

Katja Oehmichen, Stefan Majer

Beispielrechnungen der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen im Förderprogramm

2023 | Addendum zum Methodenhandbuch:

»Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte«



**Energetische
Biomassenutzung**

Katja Oehmichen, Stefan Majer
"Beispielrechnungen der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen im Förderprogramm"

ADDENDUM ZU BAND 4 (SCHRIFTENREIHE)

Herausgegeben von Daniela Thrän und Tina Händler

Addendum zum Methodenhandbuch »Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte: Methoden zur Bestimmung von Technologiekennwerten, Gestehungskosten und Klimagaseffekten von Vorhaben im Rahmen des BMWK-Forschungsnetzwerkes Bioenergie«, BMWK-Förderbereich »Energetische Biomassenutzung«, Schriftenreihe des BMWK-Forschungsnetzwerkes Bioenergie

DOI: 10.48480/4vht-q827

Bildnachweise

Umschlag: Sophie Reinisch

Wenn nicht anders am Bild verzeichnet, liegen die Bildrechte beim DBFZ.

Layout & Satz

Joshua Röbbisch

Kontakt

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116, D-04347 Leipzig
Telefon: +49 (0)341 2434-554
E-Mail: begleitforschung@dbfz.de
www.energetische-biomassenutzung.de

Geschäftsführung

Wissenschaftlicher Geschäftsführer: Prof. Dr. mont. Michael Nelles
Administrativer Geschäftsführer: Dr. Christoph Krukenkamp

© DBFZ, Leipzig Juni 2023

INHALT

1	Einleitung.....	4
2	Beispiel 1: THG-Bilanzierung eines Dampf-KWK-Prozesses (basiert zum Teil auf Endbericht des Projektes DampfKWK FKZ03KB118).....	5
2.1	Prozesskette und Rahmenbedingungen (Kapitel 8.3 Methodenhandbuch)	5
2.2	Rohstoffproduktion: Produktion der Holzhackschnitzel.....	5
2.3	Biomassebereitstellung: Transport der Holzhackschnitzel.....	6
2.4	Emissionen aus der Konversion (Dampf-KWK-Prozess)	7
2.5	Zusammenführung der Emissionen.....	8
2.6	Allokation Wärme und Strom.....	8
2.7	Berechnung der Treibhausgaseinsparung (Methodenhandbuch Kapitel 8.4).....	9
2.8	Ergebnisdarstellung (Methodenhandbuch Kapitel 8.6).....	10
3	Beispiel 2: Bilanzierung von THG- Emissionen eines emissionsarmen Pellet-Kessels (basiert zu Teilen auf Endbericht des Projektes EmiLY FKZ 03KB124)	11
3.1	Berechnung der Treibhausgaseinsparung (Methodenhandbuch Kapitel 8.4)	11
3.2	Rohstoffproduktion: Produktion der Holzpellets	11
3.3	Biomassebereitstellung: Transport der Pellets zur Anlage	11
3.4	Emissionen aus der Konversion (Umwandlung der Biomasse in Wärme).....	12
3.5	Emissionen aus der Konversion (Umwandlung der Biomasse in Wärme).....	13
3.6	Ermittlung der THG-Einsparung.....	14
3.7	Ermittlung der THG-Einsparung.....	14
	Literaturverzeichnis.....	15
	Tabellenverzeichnis	16
	Abbildungsverzeichnis.....	16

Förderung Forschungsnetzwerk Bioenergie BMWK-Förderbereich Projektträger Begleitforschung

Gefördert durch:



BEISPIELRECHNUNGEN DER BILANZIERUNG VON TREIBHAUSGASEMISSIONEN IM FÖRDERPROGRAMM

Ergänzung zum Methodenhandbuch

Autor:innen: Katja Oehmichen und Stefan Majer (DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH)

1 Einleitung

Ein zentrales Anliegen des Förderprogramms ist es, die erzielbaren Klimaschutzeffekte durch die Bioenergiebereitstellung und -nutzung im Vergleich zum heutigen Stand der Technik signifikant zu verbessern und verstetigen. Dazu ist die Einordnung des Anlagenkonzeptes und der jeweiligen Treibhausgasemissionen und Treibhauseinsparung unter den gegenwärtigen bzw. absehbaren Rahmenbedingungen erforderlich. Diese in vergleichbarer Form zu ermitteln und darzustellen, ist die Voraussetzung für die übergreifende Interpretation und die Ableitung von Handlungsempfehlungen (Thran und Pfeiffer 2021). Dafür ist eine transparente und möglichst harmonisierte Bilanzierungsmethode notwendig. Vor diesem Hintergrund zielt Kapitel 8 des Methodenhandbuchs mit einfacher Methode darauf ab, sowohl die Bilanzierung in den Projekten zu unterstützen als auch die Ergebnisse vergleichbar zu machen.

Die im Methodenhandbuch vorgeschlagene Methode basiert auf den Vorgaben zur THG-Bilanzierung der Richtlinie 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (kurz RED II) (European Commission 2018). Die RED II führt den Regelungsrahmen der EU RED 2009/28/EC seit 2021 fort. Die Regelung der RED II enthält anders als die EU RED (European Commission 2009) auch Nachhaltigkeitskriterien für die Produktion von Strom, Wärme und Brennstoffen aus fester und gasförmiger Biomasse. Anders als die vollständige Ökobilanzierung nach (DIN ISO 14040) und (DIN ISO 14044) beschränkt sich diese Methodik auf die Berechnung von Treibhausgasemissionen. Diese werden in der aktuellen Diskussion der energetischen Biomassenutzung am stärksten diskutiert. Die Berechnungsmethodik erscheint, im Sinne einer Hilfsfunktion, daher als anwendbarer Kompromiss zwischen der Notwendigkeit methodischer Komplexität und einer Sicherstellung der Vergleichbarkeit von Ergebnissen durch möglichst einfache und transparente Vorgehensweisen und Methoden. Die Methodik stellt keineswegs ein Substitut der Ökobilanzierung nach DIN ISO 14040 und 14044 dar.

Der vorliegende Leitfaden soll mit exemplarischen THG-Berechnungen als erweiterte Hilfestellung bei der Anwendung der Methode zur THG-Bilanzierung in Kapitel 8 des Methodenhandbuchs dienen. Die Beispielrechnungen basieren auf bereits abgeschlossenen Projekten im Förderprogramm, die nachvollziehbar und möglichst transparent die Berechnungen von THG-Emissionen und Einsparungen in den jeweiligen Endberichten dargestellt haben. Bei den hier vorgestellten Berechnungen handelt es sich dabei nicht um eine 1:1 Übernahme der Angaben und Berechnungen der ausgewählten Projekte, sondern eher um eine Inspiration für mögliche im Förderprogramm stattfindenden Projekte. Zum Teil wurde im vorliegenden Leitfaden mit Vereinfachungen und Aktualisierungen (insbesondere bzgl. der Emissionsfaktoren und Referenzwerte) gearbeitet, sodass die Angaben nicht deckungsgleich mit den in den Projekten dargestellten THG-Bilanzen und -Einsparungen sind.

2 Beispiel 1: THG-Bilanzierung eines Dampf-KWK-Prozesses (basiert zum Teil auf Endbericht des Projektes DampfKWK FKZ03KB118)

Die erste Beispielrechnung referenziert auf ein Projekt im Förderprogramm, welches die Entwicklung eines Klein-KWK-Dampfmotors zur Nachrüstung von Feuerungsanlagen im mittleren Leistungsbereich zum Ziel hatte. Es wurde unter anderem deshalb ausgewählt, da hier zum einen die gesamte Prozesskette von der Biomassebereitstellung über den Transport bis zur Biomassenutzung abgebildet wurde und zum anderen die gleichzeitige Bereitstellung von Strom und Wärme über den KWK-Prozess eine besondere Herausforderung innerhalb der THG-Bilanzierung darstellt. Deshalb kommt der Aufteilung der THG-Emissionen zwischen den Produkten Wärme und Strom mit einem gesonderten Abschnitt eine besondere Bedeutung innerhalb dieser Beispielrechnung zu.

2.1 Prozesskette und Rahmenbedingungen (Kapitel 8.3 Methodenhandbuch)

Die im Rahmen dieser Beispielrechnung betrachtete Prozesskette umfasst die folgenden Prozessschritte:

- Rohstoffproduktion: In diesem Fall bezieht sich dieser Prozess auf die Aufbereitung des Holzes zu Holzhackschnitzeln
- Biomassebereitstellung: Transport der Holzhackschnitzel zur Anlage
- Biomassekonversion: Umwandlung der Biomasse in Strom und Wärme

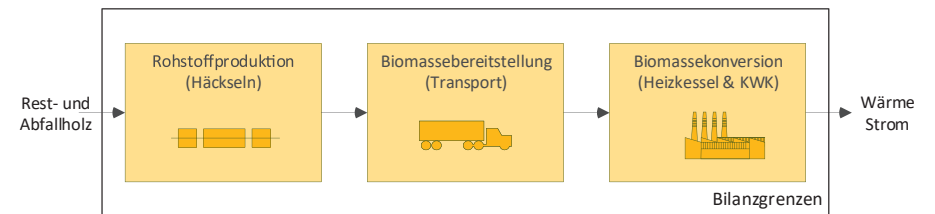


Abbildung 1: Prozesskette und Bilanzierungsrahmen Beispiel 1

Ziel der Betrachtung ist die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen, die mit der Bereitstellung von Wärme über den DampfKWK-Prozess verbunden sind. Ergebnisse der THG-Bilanzierung werden entsprechend dem Methodenhandbuch für die Wärmebereitstellung in $g\ CO_{2eq}/MJ$ Wärme angegeben. Im Folgenden werden in den Abschnitten 2.2 bis 2.4 Emissionsfaktoren für die einzelnen Prozessschritte ermittelt und dann im Abschnitt 2.5 zusammengeführt und die gesamten THG-Emissionen berechnet.

2.2 Rohstoffproduktion: Produktion der Holzhackschnitzel

Es wird angenommen, dass für die Holzhackschnitzel Waldrestholz verwendet wird. Dieses wird vor Ort mit einem dieselbetriebenen Holzhäcksler zu Holzhackschnitzeln verarbeitet. Die THG-Emissionen aus diesem Prozess sind im Wesentlichen mit der Nutzung fossilen Diesels im Häcksler verbunden. Zur Berechnung der Emissionen sind in diesem Fall der Dieselbedarf (siehe Tabelle 1) und der THG-Emissionsfaktor für Diesel (Tabelle 2) notwendig.

Tabelle 1: Eingangsgrößen Biomassebereitstellung

Größe	Einheit	Wert
Dieselbedarf Häckseln pro kg Holz	$\frac{l}{kg}$	0,006 [1]

Tabelle 2: Emissionsfaktoren

Emissionsfaktor Diesel	$\frac{kg\ CO_2eq}{l}$	3,41	(European Commission 2018)
------------------------	------------------------	------	----------------------------

Basierend auf diesen Daten lässt sich der THG-Wert für die Produktion pro kg Holzhackschnitzel folgendermaßen berechnen:

$$\text{Emissionen Holzackschnitzelbereitstellung (FM)} = \text{Dieselbedarf} \cdot \frac{1}{kg} \cdot \text{EF Diesel} \cdot \frac{kg\ CO_2eq}{l}$$

$$\text{Emissionen Holzackschnitzelbereitstellung (FM)} = 0,006 \cdot \frac{1}{kg} \cdot 3,41 \cdot \frac{kg\ CO_2eq}{l}$$

$$\text{Emissionen Holzackschnitzelbereitstellung (FM)} = 0,02046 \cdot \frac{kg\ CO_2eq}{kg} = 20,46 \cdot \frac{g\ CO_2eq}{kg}$$

2.3 Biomassebereitstellung: Transport der Holzhackschnitzel

Im nächsten Schritt werden nun die THG-Emissionen für den Transport der Holzhackschnitzel zur Konversionsanlage berechnet. Der Berechnung des Transportes liegen folgende Annahmen zugrunde:

Tabelle 3: Eingangsdaten Transport

Einsatzstoffe und Energie	Einheit	Wert
Transportierte Biomasse	t	24.000
Transportmittel		LKW 40t
Transportdistanz, beladen	km	20
Transportdistanz, entladen	km	20
Kraftstoffverbrauch, beladen	l/km	0,49
Kraftstoffverbrauch, entladen	l/km	0,25 ^[2]

Als Kraftstoff im Transportprozess wird Diesel eingesetzt, der entsprechende Emissionsfaktor ist nachfolgender Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Emissionsfaktoren Transport

Einsatzstoffe und Energie	Emissionsfaktor	Einheit	Quelle
Emissionsfaktor Diesel:	3,41	$\frac{kg\ CO_2eq}{l}$	(European Commission 2018)

1 Der Verbrauchswert wurde der Inventardatenbank ecoinvent 3.8 entnommen. Swiss centre for life cycle inventories 2020

2 Daten für den Kraftstoffverbrauch in beladenem und entlademem Zustand wurden dem »Leitfaden Nachhaltige Biomasseherstellung« BLE 2010 entnommen.

Die THG-Emissionen für den Transportprozess pro kg Holzhackschnitzel werden wie folgt berechnet:

$$\text{Emissionen Transport} = \frac{(20\ km \cdot 0,49\ l/km + 20\ km \cdot 0,25\ l/km) \cdot 3,41 \cdot \frac{kg\ CO_2eq}{l}}{24000\ kg}$$

$$\text{Emissionen Transport} = 0,0021 \cdot \frac{kg\ CO_2eq}{kg} = 2,1 \cdot \frac{g\ CO_2eq}{kg}$$

2.4 Emissionen aus der Konversion (Dampf-KWK-Prozess)

Die Emissionen, die mit dem Prozessschritt Konversion oder auch Verarbeitung zugeordnet werden, beziehen sich auf die Prozesse, in denen eine Konversion von Rohstoffen in Zwischenprodukte bzw. Produkte stattfindet. Die Verarbeitung umfasst in diesem Beispiel die Umwandlung des Biomassebrennstoffs im Biomasseheizkessel mit nachgeschaltetem Dampfmotor zu Wärme und Strom, Der für den Prozessbetrieb benötigte Strom^[3] wird dabei aus dem Stromnetz entnommen. Nach den Vorgaben der RED II wird das bei der Biomasseverbrennung emittierte CO₂ im Abgasstrom nicht mit bilanziert, da davon ausgegangen wird, dass die Menge näherungsweise der Menge CO₂ entspricht, die während des Wachstums der Biomasse aus der Atmosphäre absorbiert wird^[4]. Der Berechnung der THG-Emissionen aus dem Teilprozess Konversion liegen die in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellten Eingangsgrößen und Emissionsfaktoren zugrunde.

Tabelle 5: Eingangsgrößen für den Konversionsprozess

Einsatzstoffe und Energie (ES)	Einheit	Wert
Einsatz elektrischer Strom	kW h/h	1,7
Output Wärme	MJ/h	250
Output Strom	kW h/h	3,63

Tabelle 6: Emissionsfaktor (EF) Strommix

Einsatzstoffe und Energie (ES)	Einheit	Emissionsfaktor	Quelle
Emissionsfaktor Strommix DE	$\frac{g\ CO_2eq}{kWh}$	402,9	(Thrän und Pfeiffer 2021)

$$\text{Emissionen KWK Prozess} = \frac{1,7\ kW\ h/h \cdot 402,9 \cdot \frac{g\ CO_2eq}{kWh}}{250\ MJ/h}$$

$$\text{Emissionen KWK Prozess} = 2,74 \cdot \frac{g\ CO_2eq}{MJ}$$

3 Enthält auch Strom für Steuerungstechnik

4 Neben CO₂ sind CH₄ und N₂O im Geltungsbereich der RED II.

2.5 Zusammenführung der Emissionen

In der nachfolgenden Tabelle 7 werden nun die jeweiligen Einsatzgrößen der Prozessschritte mit jenen in den vorherigen Abschnitten ermittelten spezifischen Emissionsfaktoren verschnitten und so die THG-Emissionen der einzelnen Prozesse berechnet.

Tabelle 7: Eingangsdaten zur Berechnung der THG-Emissionen

Bezeichnung	Menge	Emissionsfaktor	Emissionen $\left[\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{h}} \right]$ ⁽⁵⁾
Produktion Holzhackschnitzel	70 kg/h	20,46 $\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$	70 · 20,46 = 1432
Transport Holzhackschnitzel	70 kg/h	2,1 $\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$	70 · 2,1 = 147
Output Wärme	250 MJ/h	2,74 $\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$	250 · 2,74 = 685

Aus den in Tabelle 7 dargestellten THG-Emissionen lassen sich nun die spezifischen Gesamt THG-Emissionen bezogen auf 1 MJ Wärme berechnen (unalloziert, d.h. ohne Berücksichtigung der extern nutzbaren Strommenge).

$$E_{\text{(unalloziert)}} \text{ je MJ Wärme} = \frac{(1432 + 147 + 685) \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{h}}}{250 \text{ MJ/h}}$$

$$E_{\text{(unalloziert)}} \text{ je MJ Wärme} = 9,06 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$$

Im nächsten Schritt soll nun die Bereitstellung von Strom zur externen Nutzung in der THG-Bilanz Berücksichtigung finden. Dies geschieht mittels Allokation und wird im nachfolgenden Kapitel detailliert beschrieben.

2.6 Allokation Wärme und Strom

Der im KWK-Prozess bereitgestellte Strom wird mittels exergetischer Allokation berücksichtigt. Das heißt, dass die THG-Emissionen zwischen den Produkten Wärme und Strom entsprechend ihres Exergie-Gehalts aufgeteilt werden. Exergie ist ein thermodynamisches Konzept, das die maximale nutzbare Arbeit beschreibt, welche die verfügbare Energie leisten kann. Somit wird der unterschiedliche Wert von Wärme und Strom berücksichtigt. Für Wärme kann der Exergiewert leicht mit einer physikalischen Formel namens Carnot-Effizienz berechnet werden (die thermodynamische Qualität der Wärme).

$$C_h = \frac{T_h - T_0}{T_h}$$

Dabei ist C_h die Temperatur der Wärme (K) und T_0 die auf 273 K festgelegte Umgebungstemperatur (gleich 0°C). Dies bedeutet, dass die Wärmeenergie von der Temperatur der Wärme abhängig ist. Hohe Temperaturen führen zu hohen Exergiewerten. Strom wird

⁵ In diesem Beispiel wurden die Eingangs- und Ausgangsgrößen je Stunde (h) angegeben. Oft erfolgt die Angabe je Jahr oder je Tonne Input. Wichtig ist bei der Datensammlung darauf zu achten, dass die Daten dieselbe Bezugsgröße haben und/oder Informationen bereitgestellt werden, die eine Harmonisierung diesbezüglich gewährleisten.

immer mit einem Exergiewert von 1 angenommen. Im Prinzip bedeutet dies, dass Wärme aufgrund ihres niedrigeren Exergiewerts niedriger als Strom gewichtet wird. Der Allokationsfaktor AF, der angibt, wieviel der THG-Emissionen auf die Wärme verteilt wird, wird entsprechend der folgenden Formel berechnet :

$$AF_{\text{Wärme}} = \frac{C_h \cdot \eta_h}{C_h \cdot \eta_h + C_{el} \cdot \eta_{el}}$$

wobei η_{el} den elektrischen Wirkungsgrad und η_h die Wärmeeffizienz darstellt. Für Wärmetemperaturen unter 150°C wurde ein konstanter Carnot-Wirkungsgrad von 0,3546 unterstellt (European Commission 2018), dies entspricht auch den Annahmen in dieser Beispielrechnung. Die Eingangsdaten für die Berechnung des Allokationsfaktors sind zusammengefasst in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Eingangsdaten für die Berechnung des Allokationsfaktors für Wärme

Einsatzstoffe und Energie	Einheit	Wert
elektrischer Wirkungsgrad	η_{el}	4,7
thermischer Wirkungsgrad	η_{th}	73,3
Carnot-Wirkungsgrad elektrisch	C_{el}	1
Carnot-Wirkungsgrad thermisch	C_h	0,3546

Basierend auf den Eingangsparametern lässt sich der Allokationsfaktor (AF) entsprechend berechnen.

$$AF_{\text{Wärme}} = \frac{0,3546 \cdot 73,3}{0,3546 \cdot 73,3 + 1 \cdot 4,7}$$

$$AF_{\text{Wärme}} = 0,847$$

Mit Hilfe des Allokationsfaktors lassen sich nun die THG-Emissionen pro MJ bereitgestellter Wärme wie folgt zuordnen.

$$E_{\text{alloziert}} = AF_{\text{Wärme}} \cdot E_{\text{unalloziert}}$$

$$E_{\text{alloziert}} = 0,847 \cdot 9,06 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$$

$$E_{\text{alloziert}} = 7,67 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$$

2.7 Berechnung der Treibhausgaseinsparung (Methodenhandbuch Kapitel 8.4)

Schließlich kann die THG-Einsparung berechnet werden. Dies erfolgt in diesem Fall unter Berücksichtigung eines Komparators für Fossilbrennstoffe entsprechend der im Kapitel 9 „Referenzen“ im Methodenhandbuch angegebenen Emissionsfaktoren. Im hier betrachteten Beispielfall wurde als Referenzsystem ein Erdgas-Brennwert-Gerät und die darüber bereitgestellte Wärme gewählt. Der entsprechende Emissionsfaktor ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Emissionsfaktor Referenzsystem
Referenzsystem

Emissionsfaktor Erdgas: Gas und Dampfkraftwerk

Einheit EF
63,8 $\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$

(Thrän und Pfeiffer 2021)

Aus dem Referenzwert und den ermittelten THG-Emissionen lässt sich nun das THG-Minderungspotential wie folgt ermitteln:

$$\text{THG-Minderung} = \frac{E_{\text{Fossilbrennstoff}} - E_{\text{Biobrennstoff}}}{E_{\text{Fossilbrennstoff}}} \cdot 100\%$$

$$\text{THG-Minderung} = \frac{63,8 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}} - 7,67 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}}{63,8 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}} \cdot 100\%$$

$$\text{THG-Minderung} = 88\%$$

Das heißt: Im Beispielfall würde sich eine spezifische THG-Einsparung von 88% gegenüber dem fossilen Vergleichssystem ergeben.

In vielen Projekten des Förderprogramms steht die Optimierung bestehender Systeme im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten. Hier wäre dann nicht ausschließlich die THG-Minderung gegenüber einer fossilen Referenz relevant, sondern auch gegenüber dem Status Quo der Untersuchungstechnologie. In diesen Fällen würden die beschriebenen Berechnungsschritte 2.2 bis 2.6 sowohl für den Ausgangszustand als auch für die optimierte Variante durchgeführt. So können die Werte dann miteinander verglichen bzw. eine mögliche THG-Minderung ermittelt werden.

2.8 Ergebnisdarstellung (Methodenhandbuch Kapitel 8.6)

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt sowohl die ermittelten spezifischen THG-Emissionen der Beispielrechnung als auch das THG-Minderungspotential auf der sekundären y-Achse gegenüber der gewählten Referenz, in diesem Fall die Bereitstellung von 1 MJ über einen Erdgaskessel.

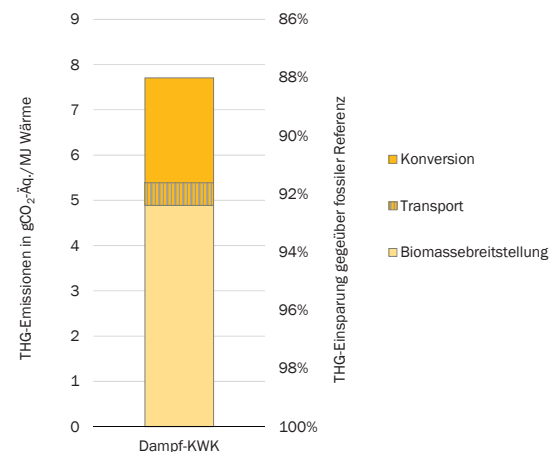


Abbildung 2: spezifische THG-Emissionen der Wärmebereitstellung über das DampfkWK Konzept und die spezifische THG-Minderung gegenüber der definierten fossilen Referenz

3 Beispiel 2: Bilanzierung von THG-Emissionen eines emissionsarmen Pellet-Kessels (basiert zu Teilen auf Endbericht des Projektes EmILY FKZ 03KB124)

Die zweite Beispielrechnung basiert auf einem Projekt, welches sich primär mit der Weiterentwicklung und Erprobung eines für alle Pellet-Qualitäten geeigneten Biomassekessels als saubere Alternative für den Wärmemarkt beschäftigt. Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Emissionsmessungen und die Integration der Messergebnisse in die THG-Bilanz sind beispielhaft im Endbericht dokumentiert und dienen als Vorlage für die nachfolgende Berechnung.

3.1 Berechnung der Treibhausgaseinsparung (Methodenhandbuch Kapitel 8.4)

Die im Rahmen dieser Beispielrechnung betrachtete Prozesskette umfasst die folgenden Prozessschritte:

- Rohstoffproduktion: Beginnt mit dem Prozess des Pelletierens
- Biomassebereitstellung: Transport der Pellets zur Anlage
- Biomassekonversion: Umwandlung der Biomasse in Wärme

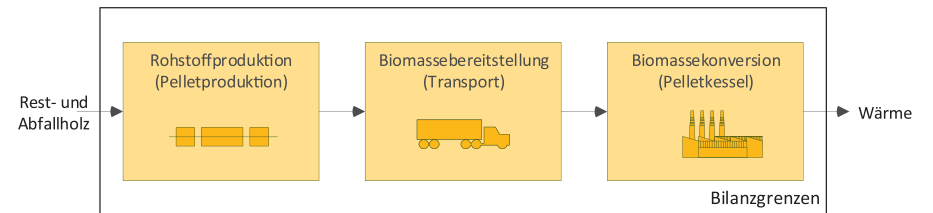


Abbildung 3: Prozesskette und Bilanzierungsrahmen Beispiel 2

3.2 Rohstoffproduktion: Produktion der Holzpellets

Da in diesem Fall keine Daten für die Rohstoffproduktion, also das Pelletieren vorliegen, wurde ein Emissionsfaktor für Pellets verwendet. Dieser ist in nachfolgender Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 10: Emissionsfaktoren
Einsatzstoffe und Energie

Emissionsfaktor Pellets

Einheit Emissionsfaktor
138 $\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$

(Swiss centre for life cycle inventories 2020)

3.3 Biomassebereitstellung: Transport der Pellets zur Anlage

In diesem Schritt werden nun die THG-Emissionen für den Transport der Pellets zur Konversionsanlage berechnet. Der Berechnung des Transportes liegen folgende Annahmen zugrunde:

Tabelle 11: Eingangsdaten Transport

Stoffe / Energie	Einheit	Wert
Transportierte Biomasse	t	24.000
Transportmittel		LKW 40t
Transportdistanz, beladen	km	50
Transportdistanz, entladen	km	50
Kraftstoffverbrauch, beladen	l/km	0,49
Kraftstoffverbrauch, entladen	l/km	0,25 ^[6]

Als Kraftstoff im Transportprozess wird Diesel eingesetzt, der entsprechende Emissionsfaktor ist nachfolgender Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Emissionsfaktoren Transport

Einsatzstoffe und Energie	Einheit	Emissionsfaktor
Emissionsfaktor Diesel	3,41	$\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{l}}$ (European Commission 2018)

Die THG-Emissionen für den Transportprozess pro kg Pellets werden wie folgt berechnet

$$\text{Emissionen Transport} = \frac{(50 \text{ km} \cdot 0,49 \text{ l/km} + 50 \text{ km} \cdot 0,25 \text{ l/km}) \cdot 3,41 \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{l}}}{24000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emissionen Transport} = 0,00526 \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg}} = 5,26 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$$

3.4 Emissionen aus der Konversion (Umwandlung der Biomasse in Wärme)

Die Konversion umfasst in diesem Beispiel die Verbrennung der Pellets in einem Pelletkessel zur Wärmebereitstellung und die mit dem Verbrennungsprozess verbundenen THG-Emissionen.

Tabelle 13: Eingangsdaten

Einsatzstoffe und Energie	Einheit	Emissionsfaktor
Einsatz elektrischer Strom	kW h/a	2400
Output CH ₄	g/a	33,75
Output N ₂ O	g/a	0,912
Output Wärme	MJ/a	972000

Die Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix und die Charakterisierungsfaktoren für die klimarelevanten Gase Methan und Lachgas können Tabelle 14 entnommen werden.

⁶ Daten für den Kraftstoffverbrauch in beladenem und entlademem Zustand wurden dem „Leitfaden Nachhaltige Biomasseherstellung“ BLE 2010 entnommen.

Tabelle 14: Emissionsfaktoren (EF) und Charakterisierungsfaktoren

Einsatzstoffe und Energie	Einheit	Emissionsfaktor
Emissionsfaktor Strommix DE	$\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kWh}}$	402,9 (Thrän und Pfeiffer 2021)
Einsatzstoffe und Energie	Einheit	Charakterisierungsfaktor ^[7]
(European Commission 2018)		
Emissionsfaktor CH ₄ ^[8]	$\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$	25 (European Commission 2018)
Emissionsfaktor N ₂ O	$\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$	298 (European Commission 2018)

Die Summe der Emissionen aus dem Konversionsprozess werden nun auf die jährlich erzeugte thermische Energie bezogen:

$$\text{Emissionen Konversion} = \frac{2400 \text{ kW h/a} \cdot 402,9 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} + 33,75 \text{ g/a} \cdot 25 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}} + 0,912 \text{ g/a} \cdot 298 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}}{972000 \text{ MJ/a}}$$

$$\text{Emissionen Konversion} = 0,996 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$$

3.5 Emissionen aus der Konversion (Umwandlung der Biomasse in Wärme)

In nachfolgender Tabelle 15 werden nun die jeweiligen Einsatzgrößen mit den spezifischen Emissionsfaktoren verschnitten und so die THG-Emissionen der einzelnen Prozesse berechnet.

Tabelle 15: Eingangsdaten zur Berechnung der THG-Emissionen^[9]

Bezeichnung	Menge	Emissionsfaktor	Emissionen $\left[\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{a}} \right]$
Produktion Pellets	59750 kg/a	$138 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$	59750 · 138 = 8245500
Transport Pellets	59750 kg/a	$5,26 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{kg}}$	59750 · 5,26 = 314295
Wärme Output	972000 MJ/a	$0,996 \frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$	972000 · 0,996 = 968112

⁷ Charakterisierungsfaktor nach IPCC 2007, entsprechend den Vorgaben der RED II. Dies in die Werte des 4. IPCC Sachstandsberichtes, die auch für die Treibhausgas-Emissionsberichterstattung verwendet werden. Neuere Wert des 5. Sachstandsberichtes (GWP100 CH₄ liegt bei 28, für N₂O bei 265) werden wohl zukünftig die derzeit geltenden Werte ersetzen.

⁸ Nach den Vorgaben der RED II sind die Emissionen aus der Nutzung des Biomasse-Brennstoffs zu berücksichtigen. Das bei der Biomasseverbrennung emittierte CO₂ im Abgasstrom wird nicht bilanziert. Die Menge entspricht näherungsweise der Menge CO₂, die während des Wachstums der Biomasse aus der Atmosphäre absorbiert wird. Neben CO₂ sind CH₄ und N₂O im Geltungsbereich der RED II.

⁹ In diesem Beispiel wurden die Eingangs- und Ausgangsgrößen je Jahr (a) angegeben. Oft erfolgt die Angabe je Stunde oder je Tonne Input. Wichtig ist bei der Datensammlung darauf zu achten, dass die Daten dieselbe Bezugsgröße haben und/oder Informationen bereitgestellt werden die eine Harmonisierung diesbezüglich gewährleisten.

Aus den in Tabelle 15 dargestellten THG-Emissionen lassen sich nun die spezifischen Gesamt THG-Emissionen bezogen auf 1 MJ Wärme berechnen.

3.6 Ermittlung der THG-Einsparung

Schließlich kann die THG-Einsparung berechnet werden. Dies erfolgt unter Berücksichtigung eines Referenzwertes entsprechend der im Kapitel 9 Referenzen im Methodenhandbuch angegebenen Emissionsfaktoren. Im hier betrachteten Beispielfall wurde als Referenzsystem ein fossil/erneuerbarer Wärmebereitstellungsmix gewählt. Der entsprechende Emissionsfaktor ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Emissionsfaktor Referenzsystem

Referenzsystem	Einheit	Emissionsfaktor
fossil/erneuerbaren Wärmebereitstellungsmix	62,6	$\frac{\text{g CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$

(Thrän und Pfeiffer 2021)

Die Einsparung der Wärme:

$$\text{Einsparung} = \frac{62,6 - 9,8}{62,6} \cdot 100 \%$$

$$\text{Einsparung} = 84,3 \%$$

Das heißt im Beispielfall würde sich eine spezifische THG-Einsparung von 84,3% ergeben.

3.7 Ermittlung der THG-Einsparung

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt die ermittelten spezifischen THG-Emissionen der Beispielrechnung und auf der sekundären y-Achse das THG-Minderungspotential gegenüber der gewählten Referenz, in diesem Fall die Bereitstellung von 1 MJ aus dem fossil/erneuerbaren Wärmebereitstellungsmix.

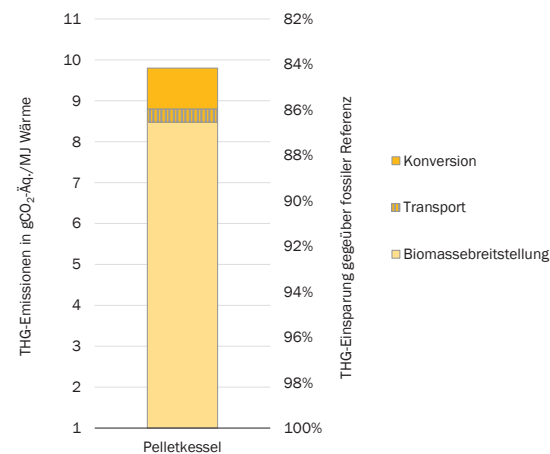


Abbildung 4: spezifische THG-Emissionen der Wärmebereitstellung über den Pelletkessel und die spezifische THG-Minderung gegenüber der definierten Referenz

LITERATURVERZEICHNIS

BLE (2010): Leitfaden Nachhaltige Biomasseherstellung. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Bonn.

European Commission (2018): DIRECTIVE (EU) 2018/ 2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 11 December 2018 - on the promotion of the use of energy from renewable sources 2018.

Swiss centre for life cycle inventories (2020): Ecoinvent v3.6 for umberto. Version.

Thrän, Daniela; Pfeiffer, Diana (Hg.) (2021): Methodenhandbuch. Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte. Methoden zur Bestimmung von Technologiekenwerten, Gestehungskosten und Klimagaseffekten von Vorhaben im Rahmen des BMWi-Forschungsnetzwerkes Bioenergie/BMWi-Förderbereich "Energetische Biomassenutzung". 5. Aufl. Leipzig: DBFZ (Schriftenreihe "Energetische Biomassenutzung", 4). Online verfügbar unter <https://www.energetische-biomassenutzung.de/arbeitsgruppen-methoden/methodenhandbuch>.

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Eingangsgrößen Biomassebereitstellung	6
Tabelle 2: Emissionsfaktoren	6
Tabelle 3: Eingangsdaten Transport	6
Tabelle 4: Emissionsfaktoren Transport	6
Tabelle 5: Eingangsgrößen für den Konversionsprozess	7
Tabelle 6: Emissionsfaktor (EF) Strommix	7
Tabelle 7: Eingangsdaten zur Berechnung der THG-Emissionen	8
Tabelle 8: Eingangsdaten für die Berechnung des Allokationsfaktors für Wärme	9
Tabelle 9: Emissionsfaktor Referenzsystem	10
Tabelle 10: Emissionsfaktoren	11
Tabelle 11: Eingangsdaten Transport	12
Tabelle 12: Emissionsfaktoren Transport	12
Tabelle 13: Eingangsdaten	12
Tabelle 14: Emissionsfaktoren (EF) und Charakterisierungsfaktoren	13
Tabelle 15: Eingangsdaten zur Berechnung der THG-Emissionen	13
Tabelle 16: Emissionsfaktor Referenzsystem	14

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Prozesskette und Bilanzierungsrahmen Beispiel 1	5
Abbildung 2: spezifische THG-Emissionen der Wärembereitstellung über das DampfKWK Konzept und die spezifische THG-Minderung gegenüber der definierten fossilen Referenz	10
Abbildung 3: Prozesskette und Bilanzierungsrahmen Beispiel 2	11
Abbildung 4: spezifische THG-Emissionen der Wärembereitstellung über den Pelletkessel und die spezifische THG-Minderung gegenüber der definierten Referenz	14