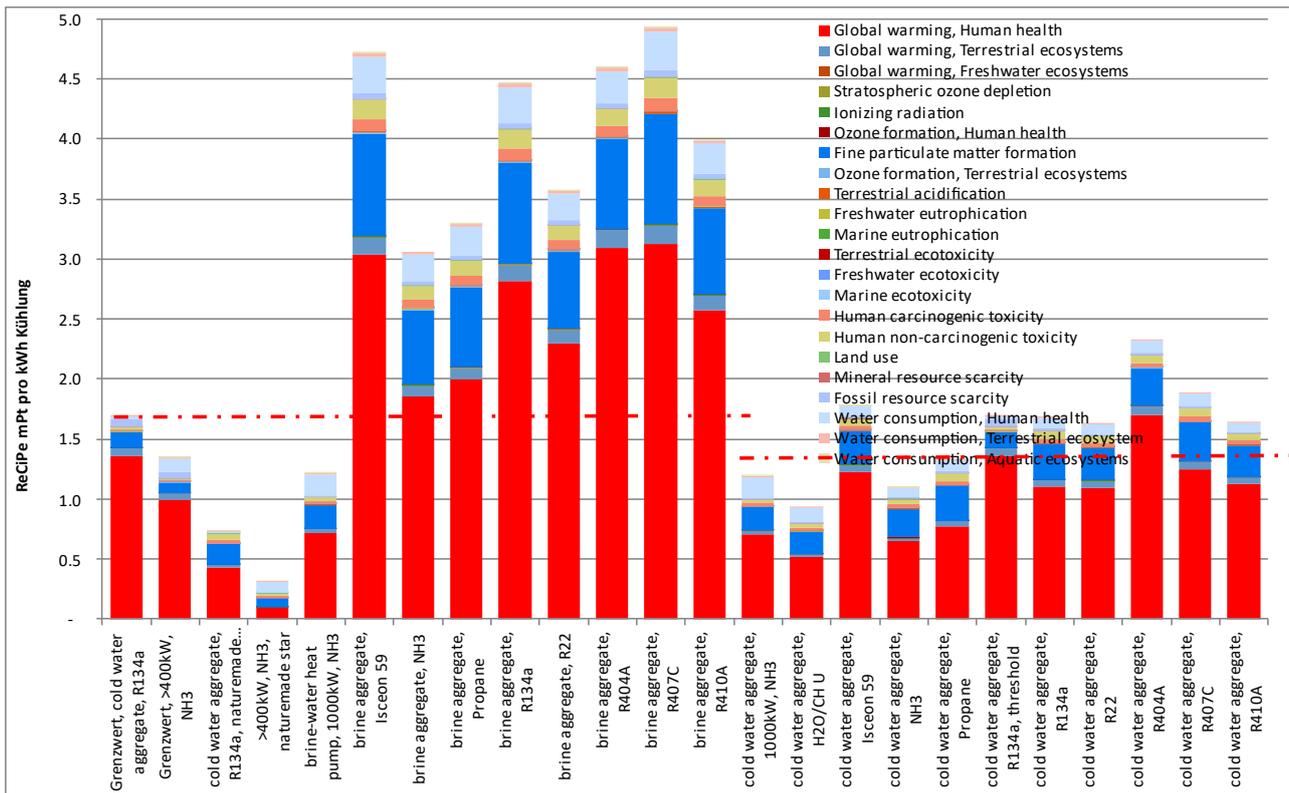


Fig. 3.4 Umweltbelastungen der Kältebereitstellung (ReCiPe (H,A) Millipunkte pro kWh Kälte, ESU-services 2024b)

3.2.5 Biomethan und Biogas

Biogas ist ein Gemisch aus Methan und Kohlendioxid, das bei der anaeroben Vergärung von Biomasse entsteht. Biomethan ist Biogas, das aufbereitet wurde, um den Methangehalt zu erhöhen und Verunreinigungen zu entfernen.

Neben Biogas aus Vergärungsanlagen könnte Biomethan auch aus der direkten Vergasung von Biomasse oder die Synthese aus Wasserstoff, der mittels Elektrolyse aus erneuerbaren Energien gewonnen wurde, erzeugt werden. Bisher wurden hierzu aber noch keine Anlagen zertifiziert.

Die Bereitstellung von erneuerbaren Gasen als Ersatz für fossiles Erdgas ist eine grosse Herausforderung. Einige technische Prozesse sind auf gasförmige Energieträger mit hohem Energiegehalt angewiesen. Heute wird Biogas aber auch verkauft, um weiterhin Gasheizungen zu betreiben. Seitens der Gaswirtschaft in der Schweiz werden Anstrengungen getroffen, die verfügbare Menge an erneuerbaren Gasen zu erhöhen.¹¹

Die Umweltbelastungen verschiedener Systeme zur Bereitstellung von Biogas und Biomethan aus erneuerbarer Energie werden in Fig. 3.5 Umweltbelastungen der für den Grenzwert Methan (Erdgas 50%-Grenzwert, inkl. CO₂-Verbrennung), Bereitstellung von Erdgas und Biomethan in der Schweiz (ReCiPe (H,A) Millipunkte pro kWh), ESU-services 2024b. auf Basis verfügbarer Ökobilanzdaten ausgewertet (ESU-services 2024b). Im Gegensatz zu der vom VUE definierten Methode mit Prüf- und Grenzwerten werden bei den Daten der hier verwendeten Datenbanken die Umweltbelastungen ökonomisch auf die Entsorgungsfunktion und die Energieprodukte alloziert. Im Folgenden

¹¹ <https://newsletter.gazenergie.ch/e/490b62fbf0988507/nl/182a9666374787214519a4af/link/690168/0523710d13652833e01031353500cd85c91f555f/de/>

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

Die Auswertung in Fig. 3.5 (Fig. 3.5 Umweltbelastungen der für den Grenzwert Methan (Erdgas 50%-Grenzwert, inkl. CO₂-Verbrennung), Bereitstellung von Erdgas und Biomethan in der Schweiz (ReCiPe (H,A) Millipunkte pro kWh), ESU-services 2024b. gemäss der Hintergrunddatenbanken erfolgt in Relation zum unteren Heizwert. Als Produktionsmenge wird im KWM der Energiegehalt (kWh oberer Heizwert) des ins Netz eingespeisten Biomethans (bzw. Biogases) erfasst.

Als Referenzsystem für das KWM 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. Für die Festlegung des Grenzwertes muss berücksichtigt werden, dass bei der Verbrennung von Biomethan aus nachwachsenden Rohstoffen das freiwerdende CO₂ nicht zum Treibhauseffekt beiträgt. Dies ist ein wesentlicher Umweltvorteil des aus Biomasse produzierten Energieproduktes. Um dies zu berücksichtigen, werden die fossilen CO₂-Emissionen bei der Verbrennung von Erdgas in der Bilanz der Erdgasbereitstellung ab Netz für den Grenzwert hinzuaddiert, wenn die Umweltbelastung für das Referenzsystem berechnet wird. Der Grenzwert liegt somit bei ca. 2.5 Millipunkten pro kWh Gas.

Für Biomethan wird die Produktion inklusive Aufbereitung und Einspeisung ins Hochdrucknetz in der Ökobilanz berücksichtigt, nicht aber die Lieferung bis zum Kunden. Somit ist das System analog zum Strom definiert. 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.

Obschon die fossilen CO₂-Emissionen beim Erdgas hinzuaddiert wurden, überschreiten alle Biomethananlagen aus der Datenbank den Grenzwert mit Ausnahme einer Anlage, die Biogas aus Syngas von Holz herstellt. Diese erreicht einen ähnlichen Wert.

Hauptgrund für die Umweltbelastungen der Biogas-Anlagen sind Methanschleupf und teilweise der Verbrauch von fossilem Erdgas für die Biogasaufbereitungsanlage oder die Fermenterheizung.

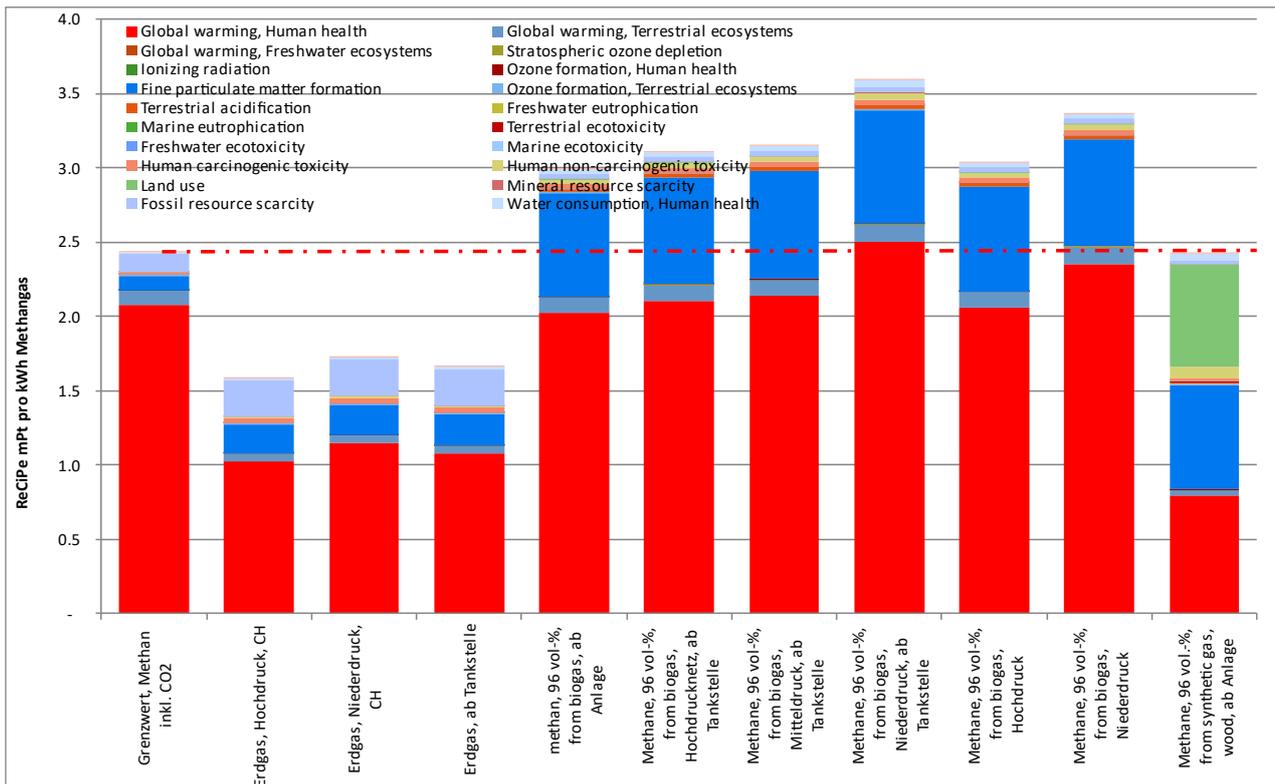


Fig. 3.5 Umweltbelastungen der für den Grenzwert Methan (Erdgas 50%-Grenzwert, inkl. CO₂-Verbrennung), Bereitstellung von Erdgas und Biomethan in der Schweiz (ReCiPe (H,A) Millipunkte pro kWh), ESU-services 2024b.

3.3 Nichtenergetische Leistung der Anlagen: Entsorgung/Reinigung von Abfällen/Abwässern

Abfall ist nach dem Schweizer Umweltschutzgesetz jede bewegliche Sache, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren sich die öffentliche Hand zur Wahrung des Interesses der Allgemeinheit entledigen muss. Abfall umfasst sowohl feste als auch flüssige oder gasförmige Stoffe, die aus Haushalten, Gewerbe, Industrie oder Landwirtschaft stammen.

Mit der zunehmenden Kreislaufwirtschaft ist es zunehmend schwerer zu bestimmen, ob es sich bei der Verwertung von energiereichen, organischen Stoffen um Abfälle oder Rohstoffe handelt, die als Input für die Energieproduktion verwendet werden können. So können beispielsweise Lebensmittelabfälle als Abfall betrachtet werden, wenn sie vom Verbraucher entsorgt werden, aber auch als Rohstoff, wenn sie für die Kompostierung oder die Biogaserzeugung verwendet werden.

Für die Festlegung, ob es sich um Abfälle oder Rohstoffe handelt, wird in Umweltdeklarationen und Ökobilanzen das Verursacherprinzip angewendet (Siehe Kapitel 1.7, European Committee for Standardisation (CEN) 2022:6.4.3.3 und EPD 2021:A5.2). D.h. derjenige, der für die Behandlung bzw. Nutzung des Materials bezahlt, trägt auch die Umweltbelastungen in der Bilanz der eigenen Produkte und Dienstleistungen. Wenn eine Energieerzeugungsanlage Substrate verwendet, für die eine Entsorgungsgebühr eingenommen wird, so wird dies bei der Ökobilanz-Prüfung mit einem Referenzwert berücksichtigt. Die Definition eines Abfalls richtet sich also nicht nach lokalen gesetzlichen Regelungen, sondern nach der ökonomischen Verantwortung.

Verschiedene Fälle und die Festlegung der Referenzsysteme werden in diesem Kapitel dokumentiert. In die Bilanz des Referenzwertes gehen, wenn nicht anders angegeben, 100% der entsprechenden Umweltbelastungen ein.

3.3.1 Entsorgung von biogenen Abfällen in Vergärung

3.3.1.1 Ausgangslage

Die Bandbreite von vergärten Substraten in den unterschiedlichen Vergärungsanlagen ist breit und reicht von Abfällen, für die Entsorgungsgebühren bezahlt werden, über frei angelieferte Substrate bis hin zu energiereichen Substraten, die für die Vergärung begehrt sind und für die teilweise bezahlt wird (z.B. Molkereirückstände, Glycerin oder Altpflanzenöl, siehe Kapitel 4.5.2.4).

Als biogene Abfälle werden Biomasserückstände z.B. aus Haushalten, der Gastronomie oder lebensmittelverarbeitenden Betrieben bezeichnet sofern dafür eine Entsorgungsgebühr bezahlt wird. Grün- gut ist z.B. Rasenschnitt, Strauchschnitt, Gartenabraum, Laub etc., das in der Anlage als Abfall entsorgt wird. Alternativ zur Verwendung in einer Biogasanlage könnten diese Substrate auch kompostiert werden oder einer weiteren Verwertung als Brennstoff, Material oder Futtermittel zugeführt werden.

Hier wird der Referenzwert für die Entsorgungsfunktion von biogenen Abfällen definiert. Der Referenz für die Düngewirkung durch die Komposterzeugung wird in Kapitel 3.4.1 beschrieben.

Aktuell gibt es eine Reihe von Varianten zur Entsorgung von biogenen Abfällen 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 (siehe z.B. Dinkel et al. 2009; Schleiss & Jungbluth 2005). Somit ist es schwierig ein für alle Fälle gleichermassen geeignetes 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 zusammen 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 (vgl. Kapitel 3.4.1), stellt die Schwermetallausbringung häufig ein Hauptproblem dar. Verfahren, die das Substrat vollständig verbrennen, werden in diesem Fall trotz der Nährstoffverluste in Ökobilanzen besser bewertet, da die Schwermetalle konzentriert einer Deponie zugeführt werden (Schleiss & Jungbluth 2005).

Als weiteres Problem werden auch Kohlenwasserstoffgehalte der Kompostdünger als mögliche Schadstoffausbringung 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). Humus verbessert die Bodenstruktur und reduziert die Auswaschung der Nährstoffe im Vergleich zu synthetischen Mineraldüngern. 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_2 für den Nährstoffkreislauf verloren.

Tab. 3.1 Verfahren zur Behandlung und Verwertung 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 (NPK), org. Substanz (Stroh, Torf)	-	-	-	-	X	Kunstdünger & Torf nicht erneuerbar	X

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

3.3.1.2 Fragestellungen

Für die Definition des Referenzwertes für die nicht-energetischen Nebenprodukte „Entsorgung“ werden sowohl Vor- als auch Nachteile der Entsorgung in der Biogasanlage gegenüber einer Entsorgung ohne Energieproduktion berücksichtigt. Ausserdem ist zu differenzieren, ob es sich bei der Verarbeitung von biogenen Rest- und Abfallstoffen wirklich um eine Entsorgungsfunktion handelt oder ob die Substratannahme ohne bzw. gegen Gebühr zur Erhöhung der Produktion erfolgt (siehe Kapitel 4.5.2.4). Es ist nicht möglich festzulegen, welches der Verfahren in Tab. 3.1 derzeit als guter konventioneller Standard bzw. als gute konventionelle Lösung für sämtliche energetisch nutzbare organische Reststoffe angesehen werden kann, da alle Verfahren aktuell zum Einsatz kommen.

Folgende Fragen müssen für die Modellierung im KWM beantwortet werden:

- Welches Referenzsystem soll für die Entsorgung verwendet werden?
- Wie hoch sind die Umweltbelastungen in ReCiPe (H,A) Punkten für eine definierte Menge Entsorgung?
- Wie wird berücksichtigt, dass unterschiedliche biogene Rest- und Abfallstoffe unterschiedlich problematisch bezüglich der Behandlung sind?

3.3.1.3 Vorgehen

Prinzipiell kann jedes der Entsorgungsverfahren als Referenz verwendet werden. Bei den Verfahren ohne Kompostherstellung (KVA, Kläranlage) muss die Bereitstellung von Dünger und organischer Substanz zusätzlich abgebildet werden, z.B. über Mineraldünger und Torf- bzw. Strohs substrat. Bei den Verfahren, die zusätzlich Energieprodukte produzieren, müssten diese berücksichtigt werden.

Es wurde folgendes Vorgehen festgelegt:

- Als Referenzanlage wird die zentrale Kompostierung verwendet.
- Die funktionelle Einheit für eine Entsorgungsdienstleistung wird als Gebühr (z.B. 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. Damit bekommen Substrate, die unentgeltlich angenommen werden, keinen Referenzwert für die Entsorgungsfunktion.
- Für eingekaufte biogenen Rest- und Abfallstoffe werden die Umweltbelastung für deren Herstellung berücksichtigt (siehe Kapitel 4.5.2.4). Auch diese Berechnung erfolgt in Abhängigkeit vom für das Co-Substrat gezahlten Preis und länderspezifischen Referenzpreisen.
- Die Belastungen aus Sammlung und Behandlung werden anhand der wirtschaftlichen Erlöse heutiger zentraler Kompostierungsanlagen auf die beiden Produkte Entsorgung und Kompost länderspezifisch alloziert. Die in Tab. 3.2 gezeigten Preise bzw. Gebühren werden für die Festlegung verwendet. Grau hinterlegt sind Angaben, die stark von den übrigen Angaben abweichen und nicht berücksichtigt werden. Vermutlich sind dort die Transportkosten für die Anlieferung enthalten.
- Aus 1 kg Grüngutkompostierung entsteht 0.5 kg reifer Kompost (Fuchs 2006). Damit entfallen die in Tab. 3.2 gezeigten Anteile der Umweltbelastungen in der zentralen Kompostierung auf die Entsorgungsfunktion bzw. auf die Kompostbereitstellung.
- Die Referenzwerte für die Entsorgungsdienstleistung werden bei allen Anlagentypen entsprechend der Entsorgungsgebühren für biogenen Rest- und Abfallstoffe und des produzierten, zu entsorgenden Gärrestes eingesetzt.

Tab. 3.2 Erhebung für die Preise von Kompost und die Entsorgungsgebühren von Grüngut bzw. Bioabfall in Kompostierungsanlagen in verschiedenen Ländern (Internetrecherche, Anfragen an Anlagenbetreiber, Schleiss & Fuchs 2008). Angaben mit x im Ländernamen nicht für Durchschnittsbildung berücksichtigt, da stark abweichend

Land	Währung	Preis	Gebühr	Anteil Kompost	Anteil Entsorgung	Jahr	Quelle
		t Kompost	1 t Grüngut	%	%		
Dänemark	DKK	99	183	21%	79%	2023	Mittelwert für diese Studie
Deutschland	EUR	25	69	15%	85%	2023	Mittelwert für diese Studie
Grossbritannien	GBP	30	30	33%	67%	2023	Mittelwert für diese Studie
Litauen	EUR	38	28	40%	60%	2023	Mittelwert für diese Studie
Niederlande	EUR	73	50	42%	58%	2023	Mittelwert für diese Studie
Schweiz	CHF	65	145	18%	82%	2023	Mittelwert für diese Studie
Spanien	EUR	45	34	40%	60%	2023	Mittelwert für diese Studie
Ungarn	HUF	20'000	6'923	59%	41%	2023	Mittelwert für diese Studie
Mengen	t Grüngut	0.5	1.0	34%	66%		Dinkel et al. (2012), Mittelwert aller Länder

Land	Währur	Preis	Gebühr	nteil Kom	teil Entso	Jahr	
Dänemark	DKK	80	150			2023	https://www.kredslob.dk/media/bnbeidt3/2023-erhvervsaffal
Dänemark	DKK		200			2022	https://klintholm-is.dk/sites/default/files/Prisliste_2022_1-se
Dänemark	DKK	118	200			2022	https://www.avv.dk/borgere/kompost-til-haven/
Dänemark x	DKK	1'608				2023	https://havehandel.dk/produkt/varmebehandlet-kompost-100
Dänemark x	DKK	2'115				2023	https://gruslevering.dk/shop/muld-spagnum/1000l-biokompos
Deutschland	EUR	15	118			2015	https://www.kompostwerk-kirchheim.de/preise/ Preise.htm
Deutschland	EUR	20	51			2023	https://www.scherthner.de/kompostwerk.html
Deutschland	EUR	40	39			2023	https://www.mr-sbk.de/wp-content/uploads/2022/12/Preisli
Grossbritannien	GBP		25			2023	https://www.biogen.co.uk/Composting/Tipping-with-us
Grossbritannien	GBP		16			2023	Email korrespondenz mit highfielddenvironmental.com: nicht ze
Grossbritannien	GBP	30	30			2023	~£30/ton for long term contracts, Email George Trowbridge
Grossbritannien	GBP		50			2023	~£50/ton for spot deliveries, Email George Trowbridge
Grossbritannien x	GBP	165				2023	https://www.compostguy.co.uk/product/premium-multi-purp
Litauen	EUR	16	29			2022	https://www.maatec.lt/wp-content/uploads/2022/03/zaka_prie
Litauen	EUR	60	9			2023	https://kompostas.lt/lt/20-nefasuotas-kompostas
Litauen	EUR		47			2020	https://www.kaunoratc.lt/wp-content/uploads/2020/06/2020-t
Litauen x	EUR	369				2023	https://www.ltbiohumus.lt/parduotuve/params/category/0/ite
Niederlande	EUR		61			2023	https://www.janssen-group.com/nl/prijslijst-particulieren
Niederlande	EUR	11	40			2023	https://rcalkmaar.nl/wp-content/uploads/2023/02/RCA-afval-s
Niederlande	EUR	135				2023	https://www.bio-kultura.nl/Biologische-organische-mestcomp
Schweiz x	CHF	30	125			2008	Schleiss & Fuchs 2008
Schweiz	CHF	30	130			2023	https://www.kewu.ch/de/dokumente/preisliste/
Schweiz	CHF	90	179			2023	https://www.biomassehof.ch/preisliste/
Schweiz	CHF		120			2021	https://www.verora.ch/MediaInterface/get/722
Schweiz	CHF		149			2023	https://biogaszuerich.ch/biosubstrate/preisliste/
Schweiz	CHF	74				2023	https://biogaszuerich.ch/bioabfall/preise-und-abo/
Spanien	EUR	58				2023	https://www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/19176
Spanien x	EUR	40	40			2023	Email: Lopez Miranda Cecilia TEY <Cecilia.LopezMiranda@axpo.
Spanien	EUR	33	34			2023	Email: Lopez Miranda Cecilia TEY <Cecilia.LopezMiranda@axpo.
Ungarn	HUF		7'692			2023	http://kontener-rendeles.hu/zoldhulladek-elszallitas-arak/
Ungarn	HUF	20'000	6'154			2023	https://zoldhulladek-elszallitas.com/arlista

3.3.1.4 Umweltbelastungen der zentralen Kompostierung

Die Emissionen einer Kompostierungsanlage werden anhand von Studien in Tab. 3.3 abgeschätzt. Für die Festlegung in dieser Studie wird wo möglich der Mittelwert von aktuellen Studien (Cuhls et al. 2015; Dinkel et al. 2012) verwendet und sonst auf ältere Abschätzungen zurück gegriffen.

Tab. 3.3 Messwerte und Abschätzungen zu den Emissionen von Kompostierungsanlagen und Referenzwerte für diese Studie (Cuhls et al. 2015; Dinkel et al. 2009; Dinkel et al. 2012; Schleiss & Jungbluth 2005) Zschokke & Schleiss 2016

Verfahren	Schadstoff Bezug	CH4	NH3	N2O	H2S	NMVOG	NOx	Quelle
		kg	kg	kg	kg			
Vergärung, VG, einstufig, geschlossene Kompostierung	t Grüngut	12.7	0.084	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, VO, zweistufig, offene Kompostierung	t Grüngut	10.5	0.292	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, Landwirtschaft (Kompostmiete)	t Grüngut	1.0	0.100	0.02				Edelmann 2006
Kompost, KG	t Grüngut	9.8	0.021	0.10	0.25			Schleiss 1999
Kompost, KO	t Grüngut	4.9	0.420	0.10	0.25			Schleiss 1999
Kompost	t Grüngut	4.9	0.420	0.10	0.25			Schleiss 2005
Kompost, gekapselt, Biofilter für NH3	t Grüngut	1.0	0.023	0.20	0.30			Dinkel 2008
Kompostierung, Referenz, 2010	t Grüngut	1.0	0.420	0.10	0.28	0.24	0.020	Jungbluth 2010
Kompostierung	t Grüngut	1.050	0.500	0.050				Dinkel et al. (2012), tabelle 3
Kompostierung, semipermeables Membran	t Grüngut	0.300	0.010	0.016		0.300		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2
Kompostierung, geschlossen	t Grüngut	0.790	0.015	0.041		0.095		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2
Kompostierung, geschlossene Hauptrotte, offene Nachrotte	t Grüngut	1.200	0.023	0.062		0.140		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2
Kompostierung, offen	t Grüngut	1.800	0.370	0.053		0.370		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2
Kompostierung, Medianwert	t Grüngut	1.400	0.140	0.049		0.27		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-5
Kompostierung inkl Lagerung und Ausbringung, Medianwert	t Grüngut	1.400	0.222	0.074				Medianwert. Cuhls et al. (2015), Kapitel 7
Kompostierung, geschlossene Tafelmietenkompostierung, gesch	t Grüngut	0.136	0.169	0.141				Vesenmaier & Reiser 2016
Kompostierung	t Grüngut	1.0	0.700	0.025	0.53		0.453	Zschokke & Schleiss (2016)
Kompostierung, Referenz, diese Studie	t Grüngut	1.200	0.140	0.049	0.280	0.27	0.020	Jungbluth 2024

3.3.1.5 Zusammenfassung

Mit dem Modell kann 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 als Input berücksichtigt.
- Als Referenzsystem für die Nebenprodukte „Entsorgung von biogenen Rest- und Abfallstoffen“ und „Bereitstellung von Kompost“ wird eine zentrale Kompostierungsanlage gewählt.
- Die Umweltbelastungen der Kompostanlage werden anhand der Einnahmen auf die beiden Produkte verteilt (Aufteilung gemäss Tab. 3.2).
- Bei der Entsorgungsdienstleistung wird der Referenzwert anhand der Entsorgungsgebühr bestimmt.
- Maximal wird der Referenzpreis für die Entsorgung angenommen, ein höherer Wert ist nicht möglich.

Tab. 3.4 Erträge und Aufteilung in der Allokation für die Behandlung einer Tonne Grüngut. Referenzwerte in ReCiPe (H,A) Punkten für die weitere Berechnung für das Beispiel Schweiz

	Preis	Kompostierung	Vergärung	Ertrag	Anteil	Belastung	Referenzwert
	Geld/t	t FM/t GG	t FM/t GG	Geld/t FM	%	ReCiPe mPkt/ tFM	ReCiPe Pkt
Entsorgung	145	1.00	1.00	145	81.8%	2.13	0.015 pro Geld
Kompost	65	0.50		32	18.2%	0.48	
Gärgut, fest			0.26		42.2%		0.77 pro t FM
Gärgut, flüssig			0.36		18.1%		0.24 pro t FM
Total pro t Grüngut				177		2.61	

3.3.2 Entsorgung von Schlachtabfällen Kategorie 1 in Vergärung

Schlachtabfälle der Kategorie 1¹² müssen gemäss Gesetz verbrannt werden. Das gilt auch bei vorangegangener Vergärung (Bachmann & Wellinger 2012). Schlachtabfälle können auch in

¹² 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.).

Biogasanlagen vergärt werden, wenn der Gärrest später ebenfalls verbrannt wird. Für das KWM werden Schlachtabfälle der Kategorie 1 in der gleichen Kategorie wie Klärschlamm erfasst. Der gesamte Gärrest muss in diesem Fall verbrannt werden. Die Berechnung des Referenzwertes erfolgt analog zum Klärschlamm mit den Umweltbelastungen einer direkten Verbrennung der unbehandelten Abfälle.

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.

3.3.3 Entsorgung von Schlachtabfällen Kategorie 2+3 in Vergärung

Für Schlachtabfälle der Kat 2¹³ und 3¹⁴ ist eine Verbrennung nicht notwendig. Folglich ist eine Vergärung mit Gärgutausbringung grundsätzlich möglich. Als Referenz für die Entsorgung wird mit den Annahmen für Grüngut und biogenen Rest- und Abfallstoffe gearbeitet. Dazu stehen folgende Substrate im KWM zur Auswahl:

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

3.3.4 Entsorgung von Frischklärschlamm in Vergärung

Frischklärschlamm aus Kläranlagen kann als Substrat für die Vergärung genutzt werden. Ca. 70% der Schweizer Kläranlagen haben einen Faulturm. Die restlichen 30% ohne Faulturm sind eher kleinere ARAs. Der Faulschlamm von kleinen ARAs ohne Faulturm wird auf jeden Fall leicht entwässert. Anschliessend wird er entweder (1) relativ feucht mit dem LKW in andere ARAs mit Faulturm gebracht und dort vergoren oder (2) er wird richtig entwässert und kommt direkt in die KVA. Wenn der entwässerte Klärschlamm direkt in die KVA gebracht wird, dann hat er einen höheren Brennwert (weil 1/3 mehr organisches Material drin ist), allerdings muss auch ca. 1/3 mehr Masse transportiert werden. ARAs ohne Faulturm erzeugen keine zusätzlichen Methanemissionen, da alle Prozesse gesetzlich vorgeschrieben abgedeckt sein müssen.¹⁵

Nach der Vergärung wird der Gärschlamm weiter entwässert und dann verbrannt. Der Hauptteil des abgepressten Wassers wird in die Kläranlage zurückgeführt.

¹³ Tierische Nebenprodukte der Kategorie 2 umfassen hauptsächlich Tierkörper, die von der Fleischkontrolle als ungeeignet 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.

¹⁴ 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.

¹⁵ Ruedi Moser, Co-Leiter vom Kompetenzzentrum Abwasserreinigung vom VSA, telefonische Auskunft am 12.5.2023

Unsicherheiten bei der Abschätzung bestehen bezüglich Trockensubstanzgehalt (eingebrachter Klärschlamm und zur Verbrennung abgegebener Faulschlamm).

Als Referenzwert für die Entsorgung des Klärschlammes wird die Menge der entsorgten Feststoffe angenommen. Die Referenz Verbrennung wird maximal so hoch eingesetzt, wie die Menge, die gemäss Modell tatsächlich nach der Vergärung verbrannt wird. Nur wenn diese grösser ist als die vergärrte Klärschlammmenge wird letztere für die Referenzberechnung verwendet.

In einzelnen Ländern darf Faulschlamm noch auf Feldern ausgebracht werden. In der Schweiz ist dies gesetzlich seit dem 1. Oktober 2006 nicht mehr möglich. Eine grobe Auswertung zeigt etwa 5-mal höhere Belastungen als bei der Verbrennung von getrocknetem Faulschlamm bzw. doppelt so hoch wie bei der Ausbringung von Gärresten aus Co-Substraten. Deshalb wäre eine Zertifizierung von Klärgas aus ARAs die Faulschlamm ausbringen kaum zu erreichen. Die Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft wird im Model bisher nicht modelliert und nicht als Option zugelassen.

Gemäss gesetzlichen Grundlagen in der Schweiz muss Phosphor mit einer 10-jährigen Übergangsfrist bis 2026 bei allen Klärschlammverbrennungen zurückgewonnen werden. Für die Phosphorrückgewinnung aus Abwasser, Klärschlamm oder Klärschlammmasche gibt es diverse Verfahren, die derzeit entwickelt werden. Mögliche Technologien sind die thermochemische Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm, ein nass-chemisches Rückgewinnungsverfahren aus der Klärschlammmasche oder ein nass-chemisches Verfahren zur Phosphorausfällung im Klärschlamm unter Zugabe von Kohlendioxid.¹⁶ Gemäss einer Ökobilanz¹⁷ schneidet die Phosphorrückgewinnung aus der Klärschlammmasche nach der Monoverbrennung schlechter ab als die früheren Anlagen. Allerdings wird dabei keine Umweltbelastung auf die zurückgewonnenen Produkte alloziert.

Als Referenz für die Entsorgung von Rohklärschlamm wird die Entwässerung von 5% auf 30% TS-Gehalt und dann die direkte Verbrennung in der KVA modelliert. Als Transport werden 50 km abgeschätzt. Abgezogen wird der Grenzwert für die in der KVA erzeugte Menge Strom und Wärme.

3.3.5 Entsorgung von Siedlungsabfall in der KVA

Das Entsorgen von Abfällen in Kehrrechtverbrennungsanlagen ist aufwändig und mit Emissionen verbunden. Diese Behandlungsart ist erforderlich für Abfälle, die nicht rezykliert werden und die den Anforderungen an Inertstoffe nicht genügen (Tschümperlin & Frischknecht 2017:4.4.1).

Als Referenz werden die Umweltbelastungen bei der Entsorgung von durchschnittlichem Siedlungsabfall in der KVA festgelegt. Abgezogen wird der Grenzwert «naturemade resources» für die gemäss Datensatz durchschnittlich produzierte Menge an Strom und Wärme (Net energy production: 1.39MJ/kg electric energy and 2.85MJ/kg thermal energy).

3.3.6 Entsorgung von Altholz in Verbrennung/Vergasung

In Anlagen zur thermischen Verwertung von Holz kann auch Altholz genutzt werden. Damit übernehmen diese Anlagen eine Entsorgungsdienstleistung, wenn für dieses Altholz eine Entsorgungsgebühr bezahlt wird. Relevant ist auch die Art und der Verarbeitungsgrad des Altholzes.

¹⁶ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/dossiers/magazin2019-4-recyclingduenger-aus-klaeranlagen.html>

¹⁷ https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/abfall-rohstoffe/abfallwirtschaft/publikationen/phosphor-mining/oekobilanz_bericht_phos4life_2018.pdf

Gemäss der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) können Holzabfälle anhand ihrer Schadstoffbelastung in vier Kategorien unterteilt werden¹⁸ (Vock 2004). Im Weiteren werden die vier Altholzkategorien (A I bis A IV) gemäss der deutschen Altholzverordnung verwendet. Allerdings gibt es einige Unklarheiten und Unstimmigkeiten mit den von der LRV definierten Begrifflichkeiten sowie den Schweizer Abfallcodes (Taverna 2020).

Geeignete thermische Verwertungswege werden abhängig von der Verarbeitungsart und Schadstoffbelastung bestimmt. Dabei differenziert die LRV zwischen Holzabfälle, welche in Holzfeuerungen verbrannt werden dürfen, sogenannte Holzbrennstoffe, und übrige Holzabfälle, die für die Nutzung in Altholzfeuerungen oder KVAs geeignet sind. Als Holzbrennstoffe gelten naturbelassenes Holz, unbehandeltes Altholz sowie Restholz, welches nicht druckimprägniert ist und nicht mit halogenorganischer Beschichtung behandelt worden ist. In Altholzfeuerungen darf zusätzlich Altholz mitverwertet werden, solange es frei von halogenorganischer Beschichtung und nicht druckimprägniert wurde (LRV 2023).¹⁹

Tab. 3.5 Kategorien von Altholz (A I bis A IV) (LRV 2023; Taverna 2020; Vock 2004)

Kategorie	Beschreibung	Art der Feuerung	LRV
A I Naturbelassenes Holz	Naturbelassenes Holz umfasst nicht- und stückiges Holz, sowie lediglich mechanisch verarbeitetes Holz.	Sämtliche Holzfeuerungen	Holzbrennstoff, Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 1 Bst. a oder b
A II verarbeitetes Holz (Restholz)	Verarbeitetes Holz aus Industrie und Betrieben, mit Verleimung, Beschichtung, Farbe, sofern der Holzabfall nicht druckimprägniert ist und keine halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung enthält	Sämtliche Holzfeuerungen	Holzbrennstoff, Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 1 Bst. c
A III Altholz	Holzbauteile und Holzmaterialien aus Baustellen, Abbrüchen, Renovationen, Umbauten, Verpackungen und Holzmöbel, Halogenorganisch beschichtetes Altholz	Altholzfeuerungen (ohne PVC-beschichtetes Holz) oder KVA (PVC-beschichtetes Holz)	nicht Holzbrennstoff, Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 2 Bst. a
A IV problematische Holzabfälle	druckimprägniertes Holz, halogenorganisch beschichtetes Altholz, sowie stark schadstoffbelastetes Holz, z.B. quecksilberhaltiges Altholz und unentbleites Kugelfangholz	KVA	nicht Holzbrennstoff, Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 2 Bst. b

Als Referenz für die Entsorgung von Altholz wird die Verbrennung in der KVA festgelegt. Die Umweltbelastung der Verbrennung verschiedener Altholzkategorien wird in Fig. 3.6 gezeigt. Für die Beispiele von Altholz Kategorie I – III wird jeweils nur Holz mit gewissen Schadstoffbelastungen berücksichtigt. Abgezogen wird der jeweilige Grenzwert für die in der KVA erzeugte Menge und Strom (erster Balken in Fig. 3.6).

In der Auswertung resultiert dann für die Kategorien A I bis A III ein negativer Referenzwert (siehe Fig. 3.6) da der Abzug für die Energieproduktion höher ist als die Belastungen durch die Verbrennung in der KVA. Lediglich bei chrombelastetem Altholz der Kategorie IV ist der Referenzwert positiv. Hierfür sind insbesondere die hohen Schwermetallbelastungen und Emissionen relevant (siehe Fig. 3.7). Kat IV ist aber für Altholzfeuerungen nicht zugelassen.

¹⁸ <https://entsorgungeiken.ch/holz-richtig-entsorgen-so-gehts-und-da-geht-es-hin/>
<https://thommen.ch/de/altholz-entsorgen>

¹⁹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallpolitik-und-massnahmen/vollzugs-hilfe-ueber-den-verkehr-mit-sonderabfaellen-und-anderen-/umweltvertraegliche-entsorgung-von-sonderabfaellen-und-anderen-k/umweltvertraegliche-entsorgung-von-holzabfaellen/thermische-verwertung--verbrennen-von-holzabfaellen.html> (8. Juni 2023)

Für Kat II und III würde ein höherer Referenzwert berechnet, wenn bestehende Datensätze mit einer Beimischung von Plastik, Klebern, Farben, etc. verwendet werden würden, da dort auch fossile CO₂ Emissionen (siehe Fig. 3.7) aus diesen Beimischungen berücksichtigt werden. Dann müsste dieser fossile Anteil im Altholz aber auch im Kennwertmodell eingegeben werden (und evtl. die daraus resultierende nicht-erneuerbare Energieproduktion abgezogen werden), was praktisch ziemlich schwierig umzusetzen wäre.

Es wird also mit den gezeigten negativen Referenzwerten gerechnet und dafür auf eine genaue Erfassung von fossilen CO₂ Emissionen und nicht-erneuerbaren Anteilen der Energieproduktion verzichtet.

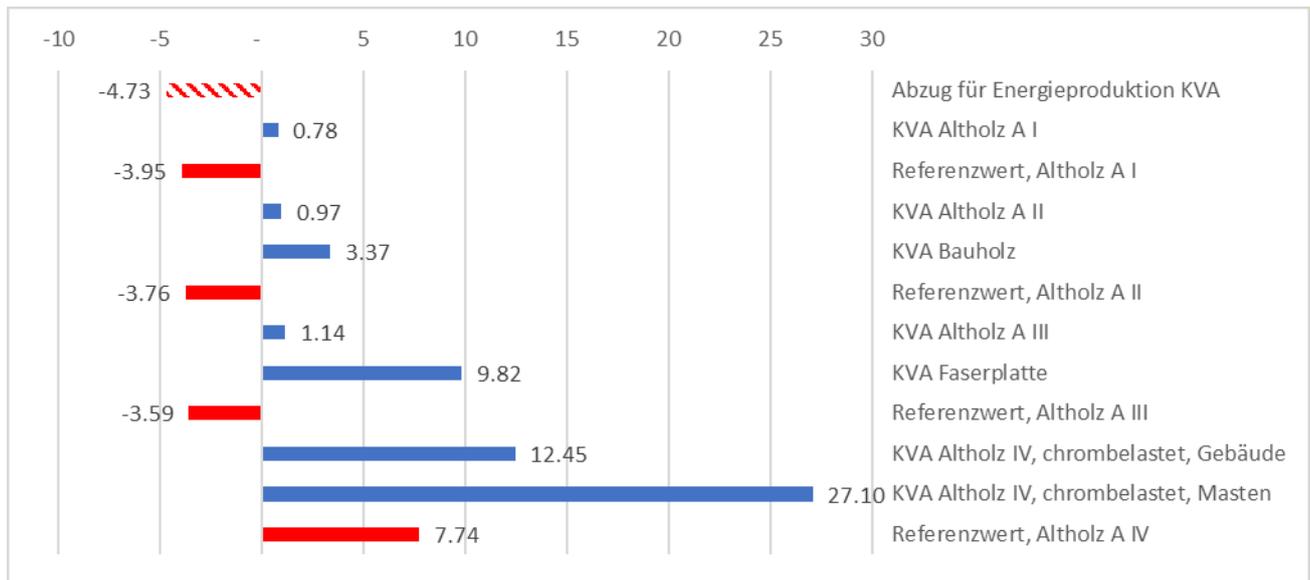


Fig. 3.6 Auswertung möglicher Referenzwerte für die Entsorgung von Altholz (ReCiPe (H,A) Milli-Punkte pro kg angenommenes Altholz)

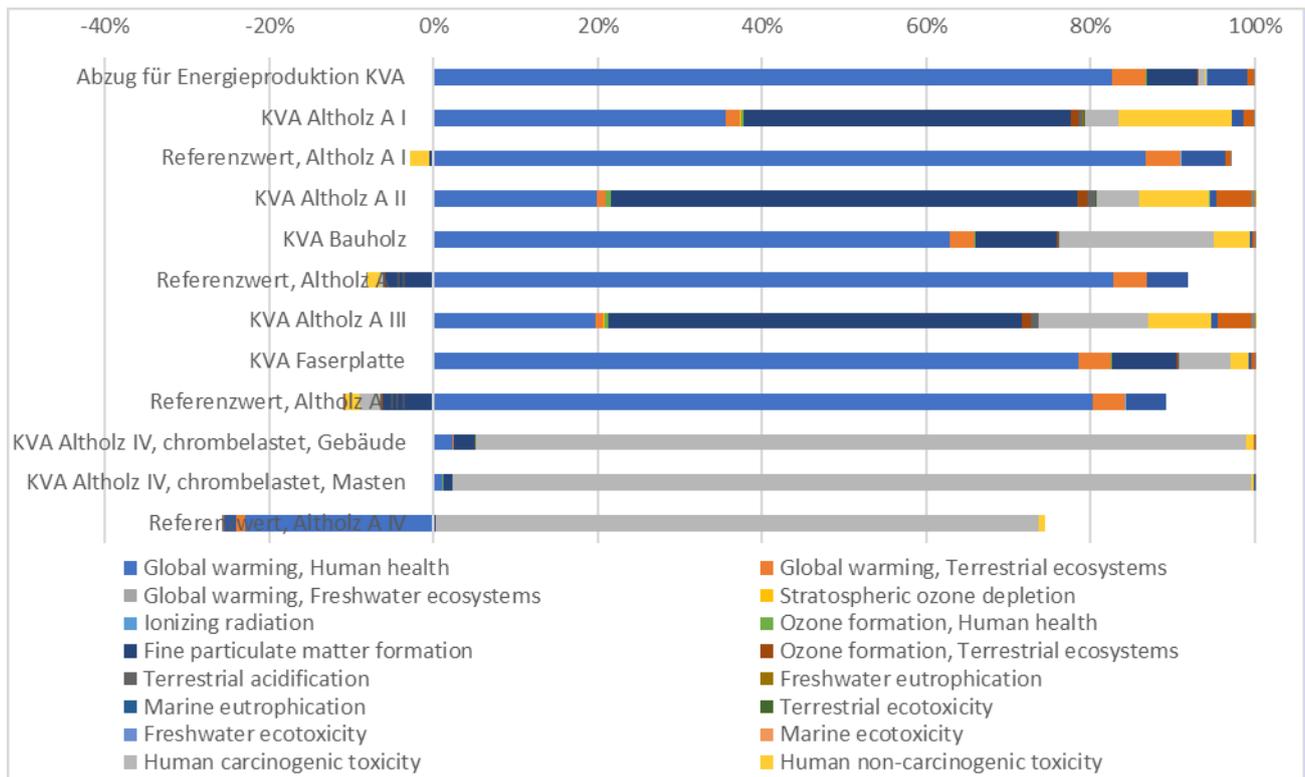


Fig. 3.7 Anteil verschiedener Wirkungskategorien bei der Auswertung möglicher Referenzwerte für die Entsorgung von Altholz (ReCiPe (H,A))

3.3.7 Abwasserreinigung in Kläranlage mit Vergärung

Die Entsorgung und Behandlung des Abwassers ist die zentrale Funktion einer Kläranlage. Im Rahmen der Zertifizierung 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 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). Somit gibt es bei der Klärschlammvergärung keinen Referenzwert für die Abwasserreinigung.

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 genau erfasst werden. Weitergehende Ansprüche an die Gesamtkläranlage und die Schlammentsorgung werden über spezifische Kriterien festgelegt.

Im Falle der Co-Vergärung von Bioabfällen in einer Kläranlage wird ein Referenzwert für die Entsorgungsdienstleistung entsprechend der Festlegung im Kapitel 3.3.1 verwendet.

3.3.8 Vorreinigung von Industrieabwässern in Vergärungsanlage

Biogasanlagen zur Vorbehandlung von industriellem Abwasser können nur als Einzelfall geprüft werden (im Jahr 2023 gab es ca. 20 Anlagen in der Schweiz²⁰).

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. Ferner wird das vergärte 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. Eine Fallbeschreibung mit Angaben zu weiteren nicht erfassten Inputs oder Outputs wird dann an den Ökobilanzexperten zur weiteren Bearbeitung geschickt. 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 Grüngut, Klärschlammvergärung oder landwirtschaftlichen Anlagen unterscheidet.

3.3.9 Überblick Referenzsysteme für Entsorgung

Für die Überarbeitung im Jahr 2023 wurden die Annahmen zu Referenzsystemen für Abfallentsorgung überarbeitet. In Tab. 3.6 werden die neuen Annahmen zu den Referenzsystemen für die Entsorgung von Abfällen zusammengestellt. In Fig. 3.8 werden die Umweltbelastungen verschiedener Entsorgungsvarianten für biogene Abfälle und der jetzt festgelegten Referenzsysteme gezeigt. Die aktuell definierten Referenzwerte werden in Fig. 3.8 als «Referenz KWM ...» bezeichnet.

Reaktordeponie – Werte werden zur Information gezeigt. Die Reaktordeponie ist der Schweiz für alle Arten von biogenen Abfällen, die verrotten, nicht mehr zugelassen. Aus Umweltsicht also eher ein schlechtes Verfahren.

Inertstoffdeponie – in der Schweiz für Inertstoffe (Steine, Schlacke, Asche) zugelassen. Die Entsorgung biogener Abfälle oder von Siedlungsabfall ist nicht zugelassen und damit auch keine valable Option.

Wenn Bioabfälle nur kompostiert (und nicht vergärt) werden, ist dies aus Umweltsicht nicht per se optimal. Die Verbrennung in der KVA führt in einigen Studien unter Berücksichtigung der Koppelprodukte zu geringeren Gesamtumweltbelastungen. Der Wassergehalt ist dabei ein wichtiger Parameter. Je trockener der Bioabfall, desto besser ist die KVA geeignet, je feuchter desto eher ist die Vergärung geeignet. Bei sehr feuchten Abfällen ohne nennenswerten Nährstoffgehalt ist unter Umständen auch die Abwasserreinigung (evtl. mit Klärschlammvergärung) sinnvoll.²¹

²⁰ <https://biomassesuisse.ch/infografiken>

²¹ https://www.bio-power.ch/files/TDN1RT9/bioabfaelle_verwerten_oder_verbrennen.pdf

Die KVA schneidet in der Regel besser ab als eine Reaktordeponie. Im Falle der Reaktordeponie schneidet Holz deutlich besser ab als Karton, da eine viel geringere Abbaubarkeit über 100 Jahre angenommen wird.

Für die Festlegung der Referenzsysteme für Entsorgungsdienstleistungen wurden verschiedene Wege diskutiert, für die in Fig. 3.8 ebenfalls Umweltbelastungen gezeigt werden.

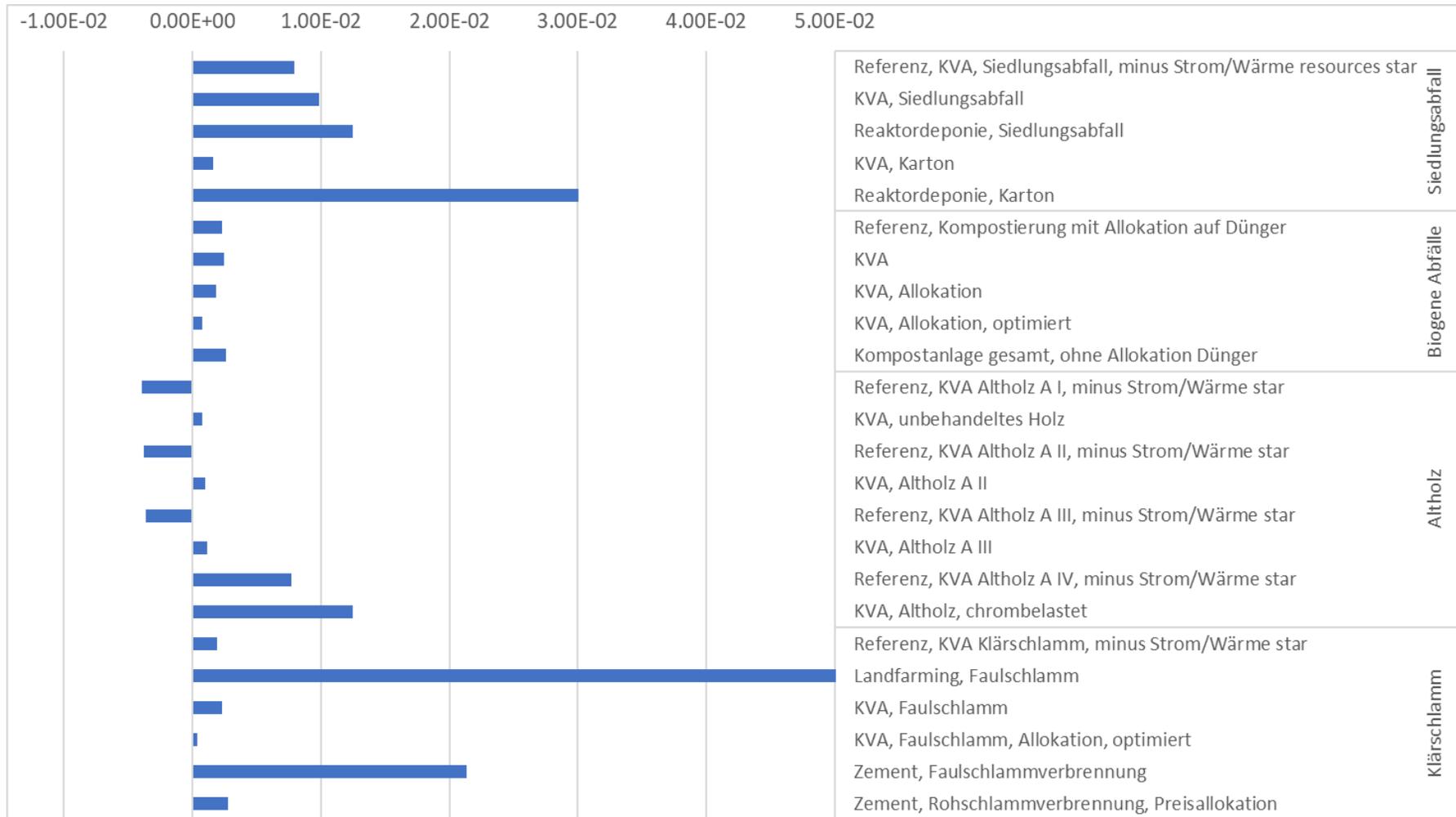
Folgende Wege wurden bei der Überarbeitung 2023 nicht weiterverfolgt und die Argumente sind hier aufgelistet:

- Um über alle KWM harmonisierte Annahmen zu treffen, wäre am ehesten die KVA ohne Allokation auf Nebenprodukte wie Energie, Wertstoffe und Dünger geeignet. Damit wäre sichergestellt, dass die Prüfung für alle Systeme ähnlich streng und im Sinne der Ökobilanz einigermassen vergleichbar ist.
- Beim KWM Bio- und Klärgasanlagen könnte als Referenz die KVA Siedlungsabfall festgelegt werden. Allerdings wurde diese Idee verworfen, da insbesondere feuchte Bioabfälle in der KVA nur mit Hilfsenergie verbrannt werden können und die Nährstoffe verloren gehen. Somit ist KVA Siedlungsabfall für Bioabfälle kein geeignetes Referenzsystem.
- Ein anderer Vorschlag wäre es die Reaktordeponie als Referenz festzulegen. Diese wäre auch für alle Abfälle theoretisch denkbar. Allerdings gesetzlich in der Schweiz nicht mehr zulässig.

Das bisherige System von Einzelfestlegungen wird beibehalten und auf eine Harmonisierung verzichtet. Damit kann je nach Anlagentyp eine an die Situation angepasste Auslegung erfolgen. Bei allen KVA Referenzen werden die Umweltbelastung für Strom und Wärme entsprechend der naturmade Grenzwerte abgezogen werden (in der Fig. 3.8 als «minus Strom/Wärme ... star» bezeichnet).

Tab. 3.6 Zusammenstellung der Annahmen für die Referenz bei der Entsorgung von festen Abfällen in verschiedenen KWM

Abfall/ Reststoff	Biogener Abfall	Rohschlamm, Schlachtabfall Kat 1.	Altholz	Gemischter Siedlungsabfall
KWM	Bio- und Klärgasanlagen	Bio- und Klärgasanlagen	Holz	KVA
Anlage	Vergärung	Vergärung	Verbrennung	Verbrennung
Abfall/ Reststoff	Biogener Abfall definiert gemäss Verursacherprinzip, siehe Kapitel 1.7	Rohschlamm, Schlachtabfall Kat 1.	Altholz	Gemischter Siedlungsabfall (biogen z.B. Küchenabfälle, Karton, Holz, und nicht biogen)
Referenz Entsorgung	Zentrale Kompostierung. Länderspezifische Entsorgungsgebühr und länderspezifische ökonomische Allokation auf die Kompostbereitstellung resp. Entsorgung gemäss Tab. 3.2	kg TM Rohschlamm in KVA abzüglich der Grenzwerte für die Energieerzeugung	KVA Altholz Kategorie I-IV abzüglich der Grenzwerte für die Energieerzeugung	KVA Siedlungsabfall abzüglich der Grenzwerte für die Energieerzeugung
Andere Varianten, die nicht weiter verfolgt wurden	KVA (theoretisch nur Bioabfall) KVA Siedlungsabfall (Mischung mit Plastik, Pappe, Holz, ... da sonst nicht brennbar)	Direktausbringung auf Felder (z.B. in Grossbritannien) Zementwerk		KVA ohne Energie- und Wertstoffrückgewinnung
Referenz Produkt	Nährstoffe und Kohlenstoff Wertigkeit für Gär- gut im Vergleich zum Kompost Ökonomische Allokation für den Verkauf von Kompost aus der Kompostieranlage			



KVA, ..., Allokation: ökonomische Allokation der Energienutzung,
 Optimiert: Bezeichnung gemäss Datensatz

Fig. 3.8 Umweltbelastungen (ReCiPe Pkt pro kg Abfallentsorgung) die als Referenz angenommen werden (*) und Gegenüberstellung mit verschiedenen weiteren Varianten. Reaktordeponie und Landfarming (landwirtschaftliche Ausbringung) von Klärschlamm sind in der Schweiz gesetzlich nicht für biogene Abfälle erlaubt.

3.4 Nichtenergetische Nebenprodukte: weitere Outputs der Anlagen

Energieerzeugungsanlagen können je nach System weitere Produkte aus dem Prozess verkaufen bzw. bereitstellen. Die Annahmen für die Referenzsysteme werden im Folgenden beschrieben. In die Bilanz gehen, wenn nicht anders angegeben, 100% der entsprechenden Umweltbelastungen ein.

3.4.1 Bereitstellung Gärgut aus biogenen Rest- und Abfallstoffen als biogener Dünger

Hier wird der Referenzwert für die Bereitstellung von Dünger aus der Vergärungsanlage definiert. Für die Entsorgungsfunktion siehe Kapitel 3.3.1. Die Systemgrenzen einer Biogasanlage sind im Kapitel 4.5.2.2 beschrieben.

3.4.1.1 Fragestellungen

Für die Definition des Referenzwertes für die nicht-energetischen Nebenprodukte „Gärrestdünger“ werden sowohl Vor- als auch Nachteile berücksichtigt. 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 Düngerherstellung verwendet werden?
- Wie hoch sind die Umweltbelastungen in ReCiPe (H,A) Punkten für eine definierte Menge Gärrestdünger?
- Wie wird berücksichtigt, dass unterschiedliche Substrate unterschiedlich problematisch bezüglich der Behandlung sind?

3.4.1.2 Vorgehen

Die Referenz wird wie folgt festgelegt:

- Als Referenzanlage wird die zentrale Kompostierung verwendet. Dort wird nur Kompost produziert (siehe Kapitel 3.3.1.4).
- Die Belastungen aus Sammlung und Behandlung werden anhand der wirtschaftlichen Erlöse heutiger zentraler Kompostierungsanlagen in verschiedenen Ländern auf die beiden Produkte Entsorgung und Kompost alloziert (Tab. 3.4).
- Die funktionelle Einheit des Kompostes bzw. Gärrestes (Rückstand aus Vergärung) wird auf Grundlage der theoretischen Wertigkeit verschiedener Nährstoffe (verfügbarer Stickstoff, Phosphor, etc.) und der Humus gebundene Kohlenstoff (Humus-C) definiert (Tab. 3.7). Es werden also verschiedene positive Eigenschaften des festen und flüssigen Gärgutes (bzw. Kompost) monetär bewertet. Kosten der Gärrestausbringung und evtl. Schäden sind bei der Berechnung der Wertigkeit nicht enthalten. Der berechnete Wert ist deshalb evtl. geringer als der Marktpreis.
- Aus 1 kg Grüngutvergärung entsteht neben Biogas und CO₂ auch festes und flüssiges Gärgut (Tab. 3.7). Für die Bestimmung der genauen Mengen wurde angenommen, dass Phosphor zu 100% im Gärgut 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 der Rechnung in Tab. 3.8 entspricht das Gärgut aus der Vergärungsanlage aus 1 kg Grüngut etwa 60% der theoretischen Wertigkeit der bei der zentralen Kompostierung erzeugten Kompostmenge. Die restlichen 40% (insbesondere Kohlenstoff) werden bei der Vergärung z.B. in CO₂ und Methan umgewandelt und steht nicht mehr als Dünger zur Verfügung. Damit

gehen für die Berechnung des Referenzwertes 42% der Umweltbelastung aus Kompostbereitstellung auf das feste und 18% auf flüssiges Gärgut (Tab. 3.8).

- Die Referenzwerte pro Menge bereitgestelltem Gärgut werden vollständig berücksichtigt, sofern für die Abnahme durch die Nutzenden nicht etwas vom Anlagenbetreiber bezahlt wird. Eine dynamische Modellierung gemäss tatsächlichen Einnahmen erfolgt nicht, da keine Referenzpreise für festes und flüssiges Gärgut verfügbar sind.
- Die Ausbringung des verkauften Kompostes wird in dieser Ökobilanz nicht berücksichtigt, da sie in der Verantwortung des Kompostkäufers geschieht.

Tab. 3.7 Annahmen zum Humus-C Gehalt von organischer Substanz in Kompost und Gärgut (eigene Berechnung mit Fuchs 2006: Tab. 1)

	Schüttgewicht	Trockensubstanz TS	OS in TS	OS in FS	C in FS	C in FS	Humuskoeff	Humus-C	Humus-C	Prod. Menge	Humus-C pro Grüngut
	kg/lt	kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/lt	-	kg/lt	kg/kg	kg/kg	kg/kg
Kompost reif	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	-	-
Gärgut fest	0.47	0.53	0.50	0.27	0.15	0.07	0.35	0.025	0.054	0.3	0.016
Gärgut flüssig	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	-	-

FS – Frischsubstanz (analog zu FM = Frischmasse)

lt - Liter

TS – Trockensubstanz

OS – Organische Substanz

C - Kohlenstoff

GG – Grüngut

HC – Humus-C (im Humus gebundener Kohlenstoff)

Tab. 3.8 Theoretische Wertigkeit von festem und flüssigen Gärrest (eigene Berechnung 2008 mit Bartha-Pichler 2008; Fuchs 2006) und 2023 (Baier et al. 2022; Dinkel et al. 2012), Mittelwert der beiden Berechnungen als Grundlage für das Kennwertmodell

Nährstoffe	Nährstoffgehalt pro m3 Frischmasse			Nährstoffgehalt pro Tonne Frischmasse			Wert CHF/kg Nährstoff	theoretischer Wert der Nährstoffe			Literatur
	Kompost kg/m3 FM	Gärgut, fest kg/m3 FM	Gärgut, flüssig kg/m3 FM	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	0.5	0.4	2.3	0.9	0.9	2.3	2.40	1.08	0.45	2.36	Bartha-Pichler 2008
Phosphor	2.1	2.0	1.9	3.5	4.3	1.9	3.40	5.95	3.18	2.77	Bartha-Pichler 2008
Kalium	4.6	3.2	4.5	7.7	6.8	4.5	1.90	7.28	2.85	3.66	Bartha-Pichler 2008
Calzium	15.3	22.0	5.0	25.5	46.8	5.0	0.13	1.68	1.36	0.28	Bartha-Pichler 2008
Humus-C				62.9	53.8	8.2	2.65	83.31	31.33	9.28	Fuchs 2006
Menge pro kg Grüngut				0.50	0.22	0.43		99.31	39.17	18.36	
Aufteilung Referenzwert								100%	39.4%	18.5%	Abschätzung 2008
t FM/m3 FM	0.6	0.5	1.0								
Nährstoffe	Nährstoffgehalt pro m3 Frischmasse			Nährstoffgehalte gemäss Literatur			Wert CHF/kg Nährstoff	theoretischer Wert der Nährstoffe			Literatur
	Kompost kg/m3 FM	Gärgut, fest kg/m3 FM	Gärgut, flüssig kg/m3 FM	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				0.72	1.11	5.18	2.09	0.70	0.70	3.25	CVIS 2013-2015
Phosphor P2O5				3.33	2.77	1.78	3.58	5.96	2.97	1.92	CVIS 2013-2015
Kalium K2O				6.32	4.61	4.49	1.67	5.28	2.31	2.25	CVIS 2013-2015
Calzium				26.57	20.39	2.97	0.13	1.75	0.81	0.12	CVIS 2013-2015
Humus-C	38.4	25.3	8.2	61.9	44.4	5.30	1.30	40.26	17.31	2.07	Dinkel et al. 2012
Menge pro kg Grüngut				0.50	0.30	0.30		54.00	24.10	9.60	Dinkel et al. 2012
Aufteilung Referenzwert								100%	44.6%	17.8%	Abschätzung 2023
t FM/m3 FM	0.62	0.57	1.00				Agridea 04.2023				CVIS 2013-2015
kg/l	0.60	0.50	1.00								
CHF/m3 FM	0.60	0.50	1.00					23.24	15.69	18.90	Baier 2022, Seite 16, Qualitätsrichtlinien
Nährstoffe								19.37	8.16	6.88	Berechnung
Humus-C				55	45	9	1.97	54.27	23.09	6.47	Baier 2022, Seite 9, Qualitätsrichtlinien
Menge pro kg Grüngut								73.64	31.25	13.35	
								100%	42.4%	18.1%	Kohlenstoff fehlt in Bilanz
Mittelwerte für diese Studie	0.61	0.51	1.00	0.50	0.26	0.36		100%	42.2%	18.1%	Mittelwert

Abschätzung 2008: 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.²²

Abschätzung 2023: CVIS 2013-2015, Excel Tabelle unter <https://www.mpsecure.ch/cvis/index.aspx?site=informationen>

Agridea 04.2023, Nährstoffpreise: <https://agripedia.ch/focus-ap-pa/de/startseite/absenkpfad-pflanzenschutz-und-naehrstoffe-pa-iv-19-475/absenkpfad-naehrstoffe/>

²² Persönliche Stellungnahme von Reto Steiner, Ernst Basler + Partner zum „Kennwertmodelle Biomasseanlagen“, 20.11.2008.

3.4.2 Faulschlamm als Brennstoff für Zementwerke

Ausgefaulter Klärschlamm (Gärrest) wird von Zementwerken als Brennstoff²³ eingesetzt. Soweit es sich hier um ein Produkt handelt, das von der Kläranlage an ein Zementwerk verkauft wird, wird ein entsprechendes Referenzprodukt berücksichtigt. Wird der Klärschlamm hingegen gegen Entgelt abgegeben, werden die Umweltbelastungen der Verbrennung der Vergärungsanlage zugerechnet. Eine variable Berechnung in Abhängigkeit vom monetären Betrag erfolgt dabei nicht.

Folgende Angaben werden hierfür verwendet. Klärschlamm mit 92% Trockensubstanzgehalt enthält etwa 50% mineralische Materie. Diese ersetzt in der Zementherstellung verschiedene Inhaltsstoffe (Kalkstein, Ton, Kalkmergel, etc.). Ferner hat der ausgefaulte Klärschlamm einen Energiegehalt von etwa 11 MJ pro kg Trockensubstanz (ca. 10 MJ pro kg 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 abgeschätzt²⁴. Damit wird auch an dieser Stelle der Bilanz sicher gestellt, dass Umweltbelastungen nicht auf Nebenprodukte abgeschrieben werden. 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 Energieprodukten abgebildet.

3.4.3 Holzschnitzel aus Grüngut-Vorbehandlung: Verkauf als Brennstoff

In den landwirtschaftlichen Anlagen werden Holzanteile vor der Vergärung aussortiert (Triage des Grünguts), bei Kompostanlagen gelangen manchmal auch Äste und Blattwerk mit in die Vergärung. Holzanteile wie Grosse Äste oder Wurzelstöcke lassen sich nicht vergären und belasten die Biologie und Mechanik. Holzanteile sind als Strukturmaterial wertvoll für die Nachkompostierung. Bei der Verarbeitung von solchen Substraten können die Holzschnitzel auch aussortiert und dann als Brennstoff verkauft werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die Bereitstellung von Holzschnitzeln nicht von der eigentlichen Vergärung abhängig ist. Deshalb wird dieses Produkt im Kennwertmodell nicht als Produkt berücksichtigt. Aufwendungen für die Triage des Grünguts und die Aussortierung werden im KWM erfasst. Nachfolgende Aufwendungen, die mit der Aufbereitung als Brennstoff direkt zusammenhängen, müssen im Kennwertmodell nicht eingegeben werden (z.B. Holzinput, Holzschnitzelmaschine, Trocknung der Holzschnitzel).

3.4.4 Vergärung in der Landwirtschaft: Lagerung und Emissionen von Hofdünger

Die Systemgrenzen einer Biogasanlage sind im Kapitel 4.5.2.2 beschrieben.

²³ Gesetzlich eigentlich in der Schweiz ab 2026 nicht mehr möglich, da Pflicht zur Phosphorrückgewinnung.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/dossiers/magazin2019-4-recyclingduenger-aus-klaeranlagen.html>

²⁴ Angaben zu den Klärschlammeigenschaften wurden von Herrn Ammann, ARA Bern am 27.1.2009 zur Verfügung gestellt.

3.4.4.1 Lagerung von Hofdünger

Als Referenz für die Infrastruktur zur Lagerung von Hofdünger wird ein landwirtschaftliches Güllelager mit Abdeckung²⁵ eingesetzt (Nemecek et al. 2007). Beim Referenzwert für Güllelagerung wird für jedes Land eine Version mit dem entsprechenden Strommix implementiert, um die Umweltbelastung des Strombedarfs für diesen Prozess zu berücksichtigen.

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen gibt es Unterschiede gegenüber der konventionellen Hofdüngerlagerung und Ausbringung, die für die Berechnung der direkten Emissionen im Kapitel 3.4.4.3 berücksichtigt werden.

3.4.4.2 Ausbringung von Hofdünger

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 weitere Biomasse 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 herkamen, 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.**

3.4.4.3 Referenz für 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. 3.9 gezeigten Emissionen und Einflussfaktoren.

Tab. 3.9 Direkte Emissionen und Einflussfaktoren bei der Gärrestbehandlung

Emission	Entstehung	Einflussgrößen bzw. Reduktionsmassnahmen
Methan	Lagerung Gärrest	Abdeckung, mechanische Separierung Gärrest, Rotttrommel, Kompostmiete
Ammoniak	Nachkompostierung Gärrest	Biofilter, Rotttrommel
	Lagerung Gülle und Gärrest	Abdeckung des Lagers
N ₂ O	Ausbringung Gärrest	Verfahren, z.B. Schleppschauch
	Lagerung und Ausbringung	evtl. Biofilter, Schleppschauch
H ₂ S	Lagerung	-
NMVOC	Lagerung	Biofilter

²⁵ Gemäss der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) ist seit dem 1.1.2022 die Lagerung von Gülle nur dann korrekt, wenn Einrichtungen für die Lagerung von Gülle und flüssigen Vergärungsprodukten mit einer dauerhaft wirksamen Abdeckung zur Begrenzung der Ammoniak- und Geruchsemissionen ausgestattet sind. <https://www.bauernzeitung.ch/artikel/agrarpolitik/schleppschauch-obligatorium-bis-2022-vertagt-390065>, https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208/de#annex_2/1vl_u1/1vl_5/1vl_55/1vl_551

Für die Lagerung des Gärgutes 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.

Somit unterscheiden sich die Umweltbelastung für Lagerung der Gülle bei Bauernhöfen mit Biogasanlagen von denjenigen beim Referenzbauernhof ohne Biogasanlage. Diese werden in der Bilanz der direkten Emissionen berücksichtigt. Die Berechnungen zum Referenzsystem für die Hofdüngerlagerung werden detailliert im KWM durchgeführt.

Dazu werden folgende Berechnungen gemacht:

- **CH₄:** Für **Methan** werden die Emissionen zunächst substratspezifisch gerechnet. Für das Referenzszenario werden die Annahmen gemäss Tab. 3.11 zu Grunde gelegt. Für die Berechnung der aktuellen Emissionen werden sowohl die Abdeckung des Lagertanks als auch die höheren Grundemissionen berücksichtigt (5% der erzeugten Biogasmenge).²⁶
- **NH₃:** Für die Emissionen von **Ammoniak** gibt es substratspezifische Faktoren. Gemäss Edelmann et al. (2001) werden bei damals üblicher Lagerung und Ausbringung etwa 50% des Ammoniums emittiert. Dabei entfallen 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 bei der Lagerung (z.B. Edelmann et al. 2001; Kägi et al. 2022). Ferner werden Anpassungsfaktoren für die Art der Ausbringung berücksichtigt.
- **N₂O (Lachgas):** Es entsteht 0.012 kg N₂O/m³ Gülle aus dem offenen Lager (Kägi et al. 2022) bzw. 0.1 kg/t aus dem Feststofflager (Edelmann 2006). Durch Abdeckung des Lagers bei einer Biogasanlage kann eine Reduktion erreicht werden. Auch bei der Ausbringung gibt es Lachgasemissionen (Kägi et al. 2022).

Die Emissionen der **Ausbringung** des ausgefaulten Substrats (Gülle, Gärgut) wird im KWM nur berücksichtigt, wenn dem Abnehmer hierfür eine Gebühr bezahlt wird (egal wie hoch). 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.

Für die Ausbringung des Hofdüngers ist für zertifizierte Biogasanlagen (und auch die meisten anderen Fälle in der Schweiz²⁷) ein Verfahren vorgeschrieben, welches Ammoniakemissionen verringert, z.B. Schleppschlauchverfahren. Auch auf Bauernhöfen ohne Biogasanlage wird der Schleppschlauch zunehmend aus Gründen des Umweltschutzes und zur effektiveren Nutzung der Nährstoffe verwendet.

In Tab. 3.10 sind Literaturangaben zu den direkten Emissionen zusammengestellt (Cuhls et al. 2015; Dinkel et al. 2009; Dinkel et al. 2012; Dinkel & Kägi 2022; Edelmann et al. 2001; Edelmann 2006;

²⁶ 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.

²⁷ Die Luftreinhalte-Verordnung schreibt vor, dass ab 2024 Gülle und flüssige Vergärungsprodukte auf Flächen mit Hangneigungen bis 18 Prozent mit geeigneten Verfahren möglichst emissionsarm auszubringen sind, wenn diese Flächen auf dem Betrieb insgesamt 3 oder mehr Hektare betragen (Anh. 2 Ziff. 552 LRV). Als geeignete Verfahren gelten die bandförmige Ausbringung mit Schleppschlauch- oder Schleppschuhverteiler sowie das Schlitzdrillverfahren mit offenem oder geschlossenem Schlitz. Detailliertere Informationen zu diesen Verfahren sind in Kapitel 3.7.1 der LRV beschrieben und sind im Merkblatt Emissionsmindernde Ausbringverfahren der Agridea ersichtl. https://agridea.abacuscity.ch/abauserimage/Agridea_2_Free/2332_2_D.pdf

Jungbluth et al. 2007; Langevin et al. 2008; Schleiss 1999; Schleiss & Edelmann 2000; Vesenmaier & Reiser 2016).

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_3 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 werden zunächst die Grundemissionen bestimmt (meist auf Basis Cuhls et al. 2015). Aufbauend hierauf werden die Reduktionsfaktoren entsprechend der Anlagenspezifikation verwendet. Gemäss Systemgrenzen für die Biogasanlage werden Emissionen bei der Ausbringung nicht berücksichtigt, sofern diese nicht als Entsorgung bezahlt wird.

Tab. 3.10 Literaturangaben zu den direkten Emissionen aus verschiedenen Biogasanlagen. Farblich markiert sind Werte, die für Durchschnitt berücksichtigt wurden. Die in diesem Projekt verwendeten Emissionswerte sind fett gedruckt.

Verfahren	Schadstoff Bezug	CH4 kg	NH3 kg	N2O kg	H2S kg	NM VOC	NOx	Quelle
Vergärung, exclusive Nachbehandlung	t Grüngut	0.52	0.018	0.010			0.098	Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-3
Vergärung, Lagerung, Mehrmission			40%					Edelmann 2001
Vergärung, Ausbringung, Mehrmission			10%					Edelmann 2001
Vergärung, Prozess	t Grüngut	0.6		0.05				Dinkel 2012:14
Vergärung, Nass, nicht gasdichte Gärrestabdeckung, offener Biofilter	t Grüngut	0.998						Vesenmaier & Reiser 2016
Vergärung, VN, Biofilter	t Grüngut	6.7	0.023	0.10	0.25			Schleiss 2005
Vergärung, Kompogas	t Grüngut	8.6	0.229	0.10	0.29			Jungbluth 2007
Vergärung, Biofilter für NH3	t Grüngut	1.0	0.023	0.11	0.30			Dinkel 2008
Vergärung, kein Biofilter	t Grüngut	1.0	0.190	0.07		0.24	0.02	Cuhls 2008
Vergärung, Lager/Nachrotte	t Grüngut	1.5		0.05				Dinkel 2012:14
Vergärung, Pfropfenstrom, nicht gasdichte Gärrestabdeckung, geschlossene Nachrotte, offener Biofilter	t Grüngut	0.191						Vesenmaier & Reiser 2016
Vergärung, Pfropfenstrom, dichter Gärrestabdeckung, geschlossene Nachrotte, geschlossener Biofilter	t Grüngut	1.796						Vesenmaier & Reiser 2016
Vergärung, geschlossene Nachrotte	t Grüngut	2.000	0.076	0.043		0.320		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-3
Vergärung, VN, einstufig, geschlossene Nachrotte	t Grüngut	6.7	0.229	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, VG, einstufig, geschlossene Kompostierung	t Grüngut	12.7	0.084	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, offene Nachrotte	t Grüngut	6.200	0.086	0.074		0.360		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-3
Vergärung, VO, zweistufig, offene Kompostierung	t Grüngut	10.5	0.292	0.10	0.25			Schleiss 1999
Vergärung, Landwirtschaft (Rottetrommel oder ohne NK)	t Grüngut	0.4	0.100	0.02				Edelmann 2006
Vergärung, Landwirtschaft, abgedeckt, Co-Substrat	t Grüngut	0.5	0.667	0.21	0.25			Jungbluth 2007
Vergärung, Landwirtschaft (Kompostmiete)	t Grüngut	1.0	0.100	0.02				Edelmann 2006
Vergärung, Landwirtschaft, nicht abgedeckt	m3 Gülle	1.0	0.300	0.02				Edelmann 2006
Vergärung, Landwirtschaft, abgedeckt	m3 Gülle	1.3	2.120	0.39				Jungbluth 2007
Vergärung, Landwirtschaft, nicht abgedeckt	m3 Gülle	6.3	2.120	-				Jungbluth 2007
Vergärung, Landwirtschaft, nicht abgedeckt, Mehrmission	m3 Gülle	6.3	2.120	-				Edelmann 2001
Vergärung inkl Lager/Nachrotte	t Grüngut	2.150		0.110				Dinkel et al. (2012), tabelle 4
Vergärung, Medianwert	t Grüngut	2.800	0.069	0.045		0.290		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-5
Vergärung inkl Lagerung und Ausbringung, Medianwert	t Grüngut	2.800	0.274	0.067				Medianwert. Cuhls et al. (2015), Kapitel 7
Vergärung	t Grüngut	1.0		0.03	0.09		0.003	Zschokke & Schleiss (2016)
Vergärung, Referenz, diese Studie	t Grüngut	2.800	0.081	0.045	0.259	0.29	0.024	
Kompost, KG	t Grüngut	9.8	0.021	0.10	0.25			Schleiss 1999
Kompost, KO	t Grüngut	4.9	0.420	0.10	0.25			Schleiss 1999
Kompost	t Grüngut	4.9	0.420	0.10	0.25			Schleiss 2005
Kompost, gekapselt, Biofilter für NH3	t Grüngut	1.0	0.023	0.20	0.30			Dinkel 2008
Kompostierung, Referenz 2010	t Grüngut	1.0	0.420	0.10	0.28	0.24	0.020	Jungbluth 2010
Kompostierung	t Grüngut	1.050	0.500	0.050				Dinkel et al. (2012), tabelle 3
Kompostierung, semipermeables Membran	t Grüngut	0.300	0.010	0.016		0.300		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2 [5]
Kompostierung, geschlossen	t Grüngut	0.790	0.015	0.041		0.095		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2 [3]
Kompostierung, geschlossene Hauptrotte, offene Nachrotte	t Grüngut	1.200	0.023	0.062		0.140		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2 [4]
Kompostierung, offen	t Grüngut	1.800	0.370	0.053		0.370		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-2 [6]
Kompostierung, Medianwert	t Grüngut	1.400	0.140	0.049		0.27		Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-5
Kompostierung inkl Lagerung und Ausbringung, Medianwert	t Grüngut	1.400	0.222	0.074				Medianwert. Cuhls et al. (2015), Kapitel 7
Kompostierung, geschlossene Tafelmietenkompostierung, geschlossener Biofilter	t Grüngut	0.136	0.169	0.141				Vesenmaier & Reiser 2016
Kompostierung	t Grüngut	1.0	0.700	0.025	0.53		0.453	Zschokke & Schleiss (2016)
Kompostierung, Referenz, diese Studie	t Grüngut	1.200	0.140	0.049	0.280	0.27	0.020	Jungbluth 2024
Ausbringung, Fertigkompost	t Gärrest	0.0005	0.100	0.035				Cuhls et al. (2015), tabelle 5-13
Produktlagerung, Mittelwert aller Verwertungsanlagen	t Grüngut	0.0001	0.014	0.004				Cuhls et al. (2015), tabelle 5-13
Ausbringung, Mittelwert aller Verwertungsanlagen	t Grüngut	0.001	0.083	0.021				Cuhls et al. (2015), tabelle 5-13
Ausbringung, Gärgut flüssig	t Gärrest	0.008	0.866	0.045				Cuhls et al. (2015), tabelle 5-11
Ausbringung, Gärgut fest	t Gärrest	0.008	0.334	0.061				Cuhls et al. (2015), tabelle 5-13
Ausbringung, Güllefass, Hofdünger flüssig	m3		0.787					Kägi 2022
Ausbringung, Schleppschlauch, Hofdünger flüssig	m3		0.594	0.210				Kägi 2022
Ausbringung, Schleppschlauch, Gärgut flüssig	m3		0.650	0.230				Kägi 2022
Güllelager, ungedeckt, Rindviehgülle	g NH3 m-2 h-1		0.070					Kupper & Häni (2018)
Güllelager, gedeckt, Rindviehgülle	g NH3 m-2 h-1		0.050					Kupper & Häni (2018)
Güllelager, Standard	m3 Gülle	2.230	0.349	0.012				Dinkel 2022 = Kägi 2022
Güllelager, Biogas	m3 Gülle	0.301	0.014	0.0043				Dinkel 2022 = Kägi 2022

Tab. 3.11 Annahme für die Ausgangslage und Reduktionsfaktoren für die Berechnung der direkten Emissionen im Kennwertmodell gemäss Diskussion im Text

Behandlung Gärrest		CH4	NH3	N2O	H2S	NMVOG	NOx	Schätzung
Referenz Vergärung	t Grüngut	2.800	0.081	0.045	0.259	0.290	0.024	
Keine Behandlung	t Grüngut	0.520	0.018	0.010	0.259	0.098	0.024	Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-3
offene Kompostierung, Lagerung, Miete bzw. Nachrotte	t Grüngut	6.200	0.086	0.074	0.259	0.360	0.024	Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-3
Rotttrommel, geheizt	t Grüngut	2.000	0.118	0.043	0.259	0.290	0.024	Keine aktuellen Daten, Edelmann 2006, Cuhls 2015
geschlossene Kompostierung/Lagerung mit Biofilter	t Grüngut	2.000	0.076	0.043	0.259	0.320	0.024	Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-3
Entwässerung, Faulschlamm 27% TS	t Grüngut	0.520	0.018	0.010	0.259	0.098	0.024	Medianwert. Cuhls et al. (2015), tabelle 5-3
Lager und Behandlung	Referenz	CH4	NH3	N2O	H2S	NMVOG	NOx	
Referenz Vergärung	kg/t Grüngut	2.800	0.081	0.045	0.259	0.290	0.024	
Keine Behandlung	Median	-81%	-78%	-78%	0%	-66%	0%	
offene Miete bzw. Nachrotte	Median	121%	6%	64%	0%	24%	0%	
Rotttrommel, geheizt	Median	-29%	46%	-4%	0%	0%	0%	
geschlossene Lagerung/Kompostierung mit Biofilter	Median	-29%	-6%	-4%	0%	10%	0%	
Entwässerung, Faulschlamm	Median	-81%	-78%	-78%	0%	-66%	0%	
Referenz, Gärgut flüssig	%, kg/t	5%	Substratspez.	0.012	0	0	0	
Referenz Güllelager, 100% abgedeckt	Offenes Lager	-80%	-80%	-64%	0	0	0	
Offenes Gärrestlager/Nachgärung	Offenes Lager	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Geschlossenes Gärrestlager/Nachgärung	Offenes Lager	-80%	-80%	-64%	0%	0%	0%	
Nährstoffaufbereitung (Ultrafiltration/Umkehrosiose)	Offenes Lager	-80%	-90%	-64%	0%	0%	0%	
Biogas Zürich AG								
Faktor Behandlung Kompost für geprüfte Anlage		121%	6%	64%	0%	24%	0%	
Faktor Behandlung Gülle für geprüfte Anlage		-80%	-80%	-64%	0%	0%	0%	
Reduktionsfaktoren Ausbringung	Referenz	CH4	NH3	N2O	H2S	NMVOG	NOx	
Referenz, flüssig	kg/t	0	Substratspez.	0.210				
Landwirtschaft, Güllefass	Gülle	0%	15%	10%	0%	0%	0%	Edelmann 2001:34
Landwirtschaft, Schleppschlauch	Gülle	0%	-35%	10%	0%	0%	0%	Kägi 2022
Landwirtschaft, Einspritzung, Schleppschuh	Gülle	0%	-45%	10%	0%	0%	0%	Kägi 2022: Schleppschlauch- und schuh verringern sich die ammoniakverluste um 30-70%
Landwirtschaft, Einspritzung, Cultan (Impfen)	Gülle	0%	-70%	10%	0%	0%	0%	Kägi 2022
Referenz, fest								
Kompost, Gartenbau	Kompost	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Landwirtschaft, Mistzetter	Kompost	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Verbrennung, Zementwerk, 92% TS	Kompost	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	
Verbrennung, KVA, 27% TS	Kompost	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	

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

3.4.5 Produktion von Düngerpellets im Trockenfermenter

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 Gärgutes kann dann als Kompost bzw. Ausbringung in der Landwirtschaft grob abgeschätzt werden. Als Ertrag wird 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 vollständig auf diesen Teil alloziert.

3.5 Wertstoffe aus der KVA

Das bisheriges Vorgehen gemäss Bericht von Treeze für die **Grenzwerte** für erzeugte Wertstoffe wird beibehalten (Tschümperlin & Frischknecht 2017:4.4.1):

Für die Herstellung von Metallen stehen lediglich Ökobilanzdaten von durchschnittlichen Anlagen zur Verfügung. Die Gewinnung von Metallen wie Aluminium, Kupfer oder Zink erfolgt oft in aussereuropäischen Ländern mit weniger strengen Umwelanforderungen. Deshalb erachteten die Autoren es als sinnvoll, den Grenzwert für die Wertstoffe zwar ebenfalls in Beziehung zur heutigen Produktion, den relativen Grenzwert jedoch strenger als bei den Nebenprodukten der anderen Energiesysteme anzusetzen. Der Referenzwert wird bei einem Viertel der Umweltbelastung, die durch die Primärproduktion verursacht würde, festgelegt. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass der Benchmark bei den Materialien durch durchschnittliche Anlagen mit dementsprechend höheren spezifischen Umweltbelastungen repräsentiert wird und nicht wie bei Strom und Wärme durch beste (fossile) Technologien.

Die Grenzwerte für die erzeugten Wertstoffe entsprechen je einem Viertel der in Tab. 4.2 aufgelisteten Umweltbelastungen der Bereitstellung von primären Ressourcen, wobei die allfällig erforderlichen Aufbereitungsprozesse von dem Grenzwert abgezogen werden (Tab. 3.12).

Die zurückgewonnenen Wertstoffe können das Gewinnen und Erzeugen von Metallen aus Primärrohstoffen vermeiden. Je nach Qualität der Wertstoffe werden diese an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette primärer Metalle eingesetzt (siehe Tab. 4.1). Das zurückgewonnene Eisen, das Blei und Zink aus den Schlämmen der FLUWA und das Zink aus der FLUREC können ohne weiteren Aufbereitungsprozess in der Herstellung von Roheisen, Blei- beziehungsweise Zinkkonzentrat und Primärzink eingesetzt werden. Die zurückgewonnenen Metalle Aluminium, Kupfer, Edelstahl und Gold werden eingeschmolzen und können dann entsprechende Metalle aus der Primärproduktion ersetzen.

Die Menge gewonnenes Primärmetall ist aufgrund der Aufbereitung etwas kleiner als die Menge zurückgewonnenes Metall aus der Schlacke (Tschümperlin & Frischknecht 2017). Ab 2026 wird die Phosphorrückgewinnung aus der Klärschlamm und tierischen Abfällen in der Schweiz vorgeschrieben. Bisher nicht betrachtet wurde die Bereitstellung von Phosphor aus der Monoverbrennung von Klärschlamm und tierischen Abfällen. Das KWM könnte hierfür bei Bedarf mit einem entsprechenden Referenzwert für die Bereitstellung von Primär-Phosphor erweitert werden. Neu erhoben werden müsste dann die vollständige Weiterverarbeitung des zurückgewonnenen P bis zur Bereitstellung eines äquivalenten Produktes.

Tab. 3.12 In den bilanzierten KVA zurückgewonnene Wertstoffe, deren Aufbereitung und die mit den aufbereiteten Wertstoffen ersetzten Primärmetalle (Tschümperlin & Frischknecht 2017)

Metall	Aufbereitungsprozess	Ersetztes Primärmetall
Aluminium	Herstellung Sekundäraluminium (aus altem Schrott)	Primäraluminium
Eisen	keiner	Roheisen (pig iron)
Kupfer	Herstellung Sekundärkupfer	Primärkupfer
Blei in Schlamm aus FLUWA	keiner	Bleikonzentrat, primär
Zink in Schlamm aus FLUWA	keiner	Zinkkonzentrat, primär
Zink aus FLUREC	keiner	Primärzink
Edelstahl	Herstellung Sekundär-Edelstahl	Primär-Edelstahl
Gold	Herstellung Sekundär-Gold	Primär-Gold

Tab. 3.13 Grenzwerte für die Wertstoffrückgewinnung in der KVA in ReCiPe-Punkten pro Tonne Wertstoff ab Anlage

ReCiPe Pkt pro Tonne	Referenzwert
Aluminium	78.2
Kupfer	141.0
Gold	293'893.8
Edelstahl	58.0
Eisen	12.0
Zink	51.0
Zinkkonzentrat	7.6
Bleikonzentrat	5.1
Phosphor	Bisher nicht festgelegt

3.6 Zusammenfassung der Grenz- und Referenzwerte

Tab. 3.14 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.

In aktualisierten Modellen werden die Umweltbelastungen der entsprechenden Prozesse aus der Ökobilanzdatenbank für die Grenzwerte jeweils mit den aktuellen Ökobilanzdaten berechnet und können von den hier gezeigten Werten abweichen.

Tab. 3.14 Zusammenfassung der Referenzsysteme und der Grenz- und Referenzwerte

		Einheit	Referenzsystem	Grenz- bzw. Referenzwert ReCiPe Pkt/Einheit
Energieprodukte	Elektrizität	kWh	GuD Erdgas Kraftwerk	0.0047
	Wärme	kWh	Erdgasheizung	0.0025
	Fernwärme	kWh	Erdgasheizung	0.0025
	Kälte	kWh	R134a Kältemaschine mit GuD-Strom	JAZ abhängig
	Fernkälte	kWh	R134a Kältemaschine mit GuD-Strom	JAZ abhängig
	Biomethan	kWh	Erdgas, ab Netz, abzüglich CO ₂ -Emission Biogas	0.0026
Nebenprodukte	Frischklärschlamm Entsorgung	m ³	Keines	
	Entsorgung Co-Substrat	CHF	Kompostierung	1.47E-02
	Gärgut, fest	kg	Kompostierung	5.01E-04
	Gärgut, flüssig	kg	Kompostierung	1.19E-04
	Lagerung Hofdünger	m ³	Konventionelles Güllelager	1.71E-06
	Klärschlammbehandlung, Schlachtabfälle Kategorie 1	kg	Verbrennung von Frischschlamm	1.93E-03
	Total			

3.7 Prüfung des globalen Kriteriums

Für das KWM wurde entschieden, keine differenzierte Prüfung pro Energieprodukt durchzuführen. Zur Prüfung des globalen Kriteriums 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 Prozent²⁸ die Umweltbelastungen der Anlage bzw. aller Produkte zusammen über oder unter dem Prüfwert liegen. Mit Hilfe der in Kapitel 4.12 vorgeschlagenen

²⁸ Achtung. Ein direkter Vergleich verschiedener Anlagen des gleichen Anlagentyps anhand dieses Prozentwertes ist nicht möglich.

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 müssen alle Produkte der Anlage im Kennwertmodell eingegeben werden. 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.

Grunddaten und Bewertungsmethoden werden auf versteckten Blättern dokumentiert.

In Fig. 3.9 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 ReCiPe (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.

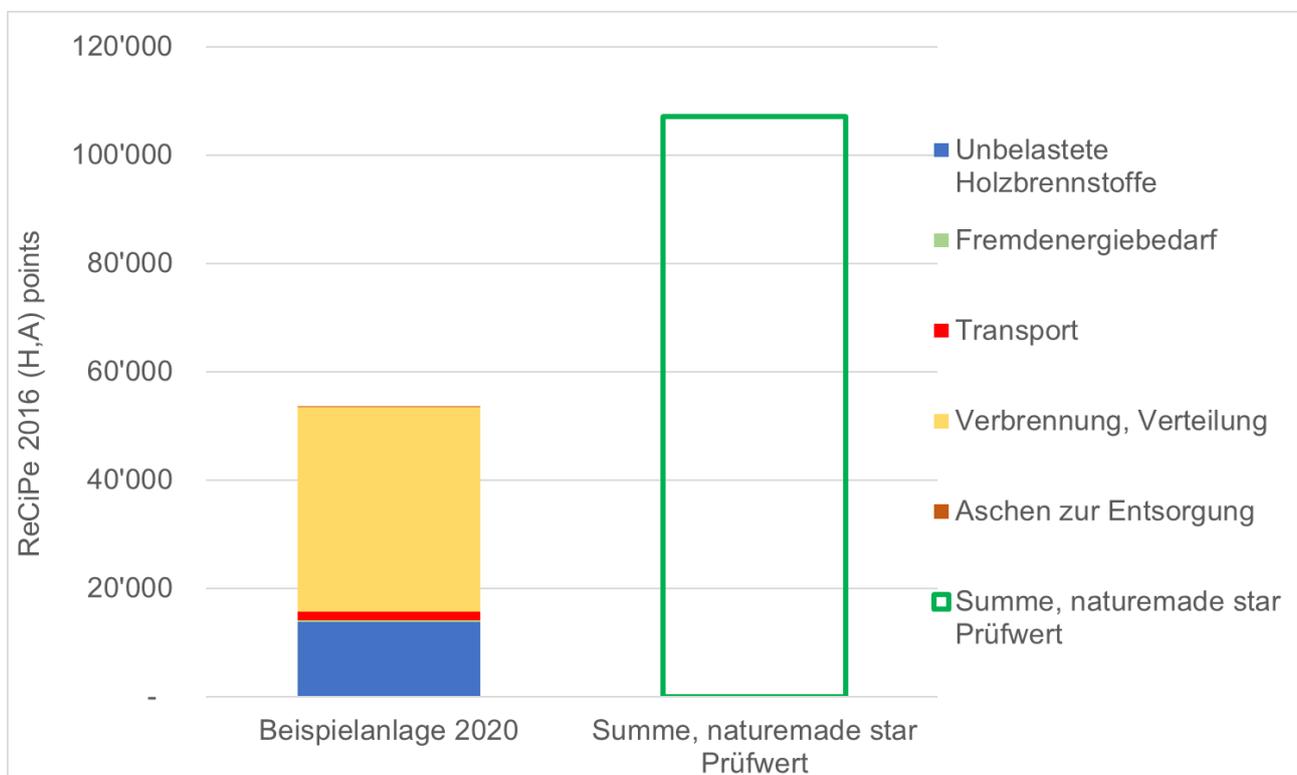


Fig. 3.9 Beispiel für die Prüfung des globalen Kriteriums im Kennwertmodell. Diese Beispielsanlage hat das globale Kriterium erfüllt.

4 Beschreibung der Kennwertmodelle

4.1 Einführung

Im Folgenden geben werden die einzelnen Kennwertmodellen im Detail beschrieben. Die Kennwertmodelle werden als EXCEL-Datei zur Verfügung gestellt.²⁹ Jedes Kennwertmodell enthält folgende Blätter:

Info	Auswahl der Sprache und einige allgemeine Informationen zum Modell.
MainInput	Haupteingabemaske auf welcher der Anlagenbetrieb, notwendige Eingaben und alle verkauften Produkte aufgeführt werden. Teilweise enthält dieses Blatt auch die Ergebnisse der Prüfung
Substrates	Optional: Zusätzliche Angaben zur genauen Zusammensetzung der vergärten bzw. verbrannten Substrate.
Results	Optional: Auf dem Blatt wird angezeigt, ob die Anlage und damit alle von der Anlage verkauften Produkte, die zur Zertifizierung angemeldet werden, das <i>naturemade star</i> Kriterium erfüllen.
EPD	Auf dem Blatt werden die Ergebnisse der Umweltbelastungen für verschiedene Energieprodukte als „Umweltdeklaration“ ausgewiesen.
Own calculations	Leeres Blatt für eigene Nebenrechnungen

4.2 Bedienung

Alle gelben Felder im Blatt „MainInput“ und «Substrates» 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.

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. Damit kann gemäss dem Verursacherprinzip bestimmt werden, ob es sich um Abfälle oder Produkte handelt.

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

²⁹ Siehe <https://www.naturemade.ch/de/allgemeine-zertifizierungsunterlagen.html>

In der Spalte "Hinweise und Warnungen" werden spezielle Aspekte der Eingabe kontrolliert. In der Spalte werden weitere Infos zur Prüfung gezeigt, wenn diese nicht bestanden ist. 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.

4.3 Allgemeine Systemgrenzen für das Kennwertmodell

Grundsätzlich wird die zertifizierte Anlage im Kennwertmodell aus Sicht des Anlagenbetreibers für eine Energieanlage auf Basis erneuerbarer Energie 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. 1.2).

In der Ökobilanzierung werden vor- und nachgelagerte Prozesse entsprechend der Eingaben im KWM mit Hintergrunddaten berücksichtigt. Die Systemgrenze der Ökobilanzierung erfasst folglich alle Umweltbelastungen von der Wiege bis zur Bahre für die Ab Anlage gelieferten Energieprodukte und Nebenprodukte.

4.3.1 Inputs

Alle vom Anlagenbetreiber **eingekauften** Energieträger, Materialien und Dienstleistungen (z.B. Entsorgung) zum Betrieb der Energieanlage für erneuerbare Energie 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.

4.3.2 Outputs

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 finanzielle 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.

4.3.3 Transporte

Alle Eingaben zu Transportkilometern werden mit durchschnittlichen Dieselfahrzeugen gerechnet.

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 diese Transporte sind hingegen nicht zu berücksichtigen, um Doppelzählungen zu vermeiden.

Die Transportdistanzen werden grundsätzlich für die einfache Distanz eingegeben. Im Modell wird eine leere Rückfahrt berücksichtigt (Auslastung 50%). Wenn das Transportmittel auf der Rückfahrt nachweisbar voll ausgelastet ist, kann die Transportdistanz in Rücksprache mit dem Zertifizierenden halbiert werden.

Der für Transporte verbrauchte Diesel, Strom 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. Für neue Treibstoffe z.B. Wasserstoff, muss evtl. die Liste der eingekauften Energieträger erweitert werden.

Für die Nutzung von eigenen Energieprodukten für Transporte (z.B. Biogas-Lkw, Elektrofahrzeuge) wird folgendes vorgeschlagen:

- Alle Aufwände für die Aufbereitung zum Treibstoff als Eigenverbrauch eintragen
- Die verbrannte bzw. genutzte Menge des Energieproduktes als Eigenverbrauch eintragen und bei zertifizierter Menge abziehen
- Keine km für diese Transporte mit Eigenenergie eintragen.

4.3.4 Regionale Gültigkeit

Alle Kennwertmodelle wurden für Energieanlagen erstellt, welche in der **Schweiz und teilweise in weiteren Ländern** (siehe Kapitel 4.5.3.2) betrieben werden. Es ist nicht möglich, die Modelle auf Anlagen anzuwenden, die in anderen Ländern betrieben werden als bisher implementiert. Dazu müssten bestimmte Annahmen in den Hintergrunddaten wie z.B. Angaben zum Strommix angepasst werden. Dies ist auf Anfrage möglich.

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

4.3.5 Verbundanlagen und Mixe

Alle Kennwertmodelle beziehen sich auf eine einzelne Anlage zur Energieerzeugung bzw. Umwandlung erneuerbarer Energieressourcen. Es ist in den einzelnen KWM nicht vorgesehen, Verbundsysteme wie z.B. eine Fernwärmeversorgung mit Wärmepumpe, Holz-WKK und Spitzenlastkessel für Erdgas zu bilanzieren. Werden mehrere erneuerbare Energiesysteme in einem Netz kombiniert, so muss jeder Anlagenteil separat geprüft werden.

Bei Biomethan und Strom wird die Bilanz bis zur Einspeisung in ein Verbundnetz gerechnet. Es erfolgt keine Erhebung zu weiteren Erzeugungsanlagen im Netz.

Bei Fernwärme bzw. Fernkälte wird auch die Infrastruktur, Betriebsaufwendungen und Energieverluste bis zum Endverbraucher im KWM eingegeben.

Bei Anlagenkonstellationen resp. Wärmenetzen mit verschiedenen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Einspeisern wird die Erarbeitung ein neues "KWM Thermisches Netz" geplant, welches die Prüfung von Netzen ermöglicht. In dieses KWM können die Prüfergebnisse von einzelnen erneuerbaren Produktionen sowie Angaben zum Netz und zusätzlicher fossiler Einspeisungen eingegeben werden. Daraus resultiert eine Gesamtprüfung eines Wärmenetzes."

Eine Ausnahme bilden bivalente Wärmeerzeugungsanlagen als Kombination einer Wärmepumpe mit einem Spitzenlastkessel. Dieser Fall wurde im Kennwertmodell abgebildet (siehe Kapitel 4.6.4).

4.3.6 Produzierte und verkaufte Energiemenge

Die Bilanzierung der gelieferten Energie bezieht sich bei Strom und Gas auf die ab Anlage gelieferte Menge. Bei Wärme-/Kälteanlagen wird die an die Endkund:innen gelieferte Energie bilanziert, d.h.

die Netzverluste werden bei Wärme/Kälte berücksichtigt, nicht aber bei Strom und Gas. Bei der Übertragung bzw. Verteilung von Strom, Wärme, Kälte und Gas gibt es auch Energieverluste. Die tatsächlich an Endkund:innen verkaufte Energiemenge ist also auch für Strom und Gas in der Regel kleiner als die ab Anlage gelieferte Menge.

Die Verluste der Strom- und Gasnetze sind nicht Bestandteil der naturemade-Zertifizierung, da der Fokus auf die Zertifizierung der Energieproduktionsanlagen liegt. Idealerweise sollten sie nicht aus nicht-erneuerbaren oder grauen Energie kommen, da dies unter Umständen zu einer Verschlechterung der realen Umweltbelastungen beim Endkunden führen kann. Die Anlagenbetreiber sollten diese Verluste von der produzierten Energiemenge abziehen und nur so viel zertifizierte Energie verkaufen, wie tatsächlich beim Endkunden ankommt.

4.4 Biomasse Verbrennung (Holzenergieanlagen)

Das Kennwertmodell für Holzenergieanlagen wurde 2023 grundlegend überarbeitet.

Wärme aus Holzheizungen, Wärme und Strom aus Holzheizkraftwerken sowie Holzvergasungsanlagen werden in einem Kennwertmodell zusammengefasst. Es sind sowohl Holzheizkraftwerke als auch reine Wärmeerzeugungsanlagen in das Kennwertmodell integriert. Hierbei handelt es sich um Stückholz-, Holzschnitzel- und Pellets-Feuerungen im Leistungsbereich > 70 kW. Die Daten zu WKK (Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen) basieren grösstenteils auf den Grundlagen der bisherigen naturemade Zertifizierung (Jungbluth et al. 2002; Jungbluth & Flury 2013).

4.4.1 Auswertungen zur Relevanz von Kennwerten

4.4.1.1 Holzheizungen

In Fig. 3.3 werden die Umweltbelastungen verschiedener Holzheizungen auf Grundlage von vorhandenen Sachbilanzdaten verglichen. Keine der dort bilanzierten Holzheizungen bleibt unter dem Grenzwert. Bei allen in der Hintergrunddatenbank bilanzierten Heizungen sind Feinstaub- und NO_x Emissionen von besonderer Bedeutung. Diese werden in der Kategorie „Inorganic respiratory effects“ bewertet. In der der Hintergrund-Datenbank wurden für grössere Heizungen, basierend auf unterschiedlichen Messwerten, höhere Feinstaubemissionen als für kleinere Heizungen eingesetzt.

Die Luftreinhalteverordnung schreibt Werte für verschiedene Emissionen von grösseren Holzheizungen vor (LRV 2023). 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. Aufgrund gesetzlicher Grundlagen sind bei modernen Holzheizungen geringere Emissionen (insbesondere bei $\text{PM}_{2.5}$) zu erwarten als in den Ökobilanzdaten berücksichtigt. Ferner wird in den Hintergrunddaten angenommen, dass ein Teil der Asche auf Landwirtschaftsland verstreut wird. Auch dies erscheint für Anlagen in dieser Grössenordnung nicht realistisch. Wenn diese Emissionen geringer ausfallen und dies im KWM entsprechend eingegeben wird, können grössere Holzfeuerungen 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 bei ReCiPe (H,A) zum wichtigsten Faktor in der Bewertung der Brennstoffbereitstellung.

4.4.1.2 Holzheizkraftwerke

Die Hauptumweltbelastungen der Holzheizkraftwerke werden in Fig. 3.2 und Fig. 3.3 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 NO_x Emissionen problematisch. Auch hier wird in den Datensätzen teilweise ein unrealistischer Entsorgungsweg für die Aschen angenommen. Somit sollten moderne Holzheizkraftwerke unter den naturemade Grenzwerten bleiben können, soweit die realen Emissionen und Entsorgungswege der Asche im Kennwertmodell modelliert werden. Ein ORC (Organic Ranking Cycle) Kraftwerk wird ohne Luftfilter modelliert und hat deshalb besonders hohe Partikelemissionen.

4.4.1.3 Holzvergasung

Grundsätzlich ist auch bei der Holzvergasung die Bereitstellung von Wärme und/oder Biomethan 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.

4.4.2 Systemgrenzen der Eingaben im KWM

Grundsätzlich werden ähnliche Systemgrenzen wie für andere Anlagen verwendet (Fig. 4.1). Das Modell ist aus Sicht des Anlagenbetreibers für alle Systemteile auszufüllen, die direkt mit der Holzenergieanlage zusammenhängen. Dazu gehören z.B. Altholzannahme und Aufbereitung, Schnitzelannahme, Trocknung und Lagerung, die Verbrennungs- bzw. Vergasungsanlage und die Entsorgung von Schlacken und Asche. Bei der Erzeugung von Biomethan 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 so weit nicht Abwärme der Anlage genutzt wird.

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

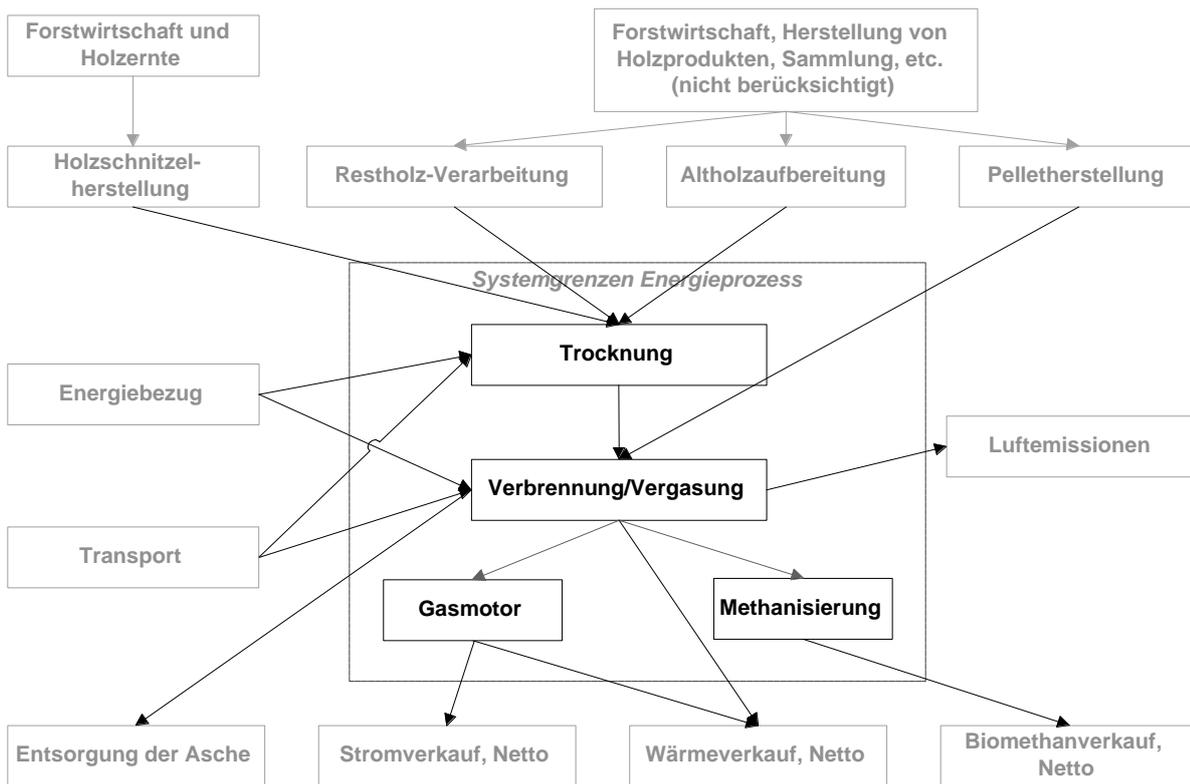


Fig. 4.1 Systemgrenzen der Eingaben für die Holzenergieanlage im Kennwertmodell.

4.4.3 Kenngrößen

Aus der Auswertung von Ökobilanzergebnissen ergeben sich folgende Kenngrößen, die für den durchschnittlichen Anlagenbetrieb pro Jahr abgefragt werden:

- Auswahl für den Anlagentyp, z.B. Holzheizung, oder Holzverbrennungskraftwerk.
- Jährlicher Gesamtverbrauch von Holzbrennstoffen (naturbelassenes Holz bzw. Restholz, Pellets) und Altholz als Trockenholzmenge (t atro) für die Produktion von Strom und Wärme. Landschaftspflegeholz wird als Waldholz eingegeben. Als Altholz dürfen nur Brennstoffe eingetragen werden, für die eine Entsorgungsgebühr eingenommen wird.
- Nicht geeignet ist das Modell bisher für die Beurteilung von Holzschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen.³⁰
- Relative Feuchte der Holzfraktionen falls für Umrechnungen benötigt (Grobe Schätzwerte werden im Blatt „Substrates“ 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.

³⁰ Schnellwachsende Hölzer die auf der Fläche alle paar Jahre vollständig abgeerntet werden und dann aus den Wurzelstöcken wieder nachwachsen (z.B. Weide). Der Einsatz von Pestiziden und Dünger ist im Gegensatz zur Waldwirtschaft möglich.

- Brennstoffverbrauch (kWh) z.B. zur Trocknung von Holz oder zum Beheizen der Gebäude. 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.
- *Bezug von Abwärme, z.B. zur Schnitzeltrocknung (kWh)³¹*
- Emission von verschiedenen in der LRV regulierten Luftschadstoffen (mg/Nm³) bezogen auf 6, 11 bzw. 13% O₂ im Abgas der Anlage. Für die Bestimmung der Emissionswerte ist der Durchschnitt aller Messungen aus den letzten 12 Monaten vor der Prüfung massgeblich (siehe Tab. 4.1).
- Emission von Blei, Cadmium, Zink (mg/Nm³) 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 Wärme erfasst, welche über ein Fernwärmenetz transportiert wird. 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 Filtrerrückstände (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_x Emissionen) werden bereits im Kenngrössenmodell erhoben. Der Verbrauch von Ammoniak und evtl. erhöhte NH₃ 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 verschiedene Schadstoffe mit den Grenzwerten gemäss Luftreinhalteverordnung verglichen (LRV 2023). Es werden die Zahlen gemäss Tab. 4.1 verwendet.

³¹ Kann im KWM zurzeit noch nicht erfasst werden.

Tab. 4.1 Emissionsgrenzwerte für Feuerungen mit Holzbrennstoffen gemäss LRV Schweiz (LRV 2023). Gelb markiert sind von den Autoren gemäss Sauerstoffgehalt interpolierte Werte. Nicht gezeigt werden einige Grenzwerte für kleine Anlagen, da für die Zertifizierung nicht relevant

Holzfeuerungen		70 kW	70 kW bis 500 kW	500 kW bis 1 MW	1 MW bis 10 MW	über 10 MW	50 MW bis 100 MW	100 MW bis 300 MW	über 300 MW
Sauerstoffgehalt im Abgas	%vol	13	13	13	11	11	6	6	6
Stickoxide (NO _x), angegeben als Stickstoffdioxid	mg/m ³	250	250	250	250	150	175	200	150
Feststoffe insgesamt (Staub)	mg/m ³	50	50	20	20	10	15	15	15
Ammoniak und Ammoniumverbindungen, angegeben als Ammoniak	mg/m ³				30	30	45	45	45
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	1000	500	500	250	150	225	225	225
gasförmige organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff (C)	mg/m ³					50	75	75	75
Schwefeldioxid, SO _x	mg/m ³						200	175	150
Altholzfeuerungen					bis 10 MW	über 10 MW			
Sauerstoffgehalt im Abgas	%vol	13	13	13	11	11			
Stickoxide (NO _x), angegeben als Stickstoffdioxid	mg/m ³	250	250	250	250	50	75	75	75
Staub	mg/m ³	16	16	16	20	10	15	15	15
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m ³	200	200	200	250	50	75	75	75
Blei und Zink (zusammengerechnet)	mg/m ³	4	4	4	5	5	7.5	7.5	7.5
gasförmige organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff (C)	mg/m ³	40	40	40	50	50	75	75	75
Schwefeldioxid, SO _x	mg/m ³					50	75	75	75

4.5 Biomasse Vergärung (Bio- und Klärgasanlagen)

Das Vergären von biogenen Abfällen und Reststoffen, Schlachtabfällen, Klärschlamm, und Hofdünger (Gülle und Mist) wird zusammen in einem Kennwertmodell abgebildet. Das Kennwertmodell ermöglicht das Zertifizieren von Anlagen, die Strom, Wärme, Biogas und/oder Biomethan verkaufen. Hierzu wird der Aufbereitungsschritt von Biogas zu Biomethan in das Kennwertmodell aufgenommen.

4.5.1 Auswertungen zur Relevanz von Kennwerten

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). Entsprechend gibt es folgende 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 (durchsickernde Flüssigkeit) primär festen Kompost erzeugen.
- 3) Trockenfermentation wie z.B. klassische Kompogasanlage (mittlerer Wassergehalt rund 75 %) für die Grüngutvergärung. Austragseitig 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.

4.5.1.1 *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_x Emissionen aus dem BHKW (Stickoxide)
- N₂O Emissionen aus abgedeckten Anlagen (Lachgas)
- Evtl. fossile Energieinputs für Heizung

Bei der Kompostanwendung in der Landwirtschaft und im Gartenbau werden vor allem die Zinkemissionen mit ReCiPe (H,A) hoch bewertet. Die Bewertung von Schwermetallemissionen bei der Kompostanwendung in Ökobilanzen 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 stark erhöht.

4.5.1.2 *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 Mais und Gras aus intensivem Anbau ("Wiese intensiv") als Energiepflanzen. Da die Verwendung von Energiepflanzen gemäss spezifischen 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.

4.5.1.3 *Infrastruktur der Biogasanlagen*

Die Datengrundlage für den Bau (Infrastruktur) bei landwirtschaftlichen Anlagen und Grüngutvergärung 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% weiterer Substrate vergären, wird ein Korrekturfaktor für die Infrastruktur eingefügt, da diese dann aufwändiger ist. Dazu wird für den prozentualen Massenanteil von biogenen Rest- und Abfallstoffen die Infrastruktur der Grüngutvergärung verwendet.

Basierend auf einer im Jahr 2013 bilanzierten Grüngutvergärungsanlage³² wurden die verwendeten Mengen an Zement, Stahl und Landverbrauch berechnet. Die weiteren Materialverbräuche wurden beibehalten, wie sie in den Hintergrunddaten modelliert wurden (Jungbluth et al. 2007).

4.5.1.4 *Klärschlamm*

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

4.5.1.5 *Biogene Rest- und Abfallstoffe in der Klärschlammvergärung*

Die ARA in Bern verarbeitet neben Klärschlamm auch Co-Substrate. Dies sind z.B. Flotate³³ 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

³² Persönliche Auskunft Bernhard Wanner, axpo, Februar 2013

³³ Flotate sind Stoffe, die durch Flotation von den Flüssigkeiten getrennt werden. Bei der Flotation transportieren Gasblasen Stoffe an die Wasseroberfläche, die in der Flüssigkeit dispergiert oder suspendiert sind. An der Oberfläche werden die Stoffe mechanisch entfernt.

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. 4.2 gezeigten biogenen Rest- und Abfallstoffe 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. 4.2 Annahme vergärbare Abfälle im Jahr 2007 durch die ARA Bern (arabern 2008)

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

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.

4.5.1.6 *Biogasanlagen für Industrieabwässer*

4.5.1.6.1 *Einführung*

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 2023 waren ca. 20 Anlagen in der Schweiz³⁴ auf lebensmittelverarbeitenden Betrieben sowie in der Papierindustrie im Einsatz. In den meisten Anlagen wurde das Biogas vollständig zur

³⁴ <https://biomassesuisse.ch/infografiken>

Wärmeproduktion für den jeweiligen Betrieb genutzt. Nur in drei Anlagen gab es ein BHKW. Im Folgenden einige Beispiele von Anlagen in der Schweiz:³⁵

- 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 abgesehen von der Papierfabrik noch nicht standardmässig geprüft werden.

4.5.1.6.2 *Papierfabrik*

Ergänzung 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.
- Berechnung für Abwasserentsorgung

4.5.1.7 *Verbrennung von Biogas zur Strom- und Wärmeproduktion*

Grundsätzlich bestätigt die Auswertung der verfügbaren Daten (ESU-services 2024b) zur Verbrennung von Biogas die bekannten Einflussparameter wie z.B. Zündölverbrauch. Insbesondere Stickoxide sind bei der Bewertung relevant.

³⁵ Informationen in diesem Abschnitt gemäss https://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.

Im Modell erfasst wird die Emission von Stickoxiden aus der Verbrennung.

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_x-Grenzwert von 400 mg/Nm³ für eine Feuerungswärmeleistung bis 100 kW, 250 mg/Nm³ für eine Feuerungswärmeleistung ab 100 kW und 100 mg/Nm³ 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, da es keinen Grenzwert gibt. Die Emissionen der Fackel werden im Modell nicht abgefragt, sondern mit Standardannahmen gerechnet.

Im Modell ist bei verschiedenen Verbrennungen ein z.B. über Jahresfrachten oder Energiebereitstellung gewichtetes Mittel einzutragen.

4.5.2 Systemgrenzen der Eingaben im KWM

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

4.5.2.1 Anlagentypen

Bei den Biogas-Anlagen gibt es unterschiedlichen Typen, die unterschiedliche Substrate vergären können. In Tab. 4.3 wird die Abgrenzung verschiedener Typen von Biogasanlagen gezeigt. Gemäss dieser Abgrenzung muss der Anlagentyp im Kennwertmodell gewählt werden. Unter Umständen muss auch eine Anlage in der Landwirtschaftszone als Grüngut-Anlage angewählt werden, wenn sie einen hohen Infrastrukturaufwand verursacht. Schlachtabfallvergärungen können unter dem Anlagentyp Grüngut geprüft werden.

Tab. 4.3 Systematische Abgrenzung verschiedener Biogas-Anlagentypen im Kennwertmodell

Bezeichnung/Auswahl	Andere Bezeichnungen	Hauptsubstrat	Infrastruktur und Standort	Verwendung Gärrest	Hauptzweck	Referenz Co-Produkte
Grüngut und industrielle Vergärungsanlagen	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
Landwirtschaft		Mindestens 50% Gülle und Mist plus Co-Substrat	Teilweise Vor- und Nachbehandlung, beim Bauernhof in Landwirtschaftszone	Hofdünger, evtl. Kompost	Energie	Direkte Ausbringung
Kläranlage		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

4.5.2.2 *Biogasanlagen*

Für das Kennwertmodell werden nach Möglichkeit nur die Anlagenteile berücksichtigt, die direkt für die Substratannahme, Biogaserzeugung, Aufbereitung, Verbrennung, und Gärrestbehandlung notwendig sind und vom Anlagenbetreiber bezahlt werden. Fig. 4.2 fasst die Systemgrenzen zusammen.

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.

Wird fossiles Gas (Erdgas, Flüssiggas) zur Brennerhöhung zugekauft, so muss die entsprechende Menge unter dem Erdgasverbrauch eingetragen werden. Sie darf für die zertifizierte Energiemenge nicht berücksichtigt werden.

Bei der Strom- und Wärmeproduktion der Anlage wird der Bedarf für diejenigen Anlagenteile, die dem Eigenverbrauch zugeordnet werden, abgezogen. Erfasst wird somit die Nettoproduktion der Biogasanlage.

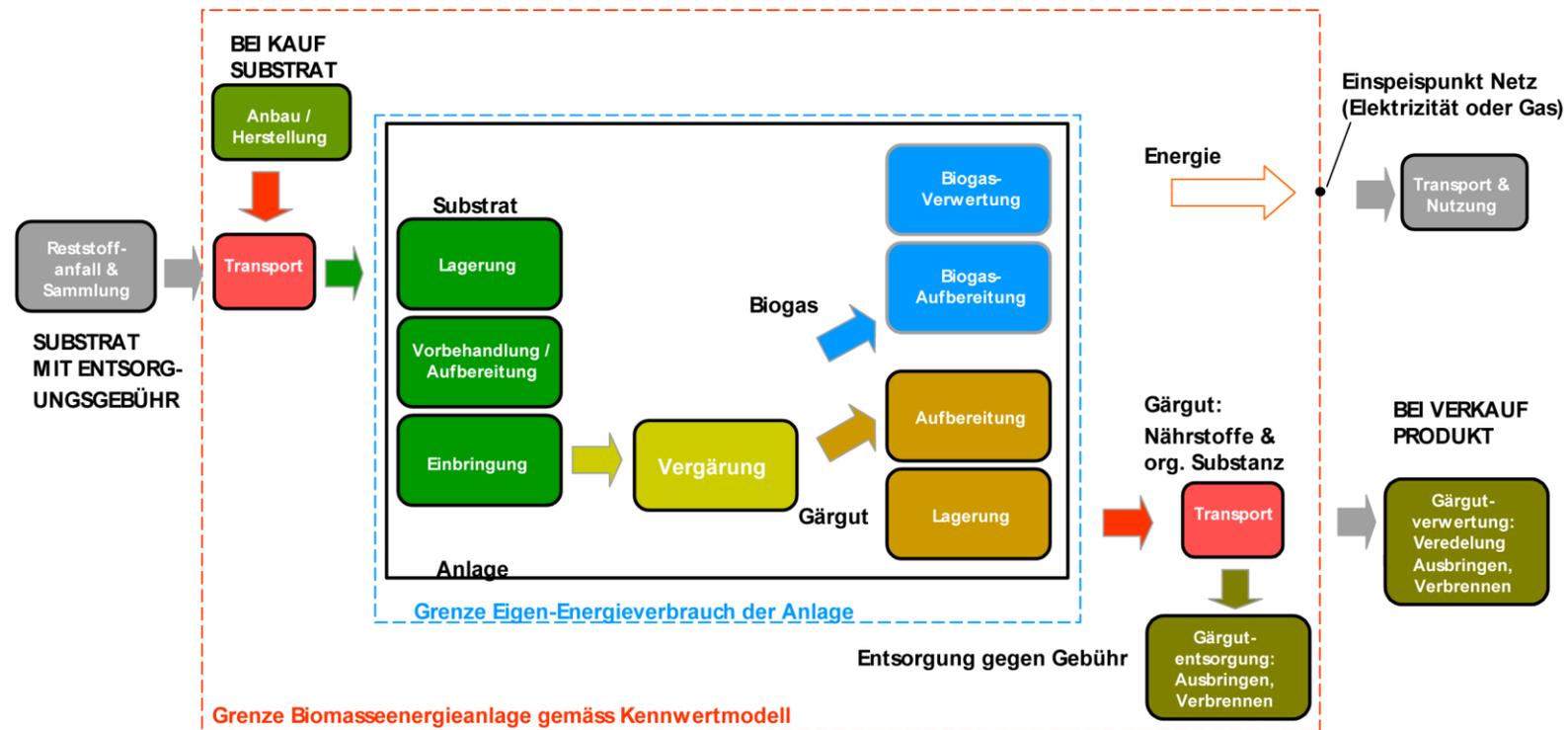
Für den Verkauf und Verbrauch von Biogas bzw. Biomethan ausserhalb der Anlage ist die Verteilung im Hochdrucknetz bis zum Abnehmer ab Hochdrucknetz bzw. Übergabe an Niederdrucknetz enthalten. Dazu gehört die Pipeline, Erdgasbedarf und Emissionen im Netz. Grundlage sind verfügbare Datensätze zur Verteilung 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 so weit gerechnet werden, dass die Qualität vergleichbar ist mit unvergärem Klärschlamm. Weitergehende Technologien wie z.B. Rückgewinnung von Phosphor 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 Gärgutausbringung nicht im Modell berücksichtigt. Werden die ausgefaulten Substrate hingegen gegen Gebühr abgegeben, so wird dies im KWM als entsprechende Entsorgung berücksichtigt (siehe Kapitel 1.7 Verursacherprinzip in Ökobilanzen von Abfällen und Reststoffen).

Es gibt Vergärungsanlagen, die für Mist und Gülle etwas bezahlen. Theoretisch müsste man auch hierfür eine Umweltbelastung einführen, bei dem Hofdünger mit Vorbelastung aus der Tierhaltung in die Anlage eingebracht wird. Dazu müssten 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. Hofdünger wird in der Schweiz typischerweise gratis abgegeben oder direkt auf dem Hof wiederverwendet.



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, Enddickung, Entwässerung, Trocknung, Absackung (Weitere Veredelung, z.B. Pelletierung, liegt ausserhalb der Systemgrenze)
 Lagerung Gärgut: Lagerung Gärgut vor Verwertung
 Verwendung Gärgut: Ausbringen mit Schlepplschlauchverteiler, Schlepplschuh, Cultan, Mistzetter, Trocknen, Verbrennen
 Biogas Aufbereitung: Entfeuchtung, Entschwefelung, Aufbereitung zu Erdgasqualität
 Biogas Verwertung: BHKW, Gaseinspeisung

Fig. 4.2 Systemgrenzen der Biogasanlagen für Eingaben im Kennwertmodell

4.5.2.3 Klärschlammvergärung

Die folgende Fig. 4.3 zeigt die Systemgrenzen für die Gesamtbilanz der Biogasproduktion 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, z.B. in der KVA verbrannter Klärschlamm sowie das Presswasser aus der Schlamm Trocknung.

Wird der Faulschlamm hingegen verkauft (z.B. an ein Zementwerk), wird hierfür ein Referenzwert gemäss Kapitel 3.4.2 berücksichtigt.

Der Energieverbrauch für die notwendige Vorbehandlung des Faulschlamm (z.B. Pressen, Eindicken und Trocknen) muss im KWM erfasst werden. Ausserdem auch die Behandlung des Abwassers aus der Schlamm Trocknung.

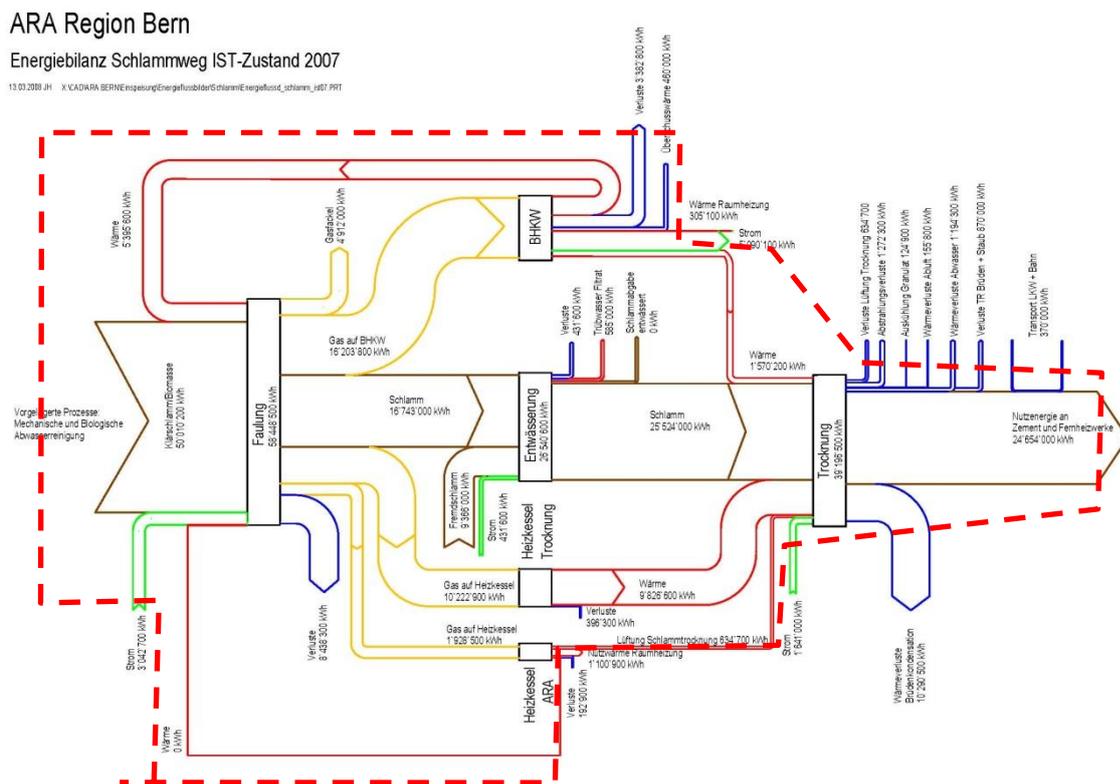


Fig. 4.3 Systemgrenzen für die Bilanzierung der Vergärung in einer Kläranlage aufgezeigt anhand eines Energieflussdiagramms.

4.5.2.4 Vergärung von eingekauften biogenen Reststoffen

Für eingekaufte biogene Reststoffe werden die Umweltbelastungen aus deren Herstellung berücksichtigt. Dies wird folgendermassen gemacht:

- 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.
- Die Berechnung erfolgt gemäss folgender Formel: Menge Substrat (kg FM) * Umweltbelastung Produkt (Punkte/kg FM) * -1 * Aufwand (Währung/kg FM) / Referenzpreis (Währung/kg FM).

$$\text{Substratmasse [kg FM]} * -1 * \text{Umweltbelastung resp. Entsorgungsleistung} \left[\frac{\text{Punkte}}{\text{kg FM}} \right] * \frac{\text{Aufwand} \left\{ \frac{\text{Kosten}}{\text{kg}} \right\}}{\text{Referenzpreis} \left\{ \frac{\text{Kosten}}{\text{kg}} \right\}}$$

- Wenn der Aufwand höher ist als der Referenzpreis wird der Referenzpreis eingesetzt, um die Belastung nicht höher zu heben als beim Ausgangsprodukt.
- Damit wird dann auch nur ein entsprechender Prozentanteil (= -Aufwand/Referenzpreis) der Umweltbelastungen aus der Herstellung des Substrates der Anlage angelastet.
- Wichtig sind schlussendlich die ReCiPe 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 biogenen Rest- und Abfallstoffen 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.
- 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.

Folgende Produkte werden zurzeit mit Referenzpreisen bewertet:

- apple, at farm
- bread, at bakery
- wheat flour, at mill
- Grass silage, at farm
- Hay, at farm
- meat, average, at slaughterhouse
- Molasses, at sugar refinery
- Potatoes, at farm
- Pulp, from sugar beet, at sugar refinery
- Rape meal, at oil mill
- Rape oil, at oil mill
- raw milk, at farm
- rye grains, at farm

- Silage maize, at farm
- sugar beets, at farm
- Syrup, from sugar beet molasses, at distillery
- vegetables, average, at farm
- Vinasse, at fermentation plant
- whey, at cheese dairy
- yeast, at plant
- wheat grains, at farm

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. 4.4 zeigt hierzu ein Beispiel für ein durchschnittliches Substrat (Referenzpreis ca. 1.50 CHF/kg).

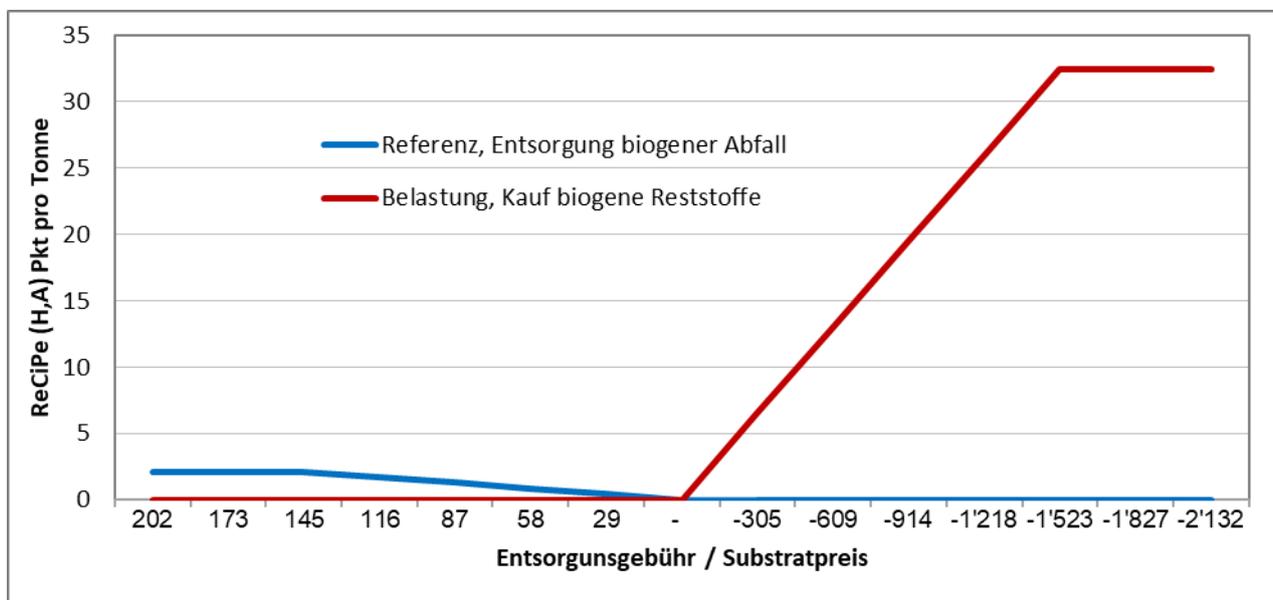


Fig. 4.4 Beispiel für die Berechnung von Referenzwert für die Entsorgung und Umweltbelastung für den Kauf von durchschnittlichem Biomasse-Substrat in der Schweiz (Finanzieller Ertrag (plus) bzw. Aufwand (minus), ohne Transportkosten, für die Anlage. Deckel bei den Referenzpreisen für Entsorgung bzw. durchschnittlicher Referenzpreis für Substratkauf

4.5.2.5 Berücksichtigung eines Referenzpreis-Index

Im Jahr 2022 gibt es aus verschiedenen Gründen deutliche Erhöhungen bei den Preisen für Nahrungsmittel und landwirtschaftliche Güter in Europa. Dies hat auch Einfluss auf die Preise der Biomasse-Substrate und der Verfügbarkeit, was wiederum Transportdistanzen erhöhen kann. Auf Grund der Berechnungsformel im KWM führt dies zu höheren Umweltbelastungen für die Biomasseinkäufe, wenn die entsprechenden Referenzpreise nicht angepasst werden.

Für die Kennwertmodelle sollten so weit wie möglich die aktuellen Marktpreise für Rohprodukte hinterlegt werden, allerdings sind diese nicht einfach und schnell für verschiedene Märkte zu erheben.

Die bisherigen Preise wurden zu verschiedenen Zeitpunkten für die einzelnen Länder erhoben. Fehlende Angaben wurden mit Währungsumrechnungen abgeleitet.

Um die Entwicklung der Referenzpreise einfach und aktuell abzubilden wurde das Kennwertmodell angepasst.

In der Eingabeseite wird das Jahr eingetragen für das die Prüfung gilt. Um die Preisentwicklung abzubilden, wird im KWM ein Index bei den Referenzpreisen eingeführt. Im Model werden auf Grundlage von Preisindizes die Referenzpreise für das Prüfungsjahr (Jahresmittelwert) ermittelt.

Für die Implementierung wurden die folgenden Arbeitsschritte, durchgeführt:

- Eingabe Jahreszahl für Prüfung mit Auswahlmatrix (2020-2030, ab 2023 Prüfung noch nicht möglich). Für die Eingaben im Kennwertmodell muss deshalb neu eine festes Referenzjahr angegeben werden.
- Aktualisierung Währungsumrechnung im Hintergrund, mittlerer Devisenkurs 2021³⁶
- Aktualisierung der Schweizer Preise für landwirtschaftliche Produkte mit den Deckungsbeiträgen Ausgabe 2022. Für andere Länder werden diese teilweise auch mit einer Umrechnung herangezogen.
- Eingabe verschiedener Rohstoffindexes³⁷ für die hier relevanten Produkte (siehe Liste oben) in einem neuen Excel-Sheet (Preisindex).
- Berechnung Mittelwert Indexentwicklung pro Beispiel ab 2012. Normalisierung auf ein Referenzjahr das gewählt werden kann. Grafischer Vergleich des verschiedenen Indexes.

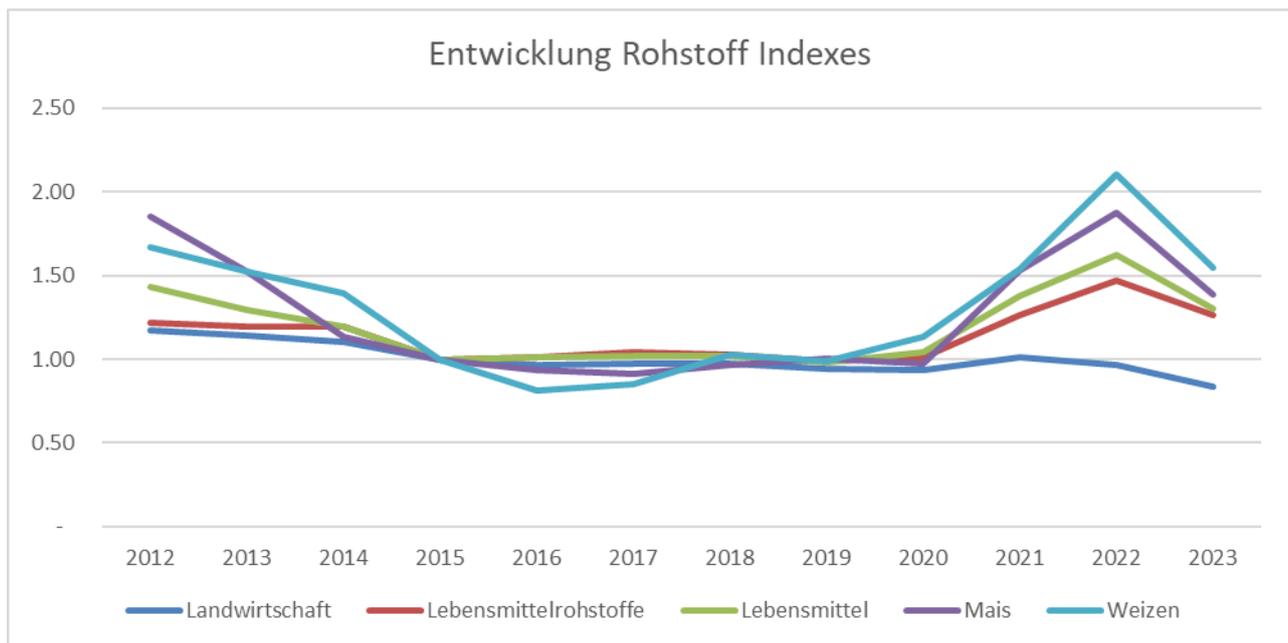


Fig. 4.5 Entwicklung der untersuchten Preisindizes mit Normalisierung auf das Jahr 2015

- Zuordnung des gewählten Index zu den oben gezeigten Produkten (InputsBG)
- Festlegung Indexjahr für die Referenzpreiseingaben pro Land und Produkt (InputsBG)
- Berechnung Indexabweichung für das betrachtete Land und Produkt (InputsBG)
- Berücksichtigung Indexabweichung in der Formel für die Berechnung der Umweltbelastungen im Blatt Substrate erfolgt damit automatisch

³⁶ <https://www.estv.admin.ch/estv/de/home/bundesabgaben/wehrpflichtersatzabgabe/wpe-jahresmittelkurse.html>

³⁷ www.indexmundi.com

- Als zusätzliche Qualitätskontrolle wurden alle Preise in CHF umgerechnet. Teilweise zeigen sich recht grosse Unterschiede (bis Faktor 100) zwischen Minimum und Maximum. Alle Preise bei denen der Range grösser als 5 war, wurden überprüft und soweit möglich angepasst, korrigiert bzw. neu recherchiert, so dass das Verhältnis jetzt in den meisten Fällen unter 5 liegt.

Zukünftig ist eine jährliche Aktualisierung notwendig, die idealerweise bei Vorliegen der ersten Prüfanträge für das Vorjahr durchgeführt wird:

- Die mittleren Wechselkurse für das Vorjahr sollten zukünftig jeweils zu Beginn des neuen Jahres aufdatiert werden.³⁶
- Die Preisindex sollte jeweils zu Beginn des neuen Jahres erweitert werden und der Mittelwert für das Vorjahr bestimmt werden.
- Sofern im Model eine Warnung erscheint, dass der eingegebene Kaufpreis höher als der Referenzpreis ist, sollte dieser für das entsprechende Land überprüft werden.
- Grundsätzlich ist die Implementierung der Indexe eine neue Unsicherheit in der Berechnung. Wo möglich und relevant auch der Preis wichtiger Produkte neu recherchiert werden.
- Es wäre möglich den Preisindex für weitere einzelne Produkte (siehe Liste unter <https://www.indexmundi.com/de/rohstoffpreise/>) zu erweitern und diesen statt des durchschnittlichen Indexes zu verwenden, wenn dies gewünscht wird.

4.5.3 Regionalisierung des Kennwertmodells

4.5.3.1 Ausgangslage

Das Kennwertmodell für Bio- und Klärgasanlagen wurde zunächst für die Schweiz entwickelt. Inzwischen werden Anlagen in verschiedenen Ländern zertifiziert. Teilweise werden dann Zertifikate für die Produkte in der Schweiz verkauft. Für die Anwendung in neuen Ländern müssen folgende Dinge berücksichtigt werden:

- 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.

4.5.3.2 Bisher berücksichtigte Länder

Im Kennwertmodell für Biogasanlagen wurde eine Option für die Angabe des Standortes eingefügt. Die Erweiterungen fanden in verschiedenen Jahren statt (Tab. 4.4). Daten zu den Referenzpreisen für eingekaufte Substrate wurde mit Hilfe von einzelnen Anlagenbetreibern und Internetrecherche ermittelt. Als zusätzliche Quelle für verschiedene Länder wurde die Agri-Footprint Datenbank verwendet (Blonk Agri-footprint BV 2022).

Tab. 4.4 Übersicht über die regionale Anpassung für verschiedene Länder und Angaben zur Erhebung der Referenzpreise für eingekaufte Substrate

Land	Währung	Preis-erhebung	Bemerkungen
Dänemark	DKK	2018	Daten für Dänemark standen auf www.statbank.dk/10080 zur Verfügung
Deutschland	EUR	2014	Es wurden die Preise der zweiten Jahreshälfte von 2013 eingesetzt, weil sie eher dem Durchschnitt entsprechen. ³⁸
Grossbritannien	GBP	2020	
Litauen	EUR	2023	
Niederlande	EUR	2021	
Schweiz	CHF	2022	AGRIDEA 2022
Spanien	EUR	2021	https://www.mapa.gob.es/app/precios-medios-nacionales/pmn_tabla.asp https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/ (Zugriff im März 2021)
Ungarn	HUF	2015	

4.5.3.3 Anpassungen für die Regionalisierung

Folgende Arbeiten und Anpassungen wurden am KWM Bio- und Klärgasanlagen 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.

Beim Referenzwert für Güllelagerung wurde für jedes Land eine Version mit dem entsprechenden Strommix implementiert.

Für das Referenzsystem Kompost aus der Vergärung, werden länderspezifische Preise gemäss Tab. 3.2 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. Als weitere Quelle wurden Preisdaten aus der Agri-Footprint Datenbank verwendet (Blonk Agri-footprint BV 2017).

Alle Wechselkurse wurden 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.

³⁸ 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.

Tab. 4.5 Wechselkurse im Jahr 2022 die im Kennwertmodell zur Vergärung eingesetzt werden

1.00	Umrechnung von Euro zu CHF
387.9	Umrechnung von HUF zu CHF
389.7	Umrechnung von HUF zu Euro
7.40	Umrechnung von DKK zu CHF
7.44	Umrechnung von DKK zu Euro
0.019	Umrechnung von DKK zu HUF
1.179	Umrechnung von GBP zu CHF

Die Berechnung wurde hinsichtlich der Referenzpreise von biogenen Rest- und Abfallstoffen 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.

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.

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.

- Bei den pflanzlichen Produkten kann es auch Unterschiede hinsichtlich der typischen Produkte geben. So wird z.B. im Modell als Referenz für pflanzliche Öle, Rapsöl hinterlegt. In Spanien wird hingegen eher Olivenöl produziert und in Biogasanlagen folglich auch eher Reststoffe aus der Olivenölproduktion verwendet. Solche regionalen Unterschiede werden bisher nicht abgebildet.

4.5.4 Anpassung für Glycerin

Anpassung im März 2018

4.5.4.1 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 (siehe Kapitel 1.7).

4.5.4.2 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.

Glycerin wird in verschiedenen Qualitäten gehandelt. Die Abgrenzungen sind etwas unübersichtlich. Für Biogasanlagen wird Rohglycerin (80%) eingesetzt. Der Einsatz von aufbereitetem Glycerin (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 Glycerin genutzt werden und andererseits auch als Futtermittel Einsatz finden.

Für gereinigtes Glycerin werden in Europa Preise von bis zu 80 Cents pro kg gezahlt. Der Marktpreis für Rohglycerin zur Entsorgung lag in Europa 2017 bei ca. 20 Cents. Für Glycerin zur Weiterverarbeitung werden 35-48 Cents bezahlt.³⁹

³⁹ <https://www.hbint.com/datas/media/590204fd077a6e381ef1a252/sample-quarterly-glycerine.pdf>

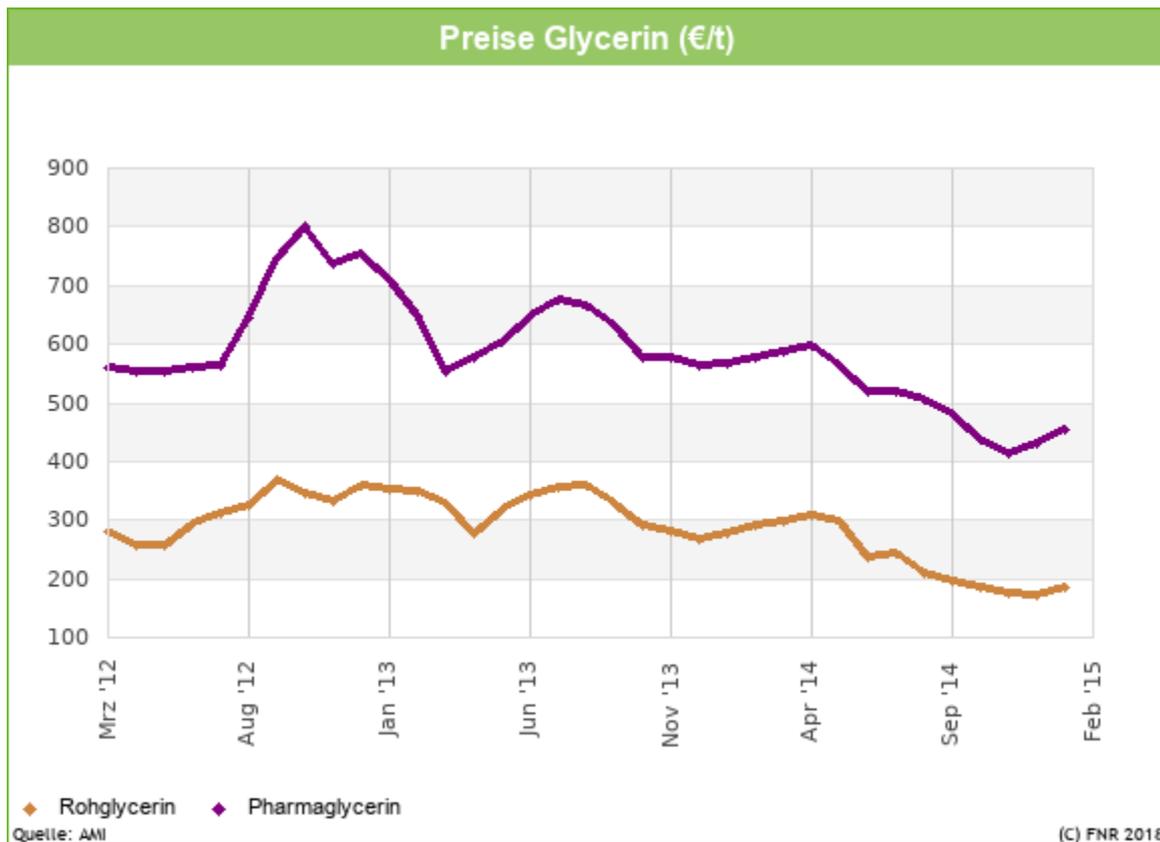


Fig. 4.6 Entwicklung der Marktpreise für Glycerin

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.⁴⁰ 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.

4.5.4.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen in der Schweiz

Das Bundesamt für Landwirtschaft führt eine Liste⁴¹ mit einer Empfehlung, welche Stoffe für die Vergärung/Kompostierung geeignet sind und demnach zugelassen werden sollten. Entscheidend für

⁴⁰ <https://biodieselmagazine.com/articles/586737/price-gap-between-diesel-biodiesel-widens-in-germany>

⁴¹ https://www.biomassesuisse.ch/files/biomasse_temp/data/biomasse/2014-01-15_Inputliste_BLW.pdf

eine Zulassung in Vergärungsanlagen ist aber jeweils die Betriebsbewilligung 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 Liste⁴², die regelt, welche Stoffe für die Mineralölsteuer-Erleichterung als biogene Abfälle oder Produktionsrückstände gelten.

4.5.4.4 *Beurteilung*

Glyzerin 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 Glyzerin (und anderen energiereichen Substraten) so hoch, dass der Preis in einer gegenüber dem Biodiesel durchaus relevanten Grössenordnung liegt.

Im Vergleich aller in der Hintergrunddatenbank bilanzierten Glyzerin-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 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 substantiellen Anteil Glyzerin in der Anlage schwierig ist. Dies gilt insbesondere für den Einsatz von Glyzerin aus der Veresterung von Pflanzenölen.

Der VUE hat bei den bereits zertifizierten Anlagen geprüft, inwiefern Glyzerin als Substrat eine Rolle spielt. Glyzerin 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.

4.5.4.5 *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. Glyzerin ab Produktion (ohne Transporte) der einzelnen Anlage bezahlt werden. In der Praxis sind diese Informationen aber kaum verfügbar. Ausserdem stört aus Sicht der Zertifizierung die grosse Variabilität bei den Glyzerinpreisen. 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 tatsächlichen 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.

⁴² https://www.ezv.admin.ch/dam/ezv/de/dokumente/archiv/2016/08/positivliste_deroberzolldirektionstand01082016.pdf.download.pdf/positivliste_deroberzolldirektionstand01082016.pdf

Um den Aufwand vertretbar zu halten, wurden nur europäische Durchschnittsdaten gerechnet. Es wurde eine Allokation gemäss durchschnittlichen Marktpreisen für Rohglyzerin und Methylester 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.

4.5.5 Prüfung für Direkteinspeisung von Biogas

Erweiterung im April 2018

Das Kennwertmodell wurde für die Beurteilung der direkten 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 Direkteinspeisung 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/Nm³ liegen. Somit ist sichergestellt, dass keinerlei Probleme für den Einsatz in Erdgasfahrzeugen oder sonstigen Anwendungen entstehen.

Fall 2: Einspeisung von Biogas in ein Arealnetz, an dem wenige Verbraucher angeschlossen sind: 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. H₂O und S Entfernung
2. CO₂ 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/m³) 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 «MainInput»: "Verkauf und Verbrauch ausserhalb der Anlage (7.4 kWh Ho/m³)" wurde eingefügt.
- Zusätzliche Zeilen für dieses Produkt wurden im Blatt «EPD» 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 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.
- Das Modell für Biomethan-Nutzung und Holzenergieanlagen wurde für die Direkteinspeisung von Biogas noch nicht angepasst, da es im Moment keine entsprechende Nachfrage gibt.

4.5.6 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 (m³). 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 „Substrates“
 - 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.
 - Biogene Rest- und Abfallstoffe 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. Holzschnittel.*
- Wasserverbrauch (m³) 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.⁴³ 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 oder erneuerbar) (kWh) 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_x (mg/Nm³, umgerechnet auf 5% O₂ Gehalt im Abgas)⁴⁴
- **Energieprodukte**
 - Nettostromerzeugung ohne Eigenverbrauch der Gesamtanlage (kWh). Wichtig ist, wie viel Strom von der Anlage an einen Netzbetreiber abgegeben wird und welche Menge ausserhalb der Systemgrenzen der Biogasanlage genutzt wird. Als Berechnungshilfe kann dieser Wert auch mit der Bruttostromerzeugung und dem Eigenverbrauch abgeschätzt werden.
 - 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 eingespeist (kWh Ho).
 - Biogas in ein Erdgasnetz eingespeist (kWh Ho).
- **Biogas-Verluste (kWh).** Verluste aus Betriebsunterbrüchen Methanschluß der Biogaserzeugung und Biomethanaufbereitung.⁴⁵
- **Art und Menge der Behandlung von festen Gärresten (Auswahl).** Diese hat Einfluss auf die direkten Emissionen
 - Keine Behandlung

⁴³ 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 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).

⁴⁴ Bei den NO_x Emissionen muss immer der Wert der Anlage eingetragen werden (unabhängig davon, ob es ein BHKW ist). Der Trick, dort einfach 0.00000001 einzugeben, ist nicht zulässig.

⁴⁵ Gemäss einer Erhebung beträgt der durchschnittliche Biomethan-Verlust bei der Aufbereitung in der Schweiz 2.6% (Baier 2008).

- offene Kompostierung, Miete bzw. Nachrotte, Feldlagerung⁴⁶ für kurze Zeit
- Rottetrommel bzw. Drehtrommel, geheizt⁴⁷
- geschlossene Kompostierung und Lagerung mit Biofilter
- Entwässerung, Faulschlamm 27% TS (gegebenenfalls auf diesen TS umrechnen und als Frischmasse eingeben)
- Art und Menge der Behandlung von flüssigen Gärresten⁴⁸ (Auswahl)
 - Offenes Gärrestlager/Nachgärung⁴⁹. Prüfung nicht möglich, da in der Schweiz nicht erlaubt.
 - Geschlossenes Gärrestlager/Nachgärung mit Gasnutzung
 - Nährstoffaufbereitung (Ultrafiltration/Umkehrosmose)
- Art und Menge der Verwendung von festen Gärresten⁵⁰ (Auswahl und Menge), Finanzieller Ertrag bzw. Aufwand für das Gärrest (Währung)
 - Kompost, Gartenbau
 - Landwirtschaft, Mistzetter
 - Verbrennung, Zementwerk, 92% TS (Referenz falls Einnahme für Brennstoff)
 - Verbrennung, KVA, 27% TS (Umweltbelastung immer der Anlage angerechnet)
- Art und Menge der Gärrestverwendung, flüssig (Auswahl und Menge), Finanzieller Ertrag bzw. Aufwand für das Gärrest (Währung)
 - Landwirtschaft, Güllefass⁵¹
 - Landwirtschaft, Schleppschlauch
 - Landwirtschaft, Einspritzung, Schleppschuh
 - Landwirtschaft, Einspritzung, Cultan (Impfen)
 - Kläranlage, Rückführung des flüssigen Gärrestes
 - Kommunale Kläranlage⁵²
- 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

⁴⁶ Die Zwischenlagerung von Mist auf dem Feld (Lagerung ausserhalb des befestigten Mistlagers von mind. 6 Monaten) ist wegen der generellen Gefahr einer Gewässerverunreinigung durch Abschwemmung oder Versickerung grundsätzlich nicht erlaubt. Aus Gründen des Betriebsablaufs, kann sie jedoch für kurze Zeit, bis zum Verteilen des Mistes, (normalerweise im Frühling) auf der düngbaren Nutzfläche erfolgen, wenn dadurch keine konkrete Gefahr einer Gewässerverschmutzung entsteht. Vollzugshilfe „Nährstoffe und Verwendung von Dünger in der Landwirtschaft“ vom BAFU. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/naehrstoffe-verwendung-duengern-landwirtschaft.html>

⁴⁷ Technik scheinbar kaum im Einsatz und keine aktuellen Daten verfügbar in 2023

⁴⁸ Abwässer, Gärgülle und flüssiges Gärgut werden hier erfasst.

⁴⁹ Ab Ende 2024 müssen alle Gülle- und Gärgutlager in der Schweiz abgedeckt sein, um die Stickstoffemissionen zu minimieren. Zürich verlangt von den gewerblichen Anlagen, dass sie vor Ort 6 Monate Lagerdauer mit einer abgedeckten Lagergrube erlauben. Ökostrom Schweiz promotet eine gasdichte Nachgärung und kann die entsprechenden CO₂-Zertifikate verkaufen (BAFU abgesichert). https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/oeologischer-leistungsnachweis/vollzugshilfe_umweltschutz_in_der_landwirtschaft.html

⁵⁰ Faulschlamm, Gärgut fest (Grüngut) und Gärmist (Landwirtschaft) werden hierunter erfasst.

⁵¹ Nur in Ausnahmefällen möglich in Bergzonen und steilem Gelände wo Druckfässer noch angewendet werden dürfen. Deshalb Warnhinweis im KWM.

⁵² Nur gewerbliche flüssige Gärreste können zur Nachreinigung in eine ARA geführt werden. Bei Gärgüllen ist das ausgeschlossen.

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.

4.5.7 Hinweise zur Auswahl der Substrate

Unter Umständen kann nicht jedes Substrat in der vorgegebenen Liste einfach zugeordnet werden. Folgende Hinweise sollten bei der Eingabe beachtet werden

Eingekaufte Substrate:

Wenn für das Substrat bezahlt wird, ist relevant welche Ökobilanzdaten im Hintergrund verbucht werden. Das Substrat ist dann am ehesten dort einzutragen, wo das Ausgangsmaterial für das Substrat ähnlich ist. Gruppen von Ausgangsmaterialien sind z.B. Gras, Ackerbauprodukte, Früchte, Gemüse, Ölpflanzen, Milch, Fleisch.

Substrate für deren Behandlung eine Gebühr erhoben wird:

Wenn für das Substrat eine Gebühr erhoben wird, ist es nicht so relevant, wo es eingetragen wird. Es muss ungefähr vom Gasertrag, d.h. TS Gehalt etc. passen.

Wenn eine Erfassung trotzdem nicht möglich ist, oder es grosse Abweichungen beim Gasertrag gibt können Substrate auch neu erfasst werden. Dabei braucht es verschiedene Angaben, um den Gasertrag und Emissionen zu berechnen.

Neuerfassung von Substraten:

Für die Neuerfassung von Substraten müssen folgende Angaben zur Verfügung gestellt werden. Alle Angaben können evtl. als Mittelwert oder mit Angabe der Minimal und Maximalwerte erfolgen. Die bisherigen Werte wurden vom VUE erhoben⁵³:

- Bezeichnung (de, eg, fr) und Ausgangsmaterial
- Trockensubstanzgehalt (TS) in % von Frischsubstanz (FS)
- Organische Substanz (OS) in % von TS

⁵³ Angaben durch Arthur Wellinger.

- Stickstoff total (N_{tot}) in % von TS
- Anteil NH₄ an N_{tot} in %
- Biogas Ertrag (BG Yield) in m³/tOS
- Methan Gehalt in %

Neuerfassung für Mist und Gülle aus Tierhaltung:

Für die Neuerfassung von Substraten aus der Tierhaltung müssen folgende zusätzlich zu den obigen Angaben zur Verfügung gestellt werden. Alle Angaben können evtl. als Mittelwert oder mit Angabe der Minimal und Maximalwerte erfolgen. Die bisherigen Werte wurden vom VUE erhoben⁵⁴:

- GVE Faktor
- Gülle (m³/Stück)
- Mist (t/Stück)
- m³ CH₄/ m³ Gülle
- m³ CH₄/ t Mist

Auf Grundlage dieser Angaben wird im Model der theoretische Gasertrag berechnet und mit dem tatsächlichen Gasertrag verglichen. Wenn es hier grosse Abweichungen im Gesamtwert gibt, gibt es eine Warnmeldung. Für die Berechnung im KWM ist aber der reale Gasertrag massgeblich.

Ausserdem werden auf Grundlage dieser Eingaben auch Emissionen z.B. von Ammoniak berechnet.

4.5.8 Annahmen zu Sachbilanzen

Überarbeitung im Frühjahr 2021

Folgende Standardannahmen werden bei der Auswahl der Hintergrunddaten getroffen (ESU-services 2024b):

- Das Modell wird 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 modelliert (Siehe Kapitel A.2). 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.

⁵⁴ Angaben durch Arthur Wellinger.

4.6 Wärmepumpen und Kältemaschinen

4.6.1 Anlagentypen

Für Wärmepumpen und Kältemaschinen gibt es eine Reihe von möglichen Anlagentypen. Diese unterscheiden sich hinsichtlich folgender Merkmale:

- Leistung (Wärme bzw. Kälte)
- Art des Kältemittels
- Sekundärkreislauf (evtl. Verteilnetz) mit Wärmeträger (z.B. Zusätze von Glykol im Kältenetzmedium).
- Wärmeniveau: Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, etc.
- Wärmequelle bei Wärmepumpen, z.B. Erdwärme, Abwärme in Luft oder Wasser, Umgebungswärme in Luft oder Wasser
- Nutzung einer Zwischenspeicherung der Wärme z.B. in einem Solarspeicher
- Energiequelle (Strom, Biomethanmotor)

Theoretisch scheint es eine Vielzahl von möglichen Anlagen und Unterscheidungsmerkmalen zu geben. Der Haupteinfluss liegt aber beim Strom- bzw. Gasverbrauch und damit der Anlagen-Jahresarbeitszahl und weniger bei der Art der Wärmepumpe oder dem eingesetzten Kältemittel. Der Stromverbrauch ist stark von den Temperaturniveaus (Eingangstemperatur und Nutztemperatur) abhängig.

4.6.2 Auswertungen

Zunächst wurden für diese Arbeit bereits vorhandene Ökobilanzen ausgewertet (Faist Emmenegger & Frischknecht 2005; Frischknecht 1999b; Heck 2007; Primas 2007).

In einer Studie wurde eine Wärmepumpe zur Abwärmenutzung aus Rohabwasser analysiert (Faist Emmenegger & Frischknecht 2005). Die Studie wertet die Ergebnisse mit dem Eco-indicator 99 aus. Untersucht werden Wärmepumpen mit Propan und R134a als Kältemittel. Demnach sind die Füllmenge des Kältemittels, Kältemittelverluste und der Stromverbrauch wichtige Kenngrößen für die Gesamtbilanz. Der Stromverbrauch wird über die Anlagen-Jahresarbeitszahl bestimmt. Diese hängt von der Technologie sowie der Eingangs- und Ausgangstemperatur ab.

In der Datenbank (ESU-services 2024b) werden eine Reihe von Wärmepumpensystemen bilanziert. In der folgenden Tab. 4.6 werden wichtige Informationen gezeigt. Die Sachbilanzdaten wurden mit verschiedenen Bewertungsmethoden ausgewertet, um wichtige Kenngrößen zu bestimmen.

Die dort bilanzierten Anlagen sind klein und eher für die Versorgung von Einzel- oder Mehrfamilienhäusern dimensioniert. Für die Zertifizierung kommen hingegen deutlich grössere Anlagen in Frage, welche die Wärme in ein Verbundnetz liefern. Grössere Anlagen benötigen bezogen auf die Leistung eher weniger Material. D.h. die Infrastruktur wird im Modell eher überschätzt, was auf Grund der geringen Bedeutung in der Bewertung aber nicht besonders ergebnisrelevant ist.

Tab. 4.6 Übersicht zu den bilanzierten Anlagen und wichtige Kenngrössen

Technik	Energie	Kältemittel	Grösse (kW)	Wichtige Kenngrössen
Luft-Wasser	Strom	R134a	10	Strom, Kältemittel
Abwärmenutzung	Strom	R134a	30	Strom
Diffusion-Absorption	Biomethan, Strom	NH ₃	4	Biomethan, Anlage, Strom, NOx
Erdwärmesonde, Sole-Wasser	Strom	R134a	10	Strom, Anlage

Eine Bilanz für Wärmepumpen untersucht Einzelanlagen für Ein- und Mehrfamilienhäuser, die nicht für die Fernwärmeversorgung konzipiert sind (Frischknecht 1999b). Bei Verwendung von naturremade Strom sind die Umweltbelastungen deutlich geringer und die Unterschiede zwischen den Anlagen damit ausgeprägter (siehe Fig. 3.4). Die Umweltbelastungen stammen bei diesem Strommix zu einem wichtigen Anteil aus der Infrastruktur. Bei diesem Vergleich schneiden Anlagen mit Solewasser eher schlechter ab, da der Bau der Infrastruktur und insbesondere das Bohrloch relativ aufwändig ist. Ferner wurde in dieser Studie die Lebensdauer der Erdsonde derjenigen der Wärmepumpe gleichgesetzt, obwohl die Erdsonde bei einem Ersatz der Wärmepumpe nochmals genutzt werden könnte. Der kleinere Stromverbrauch hat im Vergleich zu Luftwärmepumpen auf Grund dessen geringer Belastung nur wenig Bedeutung.

4.6.3 Systemgrenzen der Eingaben im KWM

Grundsätzlich werden ähnliche Systemgrenzen wie für die anderen Anlagentypen verwendet. Die Systemgrenzen entsprechen der Definition der Anlagen-Jahresarbeitszahl gemäss Fig. 4.7. Das Modell ist aus Sicht des Anlagenbetreibers für alle Systemteile auszufüllen, die direkt mit der Wärmepumpe zusammenhängen. Dazu gehören z.B. Füllmengen mit Kältemittel, die Speicheranlage, Stromverbrauch für die Wärmepumpe und evtl. Hilfsstromverbrauch z.B. für Beleuchtung.

Für das bilanzierte System werden Anlagenteile, die nicht direkt mit der Anlage zusammenhängen, nicht erfasst.

Als Wärme- bzw. Kälteproduktion wird die direkte Abgabe bzw. Abgabe ab Speicher eingegeben. Verluste im Wärme- bzw. Kälteverteilnetz bis zum Übergabepunkt werden berücksichtigt. Verluste beim Nutzer nach dem Übergabepunkt werden nicht berücksichtigt.

Für alle Wärmepumpen wird bei der Infrastruktur eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen. Ausnahme sind die Bohrungen für Erdsonden, die über 50 Jahre genutzt werden.

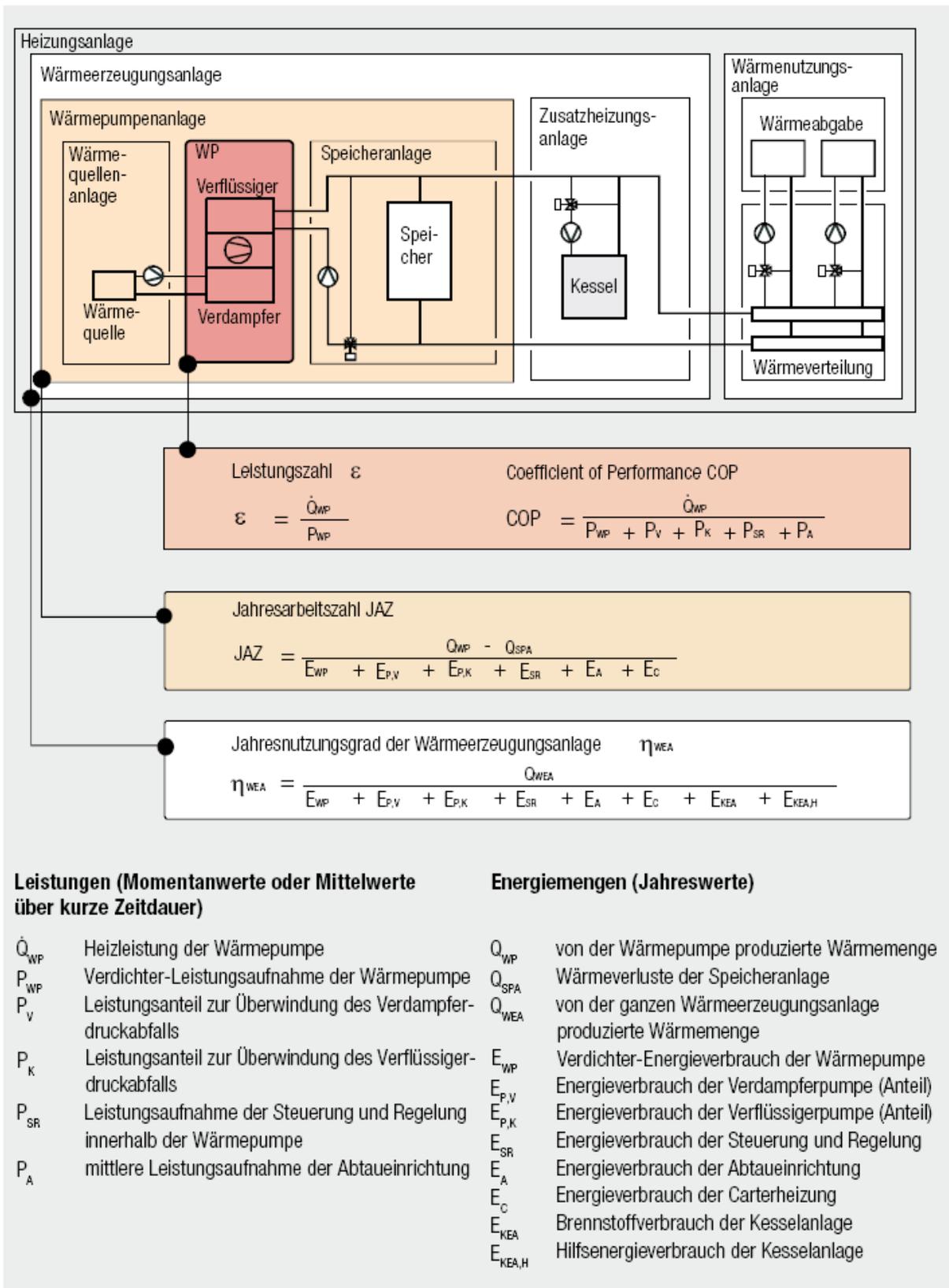


Fig. 4.7 Systemgrenzen und Kennzahlen von Wärmepumpen (Kunz et al. 2008)

4.6.4 Systemgrenzen bivalente Wärmeerzeugung mit integrierter Spitzenlastheizung

In Fall einer bivalenten Wärmeerzeugung mit integrierter Spitzenlastheizung wird diese Heizung im Kennwertmodell für die Wärmepumpe berücksichtigt. Als bivalente Wärmeerzeugungen mit Spitzenlastheizung gelten Anlagen, bei welchen die Spitzenlastdeckung räumlich, prozess- und messtechnisch in die zu zertifizierende Wärmeerzeugungsanlage integriert ist. Bei solchen Anlagen bilden beide Heizungssysteme (z.B. Wärmepumpe und Gaskessel) eine Energiezentrale und die Einspeisung ins Wärmenetz erfolgt über einen Einspeisepunkt (resp. Messpunkt).

Diese Methodik stimmt nicht mit derjenigen bei Strom- und Biogaserzeugungsanlagen überein, wo zum Netz-Lastausgleich erforderliche Anlagen nicht eingerechnet werden. Anders als bei Strom und Gas werden Wärmenetze jedoch von Betreibern und Verbrauchern als räumliche Einheit und in sich geschlossenes System betrachtet. Entsprechend werden Spitzenlastkessel auch als Teil einer Wärmepumpe wahrgenommen. Zudem gehören thermische Netze – im Gegensatz zu Strom- und Gasnetzen – in der Regel gesamthaft einem Betreiber, wodurch dieser einen direkten Handlungsspielraum bei der Gesamtinfrastruktur des Netzes hat.

Im KWM wird zwischen den folgenden Spitzenlast-Energieträgern unterschieden: Heizöl, Erdgas, erneuerbare Gase naturemade star zertifiziertes Biogas bzw. Holzheizung. Dieselbe Betrachtung wird auch bei der Bestimmung der Netto-Energie angewendet: Spitzenlastdeckung mit fossilen Energieträgern ist bei der Berechnung der Netto-Energie abzuziehen, eine Deckung durch naturemade star zertifiziertes Biogas ist nicht in Abzug zu bringen.

4.6.5 Kenngrößen

Das Erzeugen von Wärme und Kälte mittels Kompressoren oder anderen Erzeugungsarten wird in einem Kennwertmodell beurteilt. Für ein Erreichen des Grenzwertes ist in der Regel die Anlagen-Jahresarbeitszahl und der eingesetzte Strommix entscheidend. Das Kennwertmodell fragt folgende Kenngrößen ab:

- Wärmequelle und Grundtyp der Anlage, Abfrage ob Kälteleistung grösser 400 kW (Auswahl)
- Wärmeleistung (kW) der Anlage gemäss Anlagenspezifikation. Die Leistung dient zur Skalierung der baulichen Aufwendungen je Anlagentyp.
- Stromverbrauch und Mix der *naturemade star* Energieprodukte (kWh).
- Biomethanverbrauch für Diffusions-Absorptions-Wärmepumpen (kWh). Berechnung der Verbrennungsemissionen.
- Spitzenlastheizung für bivalente Anlagen
- Art des natürlichen Kältemittels, Kältemittelfüllmenge (kg). Für die Zertifizierung werden natürliche Kältemittel zugelassen (NH₃, CO₂, Propan, n-Butan, Isobutan, kältemittelfrei).
- Glykol im Sekundärkreislauf wird mit der Füllmenge eingegeben.
- Kältemittelverluste müssen eingegeben werden. Sind diese nicht bekannt muss Standardwert von 8% jährlicher Verlust eingegeben werden. Vorhandene eigene Messwerte können in das Modell eingegeben werden.
- Verkauf von Wärme und Kälte (kWh). Dabei wird der Eigenverbrauch von Wärme zur Beheizung des Betriebsgebäudes in Abzug gebracht.

4.6.6 Spezifische Kriterien

Gemäss bisherigen Auswertungen werden Wärmepumpen in der Regel das globale Kriterium relativ einfach erreichen. Dies ist auch möglich, wenn sie bezüglich Anlagen-Jahresarbeitszahl nicht dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. In Tab. 4.7 werden die Vorgaben des Minergiestandards gezeigt (Verein MINERGIE 2008). Diese wurden in der Diskussion als zu wenig streng erachtet. Auf die Definition eines spezifischen Kriteriums zur JAZ wird vorerst verzichtet.

In den spezifischen Kriterien für Wärmepumpe/Kältemaschine wird zusätzlich geregelt, dass nur natürliche Kältemittel eingesetzt werden dürfen.

Tab. 4.7 Minergie Standardwerte für Anlagen JAZ von Wärmepumpen für Heizung (links) und Warmwasser (rechts)

JAZ von Wärmepumpen	TVL ≤ 45 °C	
Aussenluft monovalent	2.30	2.30
Erdsonden	3.10	2.70
Erdregister	2.90	2.70
Abwasser, indirekt	abhängig von Anlage 2)	abhängig von Anlage 2)
Oberflächengewässer, indirekt	2.70	2.80
Grundwasser, indirekt	2.70	2.70
Grundwasser, direkt	3.20	2.90

4.7 Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA)

Die Beschreibung wurde grösstenteils aus (Tschümperlin & Frischknecht 2017) übernommen.

4.7.1 Einführung

Das Kennwertmodell (KWM) für Kehrlichtverbrennungsanlagen baut auf den wesentlichen resultatbestimmenden Parametern aus den Ökobilanzen auf (Tschümperlin & Frischknecht 2017) und dient als Grundlage für die Zertifizierung einer Anlage nach den Vorgaben des Labels „naturemade resources star“. Durch eine Zertifizierung der Anlage kann eine KVA die eigene „ökologische Leistung“ belegen. Eine „naturemade resources star“ Zertifizierung ermöglicht der KVA zudem die produzierte Energie und die rückgewonnenen Stoffe unter dem Label zu verkaufen.

4.7.2 Resultatbestimmende Parameter

Aus den Ökobilanzergebnissen ergeben sich folgende resultatbestimmende Parameter, die vom Anlagenbetreiber für den durchschnittlichen Anlagenbetrieb pro Jahr erhoben und im Kennwertmodell eingegeben werden müssen:

Anlagentyp: Es wird unterschieden zwischen nasser und trockener Rauchgasreinigung. Bei der nassen Rauchgasreinigung fällt zusätzlich ein Wäscherschlamm an, dessen Deponierung (Schlackekompartiment) in der Umweltdeklaration berücksichtigt wird. Bei der trockenen Rauchgasreinigung hingegen entstehen Gewebefilter-Rückstände, deren zu deponierende Menge als zusätzlicher Parameter im Eingabebblatt abgefragt wird. Weiter wird zwischen dem SCR low dust, dem SCR high dust und dem SNCR DeNOx Verfahren unterschieden. Beim SCR high dust Verfahren wird mehr von den Hilfsstoffen Titandioxid, Chromoxid und Chrom aber dafür kein Erdgas benötigt. Beim SNCR Verfahren werden keine zusätzlichen Hilfsmittel eingesetzt. Dafür entstehen höhere Emissionen an Methan, Lachgas, flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sowie an aromatischen Kohlenwasserstoffen wie Benzol und Toluol.

Bezugsmenge: Alle Parameterangaben beziehen sich auf ein Jahr und sind abhängig von der Menge Abfall (in Tonnen), die während diesem Jahr verbrannt wurde.

Abfallimport aus dem Ausland: Dabei interessiert die importierte Menge an Abfall sowie dessen Transportmittel und durchschnittliche Transportdistanz. Da ausländische Abfälle eine Genehmigung zur grenzüberschreitenden Verbringung benötigen, ist der genaue Abgeber immer bekannt und entsprechende Informationen können geliefert werden⁵⁵.

Hilfsstoffe: Bei Natronlauge, Natron, Ammoniak, Salzsäure, FeCl₃ und anderen organischen (zB. TMT) oder anorganischen Chemikalien muss nebst der Menge (Tonnen pro Jahr) die Konzentration angegeben werden, auf welche sich die Mengenangabe bezieht. Für Calciumoxid, Kalkhydrat, Salzsäure und Herdofenkoks als Adsorbensmittel ist die Menge in Tonnen pro Jahr ausreichend, da diese nicht als Lösungen eingesetzt werden. Propangas, Heizöl und Wasser werden in Liter pro Jahr, Erdgas in m³ pro Jahr und falls auch extern Strom bezogen wird, Strom ab Netz in kWh pro Jahr abgefragt. Da nicht alle Anlagen dieselben Hilfsmittel einsetzen, müssen weitere Chemikalien unter dem Sammelbegriff organische oder anorganische Chemikalien aufgeführt werden.

Luftschadstoff-Emissionen: Bei den Emissionen werden die Anlage spezifischen Jahresfrachten für PM10, SO₂, NO_x, NH₃ und Zn in kg verlangt. Dies sind die direkten Emissionen, welche sich am stärksten auf die Umweltbelastung der Anlage auswirken und bis auf Zink von den Anlagebetreibern regelmässig gemessen werden. Falls eine Anlage keine Zinkemissionen erfasst, wird automatisch mit den Zinkemissionen einer durchschnittlichen KVA gemäss Doka gerechnet (Doka 2015). Dasselbe gilt, wenn eine Anlage die PM10 Grenzwerteinhaltung nur indirekt misst.

Die fossilen CO₂-Emissionen, welche unter den Emissionen am meisten zur Umweltbelastung einer KVA beitragen, werden weiterhin mit einem Durchschnittswert quantifiziert, da CO₂ Emissionen von Anlagebetreibern selten gemessen werden und diese auch sehr stark von der Abfallzusammensetzung (Anteil biogener Abfall) abhängen. Da das KWM von der gleichen Abfallzusammensetzung und damit auch dem gleichen biogenen Anteil im Abfall für alle KVA ausgeht, ist es gerechtfertigt, für fossiles CO₂ einen Durchschnittswert zu hinterlegen.

Energierückgewinnung: Hier interessiert die Menge an verkauftem Strom und verkaufter Wärme in kWh pro Jahr. Dazu gehört auch verkaufte Wärme in Form von Dampf und Strom in Form von Regelenergie.

Bei der Energierückgewinnung muss zudem angegeben werden, ob die Anlage einen KEV Beitrag für den Strom aus dem erneuerbaren Anteil des Abfalls erhält. Wenn eine Anlage KEV bezieht, wird sie für den erneuerbaren Stromanteil, welcher die Hälfte des gesamten produzierten Stroms ausmacht, entschädigt. Damit kann sie diesen Stromanteil nicht mehr unter dem Label „naturemade resources star“ verkaufen. Falls nun eine Anlage den restlichen Strom, bzw. den nicht erneuerbaren Stromanteil unter dem Label verkaufen möchte, muss die Anlage ohne erneuerbare Stromproduktion den Prüfwert ebenfalls einhalten. Der erneuerbare Stromanteil wird durch die KEV der Anlage sozusagen entzogen.

Dabei reduziert sich die Abfallmenge um den Anteil der benötigt wird, um die Hälfte des Stroms zu produzieren. Dieser Anteil lässt sich über den totalen Heizwert des Abfalls berechnen. Aufgrund des Wirkungsgrades von Strom braucht es drei kWh thermische Energie um ein kWh Strom zu produzieren, während dem aus einem MJ thermischer Energie des Abfallinputs auch ein MJ Wärme nach dem Verbrennungsprozess entsteht. Der totale Heizwert des Abfalls bildet sich demzufolge aus der Summe der produzierten Wärme und der dreifachen Menge an produziertem Strom. Aufgrund der reduzierten Abfallmenge (um den Anteil, der für die erneuerbare Stromproduktion benötigt wird),

⁵⁵ Persönliche Mitteilung, Alfred Rudin, 14.10.2015

reduzieren sich auch die benötigten Mengen an Hilfsstoffen, die anfallenden Emissionen und die Rückgewinnungsmengen an Metallen um genau denselben Anteil. Die produzierte Menge an Wärme (fossil und erneuerbar) bleibt jedoch gleich. All diese Änderungen in den Stoffmengen, aufgrund der Betrachtung der Anlage ohne erneuerbare Stromproduktion, führen zu einer neuen absoluten Umweltbelastung der Anlage und einem neuen Prüfwert, den es einzuhalten gilt.

Gemäss Doka (2015) beträgt der biogene Anteil von durchschnittlichem Siedlungsabfall rund 60 % und der fossile Anteil rund 40 %. Da nur der biogene Anteil des Abfalls erneuerbaren Strom produziert und in der Bilanz wegfällt, steigt der fossile Anteil im übrigen Abfall, was zu gleich hohen fossilen CO₂ Emissionen führt.

Metallrückgewinnung: Falls die Menge an Eisen, Kupfer, Aluminium, Edelstahl und Gold in Tonnen pro Jahr, welche insgesamt aus der Schlacke zurückgewonnen werden, bekannt sind, sollten diese angegeben werden. Oft jedoch erfassen die Deponiebetreiber, welche die Schlacke entfrachten, nur die Eisen- und Nichteisenmetall-Menge. In diesem Fall wird die ungefähre Menge an Aluminium, Kupfer und Edelstahl mit Hilfe der durchschnittlichen Entfrachtungsmengen in Siedlungsabfall gemäss Boesch et al. (2013) ermittelt.

Im KWM wurden hierzu Konstanten eingegeben, mit denen die Mengenangaben in das Äquivalent der jeweiligen Grenzwert-Einheit umgerechnet werden können. So kann z.B., mit dem rückgewonnen Aluminium effektiv zu 97% Primäraluminium ersetzt werden kann. Bei den Nichteisenmetallen wird mit einem hohen Aluminiumanteil gerechnet, wodurch damit zu 75.7% Primäraluminium ersetzt werden kann.

Es werden explizit nur die Metalle abgefragt, welche aus der Schlacke zurückgewonnen werden, da Anlagebetreiber, bei einer Behandlung der Flugasche oft nicht wissen wie viel Zink und Blei aus der Flugasche ihrer Anlage entfrachtet wird. Deshalb werden die zurückgewonnenen Blei- und Zinkmengen aus der Behandlungsart der Flugasche errechnet. Die Mengen an Blei und Zink pro kg Flugasche, die durch eine FLUWA oder ein FLUREC zurückgewonnen werden können, basieren auf den Angaben von Boesch et al. (2013) und sind dementsprechend für alle Anlagen gleich gross.

Im Kennwertmodell werden die Eingabewerte in Grenzwerte pro Metall umgerechnet. Dabei wird berechnet, welche Mengen Primärmetall mit den rückgewonnenen Metallmengen ersetzt werden können. Bei KVA, die KEV beziehen, wird im Modell die Abfallmenge um den Anteil reduziert, mit welchem der erneuerbare Strom produziert wurde (siehe Absatz "Energierückgewinnung" oben). Diese Korrektur wird auch bei der Berechnung der Grenzwerte der rückgewonnenen Metalle angewendet. Dazu werden im Modell bei den KVA, die KEV beziehen, auch die Grenzwerte der Wertstoffrückgewinnung um denselben Anteil reduziert (wie die Abfallmenge).

Behandlung der Flugasche: Die Behandlungsart der Flugasche und damit verbunden eventuell zurückgewonnene Metalle sowie die gewählte Deponieoption für die Ablagerung der Flugasche spielen eine wichtige Rolle bei der Quantifizierung der Umweltbelastung einer KVA. Die Schlacke wird in jedem Fall in einem Schlackekompartiment deponiert. Die Flugasche hingegen kann nur nach einer FLUWA oder FLUREC Behandlung auf einem Schlackekompartiment deponiert werden. Ansonsten wird sie entweder unter Beigabe von Zement verfestigt und auf einer Reststoffdeponie abgelagert oder sie kommt unbehandelt in eine Untertagedeponie. Da bei gewissen Kehrichtverbrennungsanlagen die Flugasche auf unterschiedliche Weise behandelt wird, sollen die prozentualen Anteile in die drei Deponietypen erfasst werden. Da gewisse Anlagen über eine interne FLUWA verfügen, muss noch zwischen intern und extern unterschieden werden. Im Falle einer internen FLUWA sind die benötigten Mengen an Betriebsmitteln schon in den Angaben zu den Hilfsstoffen enthalten und auch der Transport zu einer FLUWA Anlage entfällt.

Deponierung von Gewebefilter Rückständen: Solche Rückstände fallen nur bei einer trockenen Rauchgasreinigung an. Ein grosser Teil dieser Rückstände wird rezykliert. Deshalb interessiert hier nur die Menge in Tonnen pro Jahr, welche in einer Untertagedeponie abgelagert werden muss.

Im Blatt «MainInput» des Kennwertmodells für Kehrichtverbrennungsanlagen werden die anlage-spezifischen Informationen zu den Parametern eingegeben und die Ergebnisse gezeigt.

4.8 Strom als Input im Kennwertmodell

Update in 2023.

Im Kennwertmodell für Kälteanlagen und Wärmepumpen ist es notwendig den tatsächlich gekauften bzw. verwendeten Strommix und die darin enthaltenen *naturemade star* Energieprodukte anzugeben. Der Strommix ist entscheidend für die Bewertung. Zur Bilanzierung gibt es drei Möglichkeiten:

- Durchschnittsbilanz auf Grundlage des Schweizer Mixes für *naturemade star* Energieprodukte.
- Technologiespezifische Bilanz auf Grundlage des Anteils verschiedener Anlagentypen im gekauften Energiemix (Anteil Wasserkraft, PV, Biogas, etc.).
- Anlagenspezifische Bilanz auf Grundlage der Umweltdeklaration für alle Anlagen, die in das entsprechende Netz bzw. Energieprodukt einspeisen (nicht implementiert).

Der durchschnittliche *naturemade star* Verkaufsmix gemäss Tab. 4.8 setzt sich zu einem grossen Teil aus Wasserkraft zusammen. Es ist zu beachten, dass sich die Anteile zertifizierter und verkaufter Erzeugungsarten deutlich unterscheiden können.

Tab. 4.8 Anteil der verkauften *naturemade star* Energieprodukte im Jahr 2022

Name	Location	Infrastru	Unit	electricity mix, naturemade star			GeneralComment
				CH	0	kWh	
Location							
InfrastructureProcess							
Unit							
product electricity mix, naturemade star	CH	0	kWh	1			
electricity, at cogen with biogas engine, sewage sludge, allocation naturemade	CH	0	kWh	0.13%	1	1.21	(1,1,1,1,3,1); statistic of sold energy products, share according to certified plants
electricity, at cogen with biogas engine, agriculture, allocation naturemade	CH	0	kWh	0.02%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of sold energy products, share according to certified plants
electricity, at cogen with biogas engine, biowaste, allocation naturemade	CH	0	kWh	0.55%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of sold energy products, share according to certified plants
electricity, at cogen 6400kWh, wood, emission control, allocation naturemade	CH	0	kWh	2.66%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of sold energy products, share according to certified plants
electricity, at cogen, fixed bed gasification, allocation naturemade	RER	0	kWh	0.22%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of sold energy products, share according to certified plants
electricity, production mix photovoltaic, at plant	CH	0	kWh	21.38%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of sold energy products
electricity, hydropower, at power plant	CH	0	kWh	59.55%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of sold energy products, share according to certified plants
electricity, drinking water power plant Guarda, at plant	CH	0	kWh	1.82%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of certified plants, incl. Waste water
electricity, at wind power plant	CH	0	kWh	13.68%	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); statistic of sold energy products

Für die Modellierung werden die Stromprodukte erfasst. Hinzu kommen die Aufwendungen für die Verteilung im Stromnetz bis auf Niederspannungsniveau. Die Stromverluste bis auf Ebene Niederspannung werden gemäss aktueller Daten bilanziert (Messmer & Frischknecht 2016). Im Kennwertmodell werden die Übertragungsverluste gemäss Tab. 4.9 berücksichtigt.

Tab. 4.9 Abschätzung der durchschnittlichen Stromverluste auf verschiedenen Netzebenen

Verlustrate im Stromnetz, Mittelspannung	3.78%
Verlustrate im Stromnetz, Niederspannung	9.42%

Die Stromverluste im Netz müssen mit einer entsprechenden Menge an Stromproduktion ausgeglichen werden.

Bei der Erzeugung von zertifizierten Stromprodukten werden HKN für die produzierte Nettoenergie-menge ausgestellt. Diese können mit dem Attribut *naturemade (star)* gekennzeichnet werden.

Im Leitfaden Stromkennzeichnung⁵⁶ findet sich auf Seite 20 folgende Bemerkung: "In der Stromkennzeichnung werden die Übertragungsverluste nicht ausgewiesen. Sie können aber trotzdem mit einer Herkunft belegt und z.B. im Geschäftsbericht ausgewiesen werden. Dazu ist die entsprechende Menge an Herkunftsnachweisen zu entwerfen mit dem Vermerk „Übertragungsverluste“.

Nur wenn die Übertragungsverluste auch mit Herkunftsnachweisen abgedeckt sind, darf im KWM Wärmepumpe die entsprechende Auswahl getroffen werden. Gibt es diesen Nachweis nicht, werden die Verluste mit dem ENTSO Strommix gerechnet.

Bei den anderen KWM wurde diese Spezifizierung bisher nicht eingefügt.

Bei einer Anwahl von Stromprodukten sind die folgenden Technologien möglich. Nach Möglichkeit sollten dabei die tatsächlich verwendeten Anteile der Stromprodukte berücksichtigt werden:

- *naturemade star* Mix
- Holz-WKK
- Holzvergasungs-WKK
- Biogas-WKK (Grüngut, Klärgas, Landwirtschaft)
- Wasserkraft
- Trinkwasserkraftwerk
- Windkraft
- Photovoltaik
- Sonstige (Abschätzung mit *naturemade star* Grenzwert).

Es werden nur Anlagen zur Zertifizierung zugelassen, bei denen Strom eingesetzt wird, der das globale Kriterium *naturemade star* für die Zertifizierung erfüllt. Falls der Strom nicht zertifiziert ist, muss das globale Kriterium mit den entsprechenden Kennwertmodellen überprüft werden.

Als dritte Möglichkeit wurde die Verwendung der Daten aus einer einzelnen Umweltdeklaration (Tab. 4.11) diskutiert. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass für alle zuliefernden Anlagen ein neues Kennwertmodell mit einer Berechnung für die Umweltdeklaration zur Verfügung steht. Auf diese Möglichkeit wurde nach einer Diskussion mit der Geschäftsstelle verzichtet.

Eine Auswahl des tatsächlichen Strommixes kann in einigen Fällen dazu führen, dass dieser umweltbelastender ist als der durchschnittliche Produktionsmix für *naturemade star* Produkte. Damit ist es aus Sicht der Bewertung im KWM ein Nachteil, die eher teureren Produkte wie z.B. Solarstrom zu verwenden und am günstigsten, einen möglichst hohen Wasserkraftanteil im Mix zu haben. Dies widerspricht dem Ziel des VUE einen möglichst hohen Anteil neuer erneuerbarer Stromprodukte zu verkaufen.

Das KWM soll es trotzdem ermöglichen, die Umweltbelastungen einer spezifischen Anlage möglichst genau zu berechnen. Deshalb wird für Wärmepumpen und Kältemaschinen der tatsächlich verwendete *naturemade star* Mix modelliert. Ein durchschnittlicher Mix wird entsprechend Tab. 4.8 vorgegeben.

Bei Multi-Output Prozessen wie z.B. der Holz-WKK werden die Umweltbelastungen gemäss dem *naturemade* Allokationsschema aufgeteilt (vgl. Kapitel 4.12.2).

⁵⁶ <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/933>

4.9 Gasaufbereitung und -verteilung

Die Aufbereitung von Holzgas und Biogas zu Biomethan (96-Vol%) wird auf Basis von früheren Sachbilanzdaten bilanziert (Jungbluth et al. 2007). Bilanziert wird in der Datenbank auch die Verteilung bis zur Tankstelle bzw. bis zum Endverbraucher. Die Daten wurden mit ReCiPe (H, A) ausgewertet (siehe auch Fig. 3.5 Umweltbelastungen der für den Grenzwert Methan (Erdgas 50%-Grenzwert, inkl. CO₂-Verbrennung), Bereitstellung von Erdgas und Biomethan in der Schweiz (ReCiPe (H,A) Millipunkte pro kWh), ESU-services 2024b.). 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.

4.10 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). Bei allen Systemen ist der Stromverbrauch im Netz und die Infrastruktur wichtig.

Im Vergleich zur Wärmeerzeugung trägt der Ferntransport allerdings bei allen Systemen nur wenig zur Umweltbelastung bei. Beim Referenzsystem Erdgas z.B. weniger als 1%. Relevant sind allerdings die Wärmeverluste im Netz.

Die 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. 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.

4.12 Umweltdeklaration für Energieprodukte

4.12.1 Eingaben

Mittels der Kennwertmodelle wird eine Umweltdeklaration (Environmental Product Declaration – EPD) für die Anlagen erstellt. Dafür werden in einem Blatt die Umweltbelastungen wie z.B. Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte, etc. für die Gesamtanlage und pro Produkteinheit berechnet. 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.

4.12.2 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 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 ReCiPe (H,A) Punkten haben, als der naturemade Grenzwert (siehe z.B. Strom aus Holz-WKK in Fig. 3.2). Ansatz 4 mit Marktpreisen entspricht am ehesten dem Vorgehen in der Hintergrunddatenbank wenn sehr unterschiedliche Produkte aus einem Prozess entstehen (Frischknecht et al. 2007a).

Es wurde entschieden, die Allokation der Gesamtbelastungen auf die einzelnen Produkte anhand der naturemade Grenzwerte durchzuführen. Dies entspricht Vorschlag 5 (siehe Tab. 4.10). 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.

Diese Werte können dann auch für andere naturemade KWM übernommen werden z.B. in einem Modell in dem verschiedene Einzelerzeugungsanlagen in einem KWM für ein Fernwärmenetz zusammengefasst werden.

Ein Beispiel zur Allokation für die Umweltdeklaration zeigt Tab. 4.10. 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 CO₂-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 Hintergrunddatenbank und die Ergebnisse sind nicht direkt vergleichbar. Im KWM Biogas wird zusätzlich auch die Ergebnisse bei einer Allokation gemäss der Kriterien ausgewiesen.

Tab. 4.10 Beispiel für die Umweltdeklaration einer Gesamtanlage und der Allokation auf ihre Produkte mit verschiedenen Indikatoren.

Umweltbelastung total	ReCiPe 2016, Hierarchist	Ef99-aggregated, Hierarchist	Treibhauseffekt 100a 2021	Bedarf nichterneuerbarer energetischer Ressourcen	Umweltbelastungspunkte 2021	Umweltfussabdruck v3.1	ReCiPe 2016, Hierarchist	Ef99-aggregated, Hierarchist	Treibhauseffekt 100a 2021	Bedarf nichterneuerbarer energetischer Ressourcen	Umweltbelastungspunkte 2021	Umweltfussabdruck v3.1
	Pt	Pt	kg	MJ	Pt	Pt						
KVA (inkl. direkte Emissionen)	834368	676165	41802587	3790877	48311063876	1540	91%	72%	93%	7%	88%	87%
Hilfsstoffe + importierte Energieträger	58726	176614	2653108	43303992	3853431312	167	6%	19%	6%	76%	7%	9%
Behandlung Flugasche (inkl. Deponie)	16704	49602	306364	1667678	926865470	35	2%	5%	1%	3%	2%	2%
Deponierung Bodenasche	9021	35307	310586	7066814	1853257550	33	1%	4%	1%	12%	3%	2%
Import von Abfall	1739	6179	59504	900977	111891128	5	0%	1%	0%	2%	0%	0%
Total	920559	943867	45132149	56730338	55056309336	1780	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Total							0%	0%	0%	0%	0%	0%
Grenzwert Wärme	97700 MWh	119721	446194	6262631	105910929	325	12%	34%	12%	108%	12%	15%
Grenzwert Strom	44043 MWh	102596	383186	5265417	90369864	288	10%	29%	10%	92%	11%	14%
Referenzwert Entsorgung	95089 t	758796	359305	40464231	-116288495	1297	74%	28%	76%	-118%	74%	61%
Referenzwert Sekundäraluminium	354 t	26413	70542	560872	10400399	51	3%	5%	1%	11%	1%	2%
Referenzwert Sekundärkupfer	18 t	2583	9806	383	11470	9	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Referenzwert Sekundärzink	0 t	-	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Referenzwert Sekundär-Edelstahl	0 t	-	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Referenzwert Eisenschrott	1448 t	17744	31296	576336	7716539	41	2%	2%	1%	8%	1%	2%
Referenzwert Sekundärzink	0 t	5	12	71	938	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Referenzwert Sekundärzinkkonzentrat	81 t	597	3063	9190	106281	88	0%	0%	0%	0%	0%	4%
Referenzwert Sekundärbleikonzentrat	17 t	84	715	1265	14626	24	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Summe, naturemade resources star Prüfwert		1'028'539	1'304'122	53'140'394	98'242'551	61'500'407'859	2'122	100%	100%	100%	100%	100%
Erfüllungsgrad globales Kriterium	Umweltbelastung tot	90%	72%	85%	58%	90%						
Umweltbelastung total												
Wärme	97700 MWh	1.09675	1.12452	53.7703	67.5883	65593.86						0.0021207
Strom	44043 MWh	2.08490	2.13769	102.2163	128.4842	124692.77						0.0040313

4.12.3 Umwelt-Indikatoren

Als Bewertungsindikatoren werden folgende Grössen für die Umweltdeklaration berechnet:⁵⁷

- Treibhausgasemissionen (CO₂-eq), (Faktoren 2021, IPCC 2021)
- nicht-erneuerbarer Energiebedarf (fossil, nuklear) (MJ-eq), (Frischknecht et al. 2007b)
- ReCiPe (H,A), (Huijbregts et al. 2017), Langzeit-Emissionen werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt.
- Europäischer Umweltfussabdruck (Europäische Environmental Footprint v3.1 Methode), Andreasi Bassi et al. 2023
- Umweltbelastungspunkte 2021, (BAFU 2021)
- Eco-indicator 99 (H,A), (Goedkoop & Spriensma 2000), Langzeit-Emissionen werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt.

In der Hintergrunddatenbank (ESU-services 2024b) 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 Daten teilweise auf die Einheit MJ umgerechnet werden.

4.12.4 Beispiel einer Umweltdeklaration im Kennwertmodell

Tab. 4.11 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 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%.

⁵⁷ Eine detaillierte Beschreibung der häufig genutzten Bewertungsmethoden für Umweltbelastungen steht auf <https://esu-services.ch/de/address/angebote/> zur Verfügung. In der englischsprachigen Version werden die Bewertungsmethoden für den Wasserfussabdruck genauer beschrieben.

Tab. 4.11 Fiktives Beispiel für die Umweltdeklaration einer im naturemade Kennwertmodell geprüften Anlage. Gezeigt wird die Allokation gemäss naturemade Prüfwerten

Biogas Plant		ReCiPe 2016,	EI99-	Treibhauseffekt	Bedarf	Umweltbelastung	Umweltfussab
		Hierarchist	aggregated,	100a 2021	nichterneuerbar	spunkte 2021	druck v3.1
		Pt	Pt	kg	er energetischer	Pt	Pt
					Ressourcen		
					MJ		
Infrastruktur		29'583	73'803	785'952	9'380'692	2'030'915'257	74
Fremdenergiebedarf		1'962	6'072	77'922	1'077'184	120'817'878	5
eingekaufte Substrate		8'116	50'224	228'545	2'477'677	1'113'936'199	30
direkte Emissionen (z.B. Güllelager, Nachrotte)		80'439	90'723	2'157'379	-	3'431'393'978	301
Transporte		27'276	94'792	968'410	14'919'482	1'749'411'491	75
Biogas Verluste		0	0	0	-	181	0
Biomethan: Verkauf und ausserhalb Verbrauch		-	-	-	-	-	-
Biogas: Verkauf und ausserhalb Verbrauch		3'335	8'621	138'926	1'303'377	190'999'513	7
Verbrennung		12'807	28'439	147'523	448'944	364'990'022	23
Gärreste Behandlung und Lagerung		86'012	346'913	121'670	303'396	1'974'401'168	331
Total		249'529	699'586	4'626'327	29'910'753	10'976'865'686	847
naturemade Prüfwert							
	Total						
	a						
Grenzwert Strom	2'474'129 kWh	11'593	44'481	596'132	10'665'534	731'551'107	33
Grenzwert Wärme	0 kWh	-	-	-	-	-	-
Grenzwert Biomethan	0 kWh	-	-	-	-	-	-
Grenzwert Biogas	68'587'972 kWh	159'069	623'253	8'533'372	153'328'073	10'349'971'686	441
Referenz, Entsorgung	HUF 1'442.32	4'061	7'172	116'996	694'452	225'905'018	14
Referenz, Güllelager	46'331 t FM	213	438	7'372	199'939	16'008'361	1
Referenz, Kompost	118'000 t FM	8'730	15'415	251'477	1'492'691	485'572'230	30
Referenz, Frischklärschlamm	0 t FM	-	-	-	-	-	-
Referenz, Abwasser, Papierfabrik	0 t FM	-	-	-	-	-	-
Referenz, Brennstoff, Zementwerk	1'000 t FM	-	-	-	-	-	-
Referenz, direkte Emissionen		22'631	32'824	331'714	-	610'472'036	61
Total		206'298	723'583	9'837'063	166'380'689	12'419'480'438	580
Erfüllungsgrad globales Kriterium		121%	97%	47%	18%	88%	146%
Biogas Plant							
		Pt	Pt	kg	MJ	Pt	Pt
Strom, kWh	2'474'129 kWh	0.0057	0.0174	0.1133	0.7750	261.3348	0.0000
Wärme, kWh	0 kWh	-	-	-	-	-	-
Biomethan, kWh	0 kWh	-	-	-	-	-	-
Biogas, kWh	68'587'972 kWh	0.0028	0.0088	0.0585	0.4019	133.3724	0.0000

4.12.5 Standardwerte konventioneller Systeme

Ein Vergleich der Umweltbelastungen aus der Umweltdeklaration mit den in der Schweizer Ökobilanz-Datenbank (z.B. KBOB et al. 2022) bilanzierten durchschnittlichen Systemen ist möglich. Es kann sich allerdings eine unterschiedliche Verteilung der Umweltbelastungen auf die einzelnen Produkte ergeben, wenn Daten aus der Datenbank für erneuerbarer Systeme zum Vergleich herangezogen werden. So trägt z.B. bei der Allokation gemäss naturemade Grenzwerten Strom aus Holz-WKK tendenziell einen höheren und die Wärme aus der gleichen WKK-Anlage einen tieferen Anteil der Umweltbelastung als bei einer Allokation nach Exergie.

4.12.6 Kompensationsberechnung und CO₂-Zertifikate

Die Berechnung von allgemeinen „Einsparungen“ oder „Kompensationen“ durch die Nutzung von naturemade (star)-zertifizierten Energieprodukten ist aus Ökobilanz-Sicht problematisch. Es wird hier davon abgeraten, solche Zahlen zu kommunizieren.

Im Einzelfall kann der Abnehmer der naturemade Produkte mit Hilfe der Umweltdeklaration (Tab. 4.11) 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 privatwirtschaftlich handelbaren CO₂-Einsparungen an den Kunden weiterverkauft

werden. In der Zertifizierung wird sichergestellt, dass vom Anlagenbetreiber keine zusätzlichen Einnahmen aus dem Verkauf von CO₂-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.

5 Literatur

- AGRIDEA 2022 AGRIDEA (2022) Deckungsbeiträge - Ausgabe 2022: Getreide, Hackfrüchte, übrige Ackerkulturen, Futterbau, Spezialkulturen, Tierhaltung. AGRIDEA, Schweiz.
- Andreas Bassi et al. 2023 Andreas Bassi S., Biganzoli F., Ferrara N., Amadei A., Valente A., Sala S. and Ardente F. (2023) Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. ISBN 978-92-76-99069-7, doi:10.2760/798894, JRC130796. EUR 31414 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- arabern 2008 arabern (2008) Technischer Bericht 2007. ara region bern ag, retrieved from: <https://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.
- BAFU 2021 BAFU (2021) Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit: Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <https://www.bafu.admin.ch/uw-2121-d>.
- Baier 2008 Baier U. (2008) Ökologische Aspekte der Biogasaufbereitung. ZHAW, Wädenswil.
- Baier et al. 2022 Baier U., Fuchs J., Galli U. and Schleiss K. (2022) Produkte aus Vergärung + Kompostierung: Qualitätsrichtlinie der Branche 2022. Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergäranlagen der Schweiz.
- Bartha-Pichler 2008 Bartha-Pichler B. (2008) Komposteinsatz lohnt sich - Kompost steigt im Wert. *In: compost magazine*, **2008**(1), pp. 8-9, retrieved from: <https://www.kompost.ch>.
- Blonk Agri-footprint BV 2017 Blonk Agri-footprint BV (2017) Agri-Footprint 4.0 - Part 2 - Description of data. Blonk Agri-footprint BV, Gouda, The Netherlands.
- Blonk Agri-footprint BV 2022 Blonk Agri-footprint BV (2022) Agri-Footprint - Part 1 - Methodology and basic principles. Part 2 - Description of data. Blonk Agri-footprint BV, Gouda, The Netherlands, retrieved from: <https://www.agri-footprint.com>.
- Boesch et al. 2013 Boesch M. E., Vadenbo C., Saner D., Huter C. and Hellweg S. (2013) Supplementary Material - "An LCA Model for Waste Incineration enhanced with New Technologies for Metal Recovery and Application to the Case of Switzerland".
- Bussa et al. 2023 Bussa M., Jungbluth N. and Meili C. (2023) Life cycle inventories for long-distance transport and distribution of natural gas. ESU-services Ltd. commissioned by ecoinvent, Schaffhausen, CH.
- Cuhls et al. 2015 Cuhls C., Mähl B. and Clemens J. (2015) Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. gewitra Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH, IM AUFTRAG DES UMWELTBUNDESAMTES, retrieved from: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-der-emissionssituation-bei-der>.
- 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: <https://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/> (login).
- Dinkel & Kägi 2022 Dinkel F. and Kägi T. (2022) Stoffflüsse landwirtschaftliche Biogasproduktion und Ökobilanz. Forschungs-, Entwicklungs- und Förderungsfonds der schweizerischen Gasindustrie (FOGA), Ökostrom Schweiz, Carbotech AG, Basel.
- Doka 2009 Doka G. (2009) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13, v2.1. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: <https://ecoinvent.org>.

- Doka 2015 Doka G. (2015) Life cycle inventories of municipal waste incineration with residual landfill & FLUWA filter ash treatment. Doka Life Cycle Assessments, Zurich, Switzerland. Commissioned by BAFU Bundesamt für Umwelt, Berne, retrieved from: <https://www.doka.ch/ecoinventMSWIupdateLCI2015>.
- 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: <https://www.energieforschung.ch>.
- Edelmann 2006 Edelmann W. (2006) Kennwertmodell Biogas mit Cosubstrat. Arbi Bioenergie GmbH, Baar.
- EPD 2021 EPD (2021) General Programme Instructions for the International EPD®System. Version 4.0, dated 2021-03-29. EPD International, retrieved from: <https://environdec.com/about-us/the-international-epd-system-about-the-system>.
- ESU-services 2024a ESU-services (2024a) ESU World Food LCA Database - LCI for food production and consumption (ed. Jungbluth N., Meili C., Bussa M., Ulrich M., Solin S., Muir K., Malinverno N., Eberhart M., Annaheim J., Keller R., Eggenberger S., König A., Doublet G., Flury K., Büsser S., Stucki M., Schori S., Itten R., Leuenberger M. and Steiner R.). ESU-services Ltd., Schaffhausen, CH, retrieved from: <https://www.esu-services.ch/data/fooddata/>.
- ESU-services 2024b ESU-services (2024b) The ESU background database based on UVEK-LCI DQRv2:2018. ESU-services Ltd., Schaffhausen, retrieved from: <https://www.esu-services.ch/data/database/>.
- European Aluminium Association 2018 European Aluminium Association (2018) Environmental profile report - Life-Cycle inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe. European Aluminium Institution, 1150 Brussels, Belgium.
- European Committee for Standardisation (CEN) 2022 European Committee for Standardisation (CEN) (2022) EN 15804+A2:2020/AC2021 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products (includes Corrigendum :2021). European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, retrieved from: <https://www.en-standard.eu/din-en-15804-sustainability-of-construction-works-environmental-product-declarations-core-rules-for-the-product-category-of-construction-products-includes-corrigendum-2021/>.
- Faist Emmenegger & Frischknecht 2005 Faist Emmenegger M. and Frischknecht R. (2005) Ökobilanz einer Wärmepumpe mit Abwärmenutzung aus Rohabwasser: aktualisierter Bericht. ESU-services im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich, Uster.
- FNR 2009 FNR (2009) Umrechnungstabelle Viehbestand bzw. Fläche oder Substratanfall in installierte Leistung. Retrieved 30-11-2009 retrieved from: <https://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/bayern/dateien/biogasertraegedivers.pdf>.
- Frischknecht 1999a Frischknecht 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: <https://www.esu-services.ch/publications/energy/>.
- Frischknecht 1999b Frischknecht R. (1999b) Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel: Ökobilanzen für Wärmepumpen und Kälteanlagen. 9933303. ESU-services, Uster, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE), Bern, retrieved from: <https://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: https://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. 2007a Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirschler R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007a) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: <https://www.ecoinvent.org>.
- Frischknecht et al. 2007b Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007b) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: <https://www.esu-services.ch/data/ecoinvent/>.
- 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.
- 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: <https://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: lca-recipe.net/.
- Guinée et al. 2001a Guinée J. B., (final editor), Gorrée M., Heijungs R., Huppés G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M. A. J., Lindeijer E., Roorda A. A. H. and Weidema B. P. (2001a) Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, retrieved from: <https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>.
- Guinée et al. 2001b Guinée J. B., (final editor), Gorrée M., Heijungs R., Huppés G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M. A. J., Lindeijer E., Roorda A. A. H. and Weidema B. P. (2001b) Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Part 3: Scientific Background. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, retrieved from: <https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>.
- Heck 2007 Heck T. (2007) Wärmepumpen. 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-X, v2.0 (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: <https://www.ecoinvent.org>.
- Huijbregts et al. 2017 Huijbregts M. A. J., Steinmann Z. J. N., Elshout P. M. F., Stam G., Verones F., Vieira M., Zijp M., Hollander A. and van Zelm R. (2017) ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. In: *Int J Life Cycle Assess*, **22**(2), pp. 138-147, 10.1007/s11367-016-1246-y, retrieved from: <https://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>.

- International Organization for Standardization (ISO) 2006 International Organization for Standardization (ISO) (2006) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO 14040:2006; Amd 1: 2020, Geneva.
- IPCC 2021 IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, retrieved from: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>.
- 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: <https://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: <https://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: https://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: <https://ecoinvent.org>.
- Jungbluth et al. 2010a Jungbluth N., Stucki M., Frischknecht R. and Buesser S. (2010a) 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: <https://www.esu-services.ch>.
- Jungbluth et al. 2010b Jungbluth N., Frischknecht R., Orthlieb A., Büsler S. and Leuenberger M. (2010b) 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: <https://www.esu-services.ch/projects/naturemade/>.
- 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: <https://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: <https://www.esu-services.ch/de/projekte/lcafood/wasser/>.
- 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: <https://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: <https://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/>.
- 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: <https://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/>.
- Kägi et al. 2022 Kägi T., Zschokke M. and Dinkel F. (2022) Life Cycle Inventories for Biogas and Biomethane Processes. Carbotech AG on behalf of BAFU, Basel, retrieved from: https://carbotech.ch/cms/wp-content/uploads/Technical_Report_Biogas.pdf.
- KBOB et al. 2022 KBOB, eco-bau and IPB (2022) Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022 Empfehlung Nachhaltiges Bauen. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <https://www.kbob.ch> und <https://www.ecobau.ch>
- Kunz et al. 2008 Kunz P., Afjei T., Betschart W., Hubacher P., Löhner R., Müller A. and Prochaska V. (2008) Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung. Herausgeber: Bundesamt für Energie, Bereich Aus- und Weiterbildung, Bern, CH, retrieved from: <https://www.bfe.admin.ch>.
- 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: <https://www.lcafood08.ch>.
- LRV 2023 LRV (2023) Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (LRV): (Stand am 1.1.2023). 814.318.142.1. Schweizerischer Bundesrat, retrieved from: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/de.
- Meili et al. 2023a Meili C., Jungbluth N. and Bussa M. (2023a) Life cycle inventories of crude oil and natural gas extraction. ESU-services Ltd. commissioned byecoinvent, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: <https://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/>.
- Meili et al. 2023b Meili C., Jungbluth N. and Bussa M. (2023b) Life cycle inventories of long-distance transport of crude oil. ESU-services Ltd. commissioned byecoinvent, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: <https://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/>.
- Messmer & Frischknecht 2016 Messmer A. and Frischknecht R. (2016) Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014. Treeze im Auftrag Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Uster, CH.
- 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: <https://ecoinvent.org>.
- PlasticsEurope 2016 PlasticsEurope (2016) High-density Polyethylene (HDPE), Low-density Polyethylene (LDPE), Linear Low-density Polyethylene (LLDPE). PlasticsEurope, Brussels, Belgium.
- 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: <https://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: <https://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: <https://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 2023 SimaPro (2023) SimaPro 9.5 LCA software package. PRé Sustainability, Amersfoort, NL, retrieved from: <https://esu-services.ch/de/simapro/>.
- 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: <https://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/> (login).
- Taverna 2020 Taverna R. (2020) Annahme von Altholz bei Holzfeuerungsanlagen. Handbuch. Schweizerischer Verband für Umwelttechnik (SVUT); geopartner; Mit Unterstützung durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Energie-Schweiz - Bundesamt für Energie (BFE), retrieved from: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallpolitik-und-massnahmen/vollzugshilfe-ueber-den-verkehr-mit-sonderabfaellen-und-anderen-umweltvertraegliche-entsorgung-von-sonderabfaellen-und-anderen-k/umweltvertraegliche-entsorgung-von-holzabfaellen/thermische-verwertung--verbrennen-von-holzabfaellen.html>.
- Tschümperlin & Frischknecht 2017 Tschümperlin L. and Frischknecht R. (2017) Ökobilanzkriterien des Labels "naturemade resources star". treeze Ltd., fair life cycle thinking für den Verein für umweltgerechte Energie, VUE, retrieved from: https://www.naturemade.ch/de/naturemade-resources-star.html?file=files/Dokumente/Zertifizierung/recources%20star/Oekobilanz-Bericht%20KVA_naturemade%20resources%20star-v3.0.pdf&cid=4010.
- UVEK 2018 UVEK (2018) UVEK-LCIDQRv2:2018. Bundesamt für Umwelt BAFU, Switzerland, retrieved from: <https://ecoinvent.org>.
- Verein MINERGIE 2008 Verein MINERGIE (2008) Reglement zur Nutzung der Qualitätsmarke MINERGIE®, Bern, retrieved from: <https://www.minergie.ch>.
- Vesenmaier & Reiser 2016 Vesenmaier A. and Reiser M. (2016) Untersuchungen zu klimarelevanten Emissionen bei Anlagen zur Bioabfallbehandlung als Kriterium einer hochwertigen Verwertung. Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft. Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft.
- Vock 2004 Vock W. (2004) Schadstoffgehalte in Holzabfällen. Analyseresultate der Holzkampagne 98. UM-178-D. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), retrieved from: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/publikationen-studien/publikationen/schadstoffgehalte-in-holzabfaellen.html>.
- Zschokke & Schleiss 2016 Zschokke M. and Schleiss K. (2016) Inventare zur Biomasse-Behandlung. Transfer in ecoinvent 3. carbotech AG, UMWEKO GmbH, Im Auftrag des BFE, Zürich/Grenchen.

A. Anhang Sachbilanzdaten

A.1 Umweltbelastung der Wertstoffgewinnung

Auszug aus Tschümperlin & Frischknecht 2017, nicht aufdatiert.

Wertstoffe können an verschiedenen Stellen und aus verschiedenen Fraktionen zurückgewonnen werden. Oft werden Metalle und andere Wertstoffe vor der Anlieferung und anschliessenden Verbrennung aussortiert. Ein Grossteil der verbrennten Metalle/Wertstoffe landet in den Verbrennungsrückständen und kann zum Teil daraus zurückgewonnen werden. Metallabfälle in der Schlacke können durch mechanische Trennung zurückgewonnen werden (Bösch et al. 2011). Für die Abtrennung der in der Flugasche enthaltenen Wertstoffe stehen im Wesentlichen zwei Verfahren zur Verfügung, die Flugaschenwäsche (FLUWA) und das Flugaschen-Recycling (FLUREC).

Dank der FLUWA, einem hydro-chemischen Prozess, werden Rückstände und Wertstoffe aus der Flugasche teilweise abgetrennt. In der FLUWA lässt sich aus der Flugasche unter Beifügung des sauren Quenchwassers aus der KVA Rauchgasreinigung ein schwermetallreiches Filtrat gewinnen (Bösch et al. 2011). Dieses Filtrat geht in die interne Abwasserreinigungsanlage (ARA), wo es zu einem zinkhaltigen Hydroxidschlamm aufbereitet wird, aus welchem im Ausland in einer Zinkhütte Sekundärblei und -zink rückgewonnen wird. Als Abfall entsteht dabei ein sauer gewaschener Filteraschekuchen, welcher zusammen mit der Schlacke gemischt und in einem Schlackekompartiment abgelagert wird (Bösch et al. 2011).

Beim Flugaschen-Recycling (FLUREC)-Verfahren kann Zink als Reinstmetall abgetrennt werden. Als Nebenprodukte entstehen ein Zementat, aus dem Sekundärblei und Sekundärzink in einer Bleihütte rückgewonnen werden kann und ein Restmetallschlamm, welcher deponiert werden muss. Beim FLUWA wie auch dem FLUREC Verfahren wird 70 % der Flugasche als gewaschene Asche in einem Schlackekompartiment deponiert (Bösch et al. 2011).

Die KVA Thun besitzt eine eigene FLUWA. Die KVA Perlen gibt ihre Flugasche zu einem Teil an eine externe FLUWA und die KVA Hinwil zu 100 % an eine externe FLUREC Anlage ab.

Die Ökobilanzierung des FLUWA/FLUREC Verfahrens der drei Referenzanlagen basiert auf der Ökobilanzierung dieser Systeme von Bösch et al. (2011) sowie (2013b) und Daten des ecoinvent Datenbestands v3.1, welche teilweise mit FLUWA/FLUREC für interne Zwecke erweitert wurden (Doka 2014). Diese Bilanzierung berücksichtigt auch die aus den FLUWA-/FLUREC-Prozessen resultierenden Emissionen, die dafür erforderlichen Energieaufwände (Prozessenergie und für die Herstellung der Adsorbentien) und die Sickerwasseremissionen aus dem Schlackekompartiment.

Die Wertstoff-Grenzwerte entsprechen je einem Viertel der aufgelisteten Umweltbelastungen der Bereitstellung von primären Ressourcen unter Abzug der allfällig erforderlichen Aufbereitungsprozesse.

Tab. 4.3 Grenzwerte «naturemade resources star» für die Entsorgungsfunktion, Energie- und Wertstoffrückgewinnung in ReCiPe-Punkten pro Tonne

ReCiPe Pkt pro Tonne	Referenzwert
Aluminium	77.9
Kupfer	141.0
Gold	293'099.9
Edelstahl	58.0
Eisen	11.9
Zink	50.9
Zinkkonzentrat	7.6
Bleikonzentrat	5.1
Phosphor	Bisher nicht festgelegt

A.2 Strommix für verschiedene Länder

Update 2023 durch Catarina Rocha

Die Strommixprozesse der ausgewählten Länder setzen sich jeweils aus der inländischen Produktion und den Importen zusammen. Die erforderlichen Daten wurden aus der ENTSO-E Transparenzplattform⁵⁸ bezogen.

Für die Produktionsmixe des Jahres 2022 wurden die stündlichen bzw. viertelstündlichen Stromdaten nach Produktionstyp (z.B., Braunkohle oder Wind) aufsummiert und einem passendem Energieprozess zugeschrieben. In diesem Schritt wird die Stromerzeugung aus Biomasse weiter differenziert zwischen Holz, Biogas und Bioabfall. Bei der Kernenergie werden die erfassten Daten ebenfalls nach spezifischen Kerntechnologien aufgeschlüsselt. Um den endgültigen Strommix eines Landes zu erhalten, wird zusätzlich der gesamte Stromimport zum berechneten Produktionsmix addiert.

Die Stromdaten für Grossbritannien beziehen sich auf das Jahr 2020, weil seit Mitte 2021 die Stromproduktionsdaten nicht mehr auf der ENTSO-E Transparenzplattform veröffentlicht werden. Dies ist auf den Brexit zurückzuführen.

A.3 Altholzverbrennung in KVA

Update 2023 durch Catarina Rocha

Die Schadstoffgehalte für verschiedene Altholz-Kategorien gemäss Tab. 3.5 wurden von der BAFU-Webseite⁵⁹ entnommen (Vock 2004). Bisher gibt es keine Angaben zum durchschnittlichen Anteil fossiler Energie bzw. Kohlenstoff in verschiedenen Altholzkategorien.

⁵⁸ Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber, englisch: European Network of Transmission System Operators for Electricity

<https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/actualGenerationPerProductionType/show>

<https://transparency.entsoe.eu/transmission-domain/physicalFlow/show>

⁵⁹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallpolitik-und-massnahmen/vollzugshilfe-ueber-den-verkehr-mit-sonderabfaellen-und-anderen-/umweltvertraegliche-entsorgung-von-sonderabfaellen-und-anderen-k/umweltvertraegliche-entsorgung-von-holzabfaellen/kontrolle-der-qualitaet-von-holzabfaellen.html>

Die Elementarzusammensetzung für verschiedene Altholz-Kategorien wurde in einem Tool zur Berechnung der Sachbilanz von Kehrlichtverbrennungsanlagen eingegeben (Doka 2009) und wird in Tab. 5.1 gezeigt.

Tab. 5.1 Elementarzusammensetzung verschiedener Altholzkategorien für die Berechnung der Sachbilanz

Enter name for waste				wood residue A II	chrome-preserved wood electricity pole	chrome-preserved building wood	scrap wood A III	wood residue A II	natural wood
German name	German name German name for waste:			Restholz A II	chromimprägnierter Holz-Strommasten	chromimprägniertes Baualtholz	Altholz A III	Restholz A II	Holz natürlich
Comment	Formula	german synonyms	unit	mean value	A IV: problematische Holzabfälle	A IV: problematische Holzabfälle	Altholz A III, Quelle https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/lu-wu-umwelt-wiscon/abhad	Restholz A II, Quelle https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/lu-wu-umwelt-wiscon/abhad	A I naturbelassenes Altholz
upper heating value	Ho	Oberer Heizwert	MJ/kg	15.36	15.36	15.36	15.36	15.36	15.36
lower heating value	Hu	Unterer Heizwert	MJ/kg	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99
Water content	H2O	Wassergehalt	kg/kg waste	17.0750%	0.173451	0.1738	0.16	0.17	0.17408
Oxygen (without O from H2O)	O	Sauerstoff	kg/kg waste	37.2180%	0.370838	0.371584	0.37	0.37	0.37218
Hydrogen (without H from H2O)	H	Wasserstoff	kg/kg waste	5.0163%	0.049982	0.050083	0.05	0.05	0.05016
Carbon (enter share of biogenic C below)	C	Kohlenstoff	kg/kg waste	40.1467%	0.40002	0.400825	0.40	0.40	0.40147
Sulfur	S	Schwefel	kg/kg waste	0.0197%	0.000289	0.000198	0.00049	0.0002	0.00013
Nitrogen	N	Stickstoff	kg/kg waste	0.0987%	0.000983	0.000985	0.00	0.00	0.00099
Phosphor	P	Phosphor	kg/kg waste	0.0086%	0.000109	0.000109	0.00032	8.6E-05	0.00011
Boron	B	Bor	kg/kg waste	0.0002%	5.89E-05	2.73E-05	0.00	0.00	2.1E-06
Chlorine	Cl	Chlor	kg/kg waste	0.0154%	0.00033	0.00033	0.00137	0.00015	0.00033
Bromium	Br	Brom	kg/kg waste	0.0000%	n.a.	n.a.	4.9E-07	4.9E-07	n.a.
Fluorine	F	Fluor	kg/kg waste	0.0010%	2.1E-05	2.11E-05	8.9E-06	0.00001	2.1E-05
Iodine	I	Iod	kg/kg waste	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.
Silver	Ag	Silber	kg/kg waste	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.
Arsenic	As	Arsen	kg/kg waste	0.0000%	4.21E-07	4.21E-07	4.9E-07	4.9E-07	4.2E-07
Barium	Ba	Barium	kg/kg waste	0.0005%	n.a.	n.a.	8E-06	5.5E-06	n.a.
Cadmium	Cd	Cadmium	kg/kg waste	0.0000%	2E-07	2E-07	4.9E-07	4.9E-07	2E-07
Cobalt	Co	Kobalt	kg/kg waste	0.0001%	8.65E-08	8.66E-08	4.9E-07	5.5E-07	8.7E-08
Chromium	Cr	Chrom	kg/kg waste	0.0002%	0.002281	0.001013	9.4E-06	1.9E-06	6.6E-07
Copper	Cu	Kupfer	kg/kg waste	0.0002%	0.000786	0.000351	4.7E-06	1.8E-06	4.1E-06
Mercury	Hg	Quecksilber	kg/kg waste	0.0000%	3.19E-07	3.19E-07	4.9E-07	4.9E-07	3.2E-07
Manganese	Mn	Mangan	kg/kg waste	0.0097%	5.29E-05	5.3E-05	8.9E-05	9.7E-05	5.3E-05
Molybdenum	Mo	Molybdän	kg/kg waste	0.0001%	8.27E-07	8.29E-07	8.3E-07	8.3E-07	8.3E-07
Nickel	Ni	Nickel	kg/kg waste	0.0001%	5.54E-07	5.55E-07	8.3E-07	9.9E-07	5.6E-07
Lead	Pb	Blei	kg/kg waste	0.0006%	2.78E-05	2.78E-05	1.2E-05	6.1E-06	2.8E-05
Antimony	Sb	Antimon (Stiban)	kg/kg waste	0.0000%	n.a.	n.a.	4.9E-07	4.9E-07	n.a.
Selenium	Se	Selen	kg/kg waste	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.
Tin	Sn	Zinn	kg/kg waste	0.0000%	n.a.	n.a.	7.1E-07	4.9E-07	n.a.
Vanadium	V	Vanadium	kg/kg waste	0.0001%	n.a.	n.a.	3.6E-06	1.2E-06	n.a.
Zinc	Zn	Zink	kg/kg waste	0.0017%	1.77E-05	1.78E-05	5.3E-05	1.7E-05	1.8E-05
Beryllium	Be	Beryllium	kg/kg waste	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.
Scandium	Sc	Scandium	kg/kg waste	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.
Strontium	Sr	Strontium	kg/kg waste	0.0004%	n.a.	n.a.	7.2E-06	3.9E-06	n.a.
Titanium	Ti	Titan	kg/kg waste	0.0235%	n.a.	n.a.	0.00137	0.00024	n.a.
Thallium	Tl	Thallium	kg/kg waste	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.
Tungsten	W	Wolfram	kg/kg waste	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.
Silicon	Si	Silizium	kg/kg waste	0.0453%	n.a.	n.a.	0.00168	0.00045	n.a.
Iron (enter share of metallic iron below)	Fe	Eisen	kg/kg waste	0.0111%	1.54E-05	1.55E-05	0.00069	0.00011	1.5E-05
Calcium	Ca	Calcium	kg/kg waste	0.1845%	0.00013	0.000131	0.0031	0.00184	0.00013
Aluminium	Al	Aluminium	kg/kg waste	0.0136%	6.31E-06	6.32E-06	0.00045	0.00014	6.3E-06
Potassium	K	Kalium	kg/kg waste	0.0628%	6.52E-05	6.53E-05	0.00134	0.00063	6.5E-05
Magnesium	Mg	Magnesium	kg/kg waste	0.0270%	0.000197	0.000197	0.00044	0.00027	0.0002
Sodium	Na	Natrium	kg/kg waste	0.0186%	0.000334	0.000156	0.00037	0.00019	1.4E-05
sum wet mass			kg/kg wast	100.0000%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Share of iron in waste that is metallic/recyclable				0.00%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Share of carbon in waste that is biogenic				100.00%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Degradability of waste in a municipal landfill within 100 years				1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%

A.4 Sachbilanz Biogas Dinkel-2022

Autoren Dinkel und Kägi, Studie von Dinkel-2022 (Dinkel & Kägi 2022)

In der Studie werden neue Datensätze für die UVEK DB vorgestellt. Diese sind aber in der UVEK-KBOB 2022 nicht enthalten. Ein Review bzw. Validierung der Daten ist nicht ersichtlich.

Gegenüber dem Treibhausgasinventar werden gemäss Dinkel (Seite 5) etwa die doppelte Menge an Methan Emissionen durch Hofdünger-Lagerung angenommen. Es wird aber nicht klar beschrieben welche Faktoren im Treibhausgasinventar einer Korrektur bedürfen.

In der Studie von Dinkel-2022 (Dinkel & Kägi 2022) wird sehr viel auf folgende Studie verwiesen. Die ganze Darstellung ist damit nicht transparent und es ist nicht möglich die Annahmen zu verstehen.

Ökostrom Schweiz. (2017). Methode zur Quantifizierung von Methanemissionsreduktionen durch landwirtschaftliche Biogasanlagen. Version 4.1. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/klima-kop-bis-2016/0001-Landwirtschaftliche-Biogasanlagen-in-der-Schweiz-Buendel-1-metho-den.pdf.download.pdf/KF-Methodenbeschrieb_v4_1_20170214_Publ.pdf

- Scheinbar eine Methode für Klimakompensationsprojekte. Für Ökobilanzen und Naturemade Zertifizierung sollten Verkauf als Kompensation nicht zulässig sein. Es bleibt unklar wie diese verkauften Kompensationen in der KBOB Datenbank verbucht bzw. in Abzug gebracht werden sollen. Es ist fragwürdig, eine solche interessengetriebene Studie praktisch als einzige Quelle für die FOEN Inventare zu nutzen. Es wird eher zugunsten höherer Klimakompensationsanrechnung gerechnet.

Die Datenzusammenstellung der Kompensationsprojekte (Ökostrom Schweiz, 2021) dürfen wir nicht öffentlich publizieren, da es sich hier um betriebsspezifische Einzeldaten unserer Mitgliederanlagen handelt.

A.4.1 Lagerung

Es werden für die Hofdüngerlagerung Emissionen eingeführt. Bisher wird dieser DS in der Datenbank nicht verwendet. Emissionen aus dem Hofdünger werden bisher direkt bei der Ausbringung berücksichtigt und diese Änderung könnte folglich zu einer Doppelzählung führen.

Annahme 17% Lagerbehälter nicht abgedeckt als Referenz. Siehe Fussnote 25 ist ab 2022 nicht mehr zulässig.

Emissionen von CH₄ liegen in der Grössenordnung, die für die KWM angenommen wird.

Die Studie von Dinkel betrachtet scheinbar jedoch nur die Vergärung von Gülle ohne die Effekte durch die Verwendung von Co-Substraten (keine Referenz). Auch die in der Literatur verfügbaren Messungen sind nicht berücksichtigt.

H₂S und NMVOC werden scheinbar nicht berücksichtigt.

A.4.2 Vergärung

Beim NH₃ und N₂O wird eine starke Abnahme postuliert (nur auf Grundlage verringerter Methanemissionen). Das ist kaum verständlich da die Reaktionsmechanismen stark von den Bedingungen aerob bzw. anaerob abhängen. Unter anaeroben Bedingungen kann ich mir eine Oxidation von NH₃ nicht erklären. Es widerspricht auch der Aussage auf Seite 3. Dort werden «zu erwartende Mehremissionen von Ammoniak» beschrieben (die auch für die KWM angenommen werden). In der Abschätzung später wird dieser Faktor überhaupt nicht mehr erwähnt und linear wie beim Methan reduziert.

Beim NH₃ und N₂O keine realen Daten, sondern nur Annahmen in Abhängigkeit vom Methan. Systemgrenzen und Datenhintergrund für Methan wird nicht dargestellt. Auch hier also kaum verständlich.

A.4.3 Ausbringung

Als Referenz wird in der Studie eine Ausbringung ohne Schleppschlauch angenommen. Das entspricht nicht dem Stand in der Schweiz. Die Reduktion gegenüber unvergorener Gülle wird damit überschätzt.