



Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

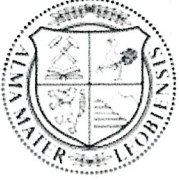
Masterarbeit



Vergleich biogener
Abfallbehandlungsmethoden mit Fokus auf
deren Klimaauswirkung

Theresa Lord, BSc

September 2023



MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN

www.unileoben.ac.at

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 17.09.2023



Unterschrift Verfasser/in
Theresa Lord

DANKSAGUNG

Diese Abschlussarbeit repräsentiert, wie der Name schon sagt, den Abschluss eines Lebensabschnittes. Allen Wegbegleitern und Unterstützern möchte ich ein herzliches Dankeschön übermitteln. Besondere Dankesworte gehen an dieser Stelle speziell an meine Familie und meinem Partner Thomas, die mich durch diese intensive und nicht immer einfache Zeit begleitet haben. Im Zusammenhang mit der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich bei Therese Schwarz-Bouvier, Thomas Nigl und dem Lehrstuhl für Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben unter Leitung von Dr. Roland Pomberger bedanken. Sie haben mir großes Vertrauen und Freiraum geschenkt, um dieses Projekt zu verwirklichen. Ich hoffe, mein Anteil an dieser Forschungsarbeit wird zukünftig zu weiteren Erkenntnissen und Entwicklungen führen. Ein weiterer besonderer Dank geht auch an die Firmenpartner und deren Ansprechpartner, durch eure Hilfe und Daten diese Arbeit zum Leben erweckt wurde.

Kurzfassung

Vergleich biogener Abfallbehandlungsmethoden mit Fokus auf deren Klimaauswirkung

Nachhaltiges Leben und Wirtschaften rückt immer mehr in den Fokus der Gesellschaft und der Politik. Umfassende gesetzliche Regelungen und ambitionierte Klimaziele setzen neue Standards in allen Sektoren der Wirtschaft, so auch im Umgang mit Abfällen. Kreislaufwirtschaftliche Bestrebungen sollen helfen, Abfälle zu vermeiden und den Produktzyklus ganzheitlicher zu denken. Die zugrundeliegenden Prozesse und deren CO₂-Fußabdruck rücken dadurch weiter in den Fokus.

In der vorliegenden Arbeit werden die Behandlungsprozesse des Abfallstroms der biogenen Abfälle, in Bezug auf deren Klimaauswirkungen, näher beleuchtet. Um den Sachverhalt darzustellen wurden von Partnerbetrieben Daten erhoben und Sachbilanzen erstellt. Auf Grund der verfügbaren Daten wurden die Verwertungswege im Zusammenhang mit Biogasanlagen und Kompostierung im Detail betrachtet. Die Herstellung von Biodiesel aus Altöl wird aufgegriffen jedoch nur an Hand von Literaturwerten behandelt. Unter Einbezug von gesetzlichen Rahmenbedingungen wird die Vergleichbarkeit der Berechnungs- und Darstellungsmethoden der unterschiedlichen Verfahren evaluiert und Verbesserungsbedarf aufgezeigt.

Das Ergebnis zeigt die Anwendbarkeit der Bilanzierungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie für alle drei Verfahren, jedoch ist eine Vergleichbarkeit der Werte durch die unterschiedliche Wahl der funktionellen Einheiten schwierig. Die Werte für die Biogaserzeugung liegen im Bereich von 0,4 – 25 g CO₂ äq. / MJ, die der Biodieselerzeugung 16 – 35 g CO₂ äq. / MJ und die der Kompostierung im Bereich von 107 – 128 kg CO₂ äq. / t Input. Unterschiede können Großteils auf Luftemissionen, Gutschriften für Emissionseinsparungen und Transportwege zurückgeführt werden.

Abschließend werden die Verfahren bzw. deren Produkte ihren fossilen Alternativen gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Produkte der Verwertung von biogenen Abfällen Vorteile gegenüber den fossilen Referenzsystemen aufweisen.

Abstract

Comparison of organic waste treatment techniques with special emphasis on their climate impact

Environmental and economic sustainability is becoming a key factor in the life of people and in politics. Comprehensive legal regulations and ambitious climate goals are indicating new standards in all branches including the waste management sector. The pursuit to a circular economy leads to a holistic view on the product-lifecycle and places a stronger focus on all processes and their CO₂ footprint nowadays.

This thesis concentrates on organic waste treatment and the related processes with a special emphasis on their climate impact. To perform a life-cycle analysis (LCA) data was obtained from partner companies. Detailed analyses were conducted for biogas and composting treatments. The process and impact of biofuels is presented by data from literature. The comparison of the processes is being discussed considering all legal regulations and potential for improvement.

The outcome of the study shows the applicability of the LCA method published by renewable directive for all three processes. However due to different functional units, the comparability is limited. The results show numbers between 0,4 – 25 g CO₂ äq. / MJ for biogas treatment, 16 – 35 g CO₂ äq. / MJ for biofuels and 107 – 128 kg CO₂ äq. / t input for composting treatment. The differences are mainly explained by air emissions, bonuses for emission savings and transport distances.

In contrast to the results the processes and products are compared to the fossil alternatives. The results prove the benefits connected to climate effect of the products of biological treatment.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	2
1 EINLEITUNG	4
1.1 Problemstellung	4
1.2 Zielsetzung	5
2 GRUNDLAGEN	7
2.1 Biogene Abfälle.....	7
2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen	8
2.2.1 Abfallrahmenrichtlinie.....	10
2.2.2 Erneuerbaren-Richtlinie	11
2.3 Grundlagen der Verwertungsmethoden	12
2.3.1 Biogas.....	12
2.3.2 Kompostierung.....	14
2.3.3 Biodiesel	15
2.4 Vergleich mit fossilen Quellen.....	17
2.4.1 Gas.....	18
2.4.2 Substrat / Torf	19
2.4.3 Diesel.....	20
3 MATERIAL UND METHODIK.....	22
3.1 Grundlagen zu Bewertungsbilanzen	22
3.1.1 ISO 14040:2021.....	22
3.1.2 Bewertungsmethoden nach Erneuerbaren-Richtlinie	23
3.2 Spezifische Festlegungen	24
3.3 Systemgrenzen	24
3.4 Anforderungen an Daten.....	25
3.5 Emissionsbilanz	25
3.5.1 Berechnung Biogas.....	25
3.5.2 Berechnung Kompostierung.....	31
4 ERGEBNISSE.....	34
4.1 Bewertung nach Abfallrahmenrichtlinie.....	34
4.2 Vergleich der Methoden der Verwertungswege	35
4.3 Ergebnisse der Sachbilanzen	36

4.3.1	Ergebnisse und Bewertung der Gesamtemissionen von Biogas	36
4.4	Ergebnisse und Bewertung der Gesamtemissionen der Kompostierung	39
4.4.1	Bewertung der Gesamtemissionen der Biodieselproduktion	40
4.4.2	Referenzsysteme	41
5	DISKUSSION	42
6	ZUSAMMENFASSUNG	46
7	QUELLENVERZEICHNIS	48
7.1	Tabellen	50
7.2	Formelverzeichnis	51
ANHANG	I

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
abh.	abhängig
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Circa
CH ₃ KO	Kaliummethylat
CH ₃ NaO	Natriummethylat
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
CP-Anlage	Chemisch-Physikalische Anlage
EF	Emissionsfaktor
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
FM	Frischmasse
g	Gramm

GJ	Gigajoule
h	Stunde
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
ha	Hektar
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KOH	Kaliumhydroxid
kwh	Kilowattstunde
l	Liter
LKW	Lastkraftwagen
LNG	Liquified natural gas
MBA	Mechanisch-Biologische-Anlage
Mio.	Millionen
MJ	Megajoule
N ₂ O	Lachgas
NaOH	Natriumhydroxid
NH ₃	Ammoniak
RED	Renewable Energy Directive (Erneuerbaren-Richtlinie)
t	Tonnen
TM (oTM)	Trockenmasse (organische Trockenmasse)
UN	United Nations – Vereinte Nationen
VOEB	Verein Österreichischer Entsorgungsbetriebe

1 Einleitung

Die europäische sowie die österreichische Wirtschaft steht vor der großen Aufgabe klimaneutral und in weiterer Folge „Krisen-Fit“ zu werden. Die Europäische Union setzt hier mit dem „Green Deal“, einen Fokus auf eine auf ökologische und soziale Nachhaltigkeit basierende Wirtschafts- und Wachstumsstrategie (*Der europäische Grüne Deal*. Europäische Kommission, 2019).

Die Ziele für 2030 sind hochgesteckt und beinhalten:

- Reduzierung von min. 40 % Treibhausgase (Referenzjahr 1990)
- Deckung von 32 % des Energieverbrauchs mit erneuerbaren Energien
- Erhöhung der Energieeffizienz um 32,5 % (Europäische Kommission, 2023b)

Basierend auf den europäischen Zielvorgaben zur Reduktion von Treibhausgasemissionen werden die Themen Energiewende, Substitution von Materialien und damit effiziente, kreislauforientierte Behandlungsprozesse in den Mittelpunkt der wirtschaftlichen und politischen Diskussion gerückt, bis hin zum Erlass von periodisch immer strengeren und umfassenderen Richtlinien und Verordnungen. Um mit den Entwicklungen Schritt zu halten bzw. einen Schritt voraus zu sein, liegt es an den einzelnen Wirtschaftszweigen ihre Auswirkungen auf das Klima, ihr Einsparungs- und Substitutionspotential zu erheben, zu kennen und zu nutzen. Dies gilt auch für die Kreislauf- und Abfallwirtschaft.

Die Treibhausgasemissionen Österreichs werden im Klimaschutzbericht des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2022 mit 73,6 Mio. t Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (CO₂-Äquivalent) beziffert. Der Anteil der Abfallwirtschaft stammt vorwiegend aus der Abfallverbrennung und der Deponierung, wobei der Anteil des Beitrags der Deponierung aufgrund des Deponierungsverbotes zurückgeht und die Anteile der sonstigen Anlagen zur Abfallverwertung und -beseitigung steigen. Die dokumentierten Treibhausgase der Abfallwirtschaft beliefen sich auf 2,3 Mio. t Kohlenstoffdioxid-Äquivalent. Recyclingaktivitäten werden in den Statistiken für den Bereich der Abfallwirtschaft nicht berücksichtigt (Umweltbundesamt AT, 2022).

Die Komplexität des Sektors Abfallwirtschaft ist hervorzuheben, denn dieser setzt sich aus rund 3.200 Anlagen zur Abfallverwertung und -beseitigung bzw. Vorbehandlung von unterschiedlichsten Abfallströmen zusammen (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023). Die Erhebung und genaue Identifikation der Einflüsse von einzelnen Anlagen und Abfallströme gilt es abzubilden, um die ambitionierten österreichischen und europäischen Ziele einschätzen und erreichen zu können.

1.1 Problemstellung

Österreich ist ein Land der klein- und mittelständischen Betriebe, dies spiegelt sich auch in der Abfallwirtschaft wider. Neben einer Handvoll internationaltätiger Unternehmen, teilen sich eine Vielzahl an kommunalen sowie privaten Betrieben die Verantwortung des jährlich anfallenden

Gesamtabfallaufkommens von rund 69,81 Mio. t (2020) (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023).

Der Verband der Österreichischer Entsorgungsbetriebe (VOEB) hat erkannt, dass zwar Daten zu Energieeinsätzen in Entsorgungsbetrieben vorhanden sind, jedoch die positiven Aktivitäten der Branche nicht ausreichend sichtbar und anerkannte Methoden zur spezifischen Darstellung des Klimabeitrags fehlen. Das Forschungsprojekt **Klima+[A]** wurde ins Leben gerufen, um die umfassenden und immer wichtiger werdenden Recyclingaktivitäten der Branche entsprechend darzustellen und bewerten zu können.

In dieser Abschlussarbeit wird, als Teil des Projektes Klima+[A], der Abfallstrom der biogenen Abfälle näher beleuchtet. Die Abfallhierarchie als strategisches Instrument soll eine Einordnung der Behandlungswege von biogenen Abfällen ermöglichen und Kreislaufwirtschafts- und parallel Klimaschutzbemühungen fördern.

Biogene Abfälle als Wertstoffe können verschiedene Behandlungswege gehen. Innerhalb der Forschungsarbeit sollen die drei Verfahren betrachtet werden: Kompostierung, Herstellung von Biogas bzw. Biodiesel. Es ist von Interesse diese unterschiedlichen Verfahren und die jeweiligen Outputprodukte auf deren Klimarelevanz zu vergleichen. Für die Einordnung ist auch die Emissionsbilanzierung als methodisches Werkzeug relevant.

1.2 Zielsetzung

Ziel der wissenschaftlichen Arbeit ist es, einerseits biogene Behandlungsprozesse und deren Produkte (Kompost, Biogas und Biodiesel) vergleichend darzustellen und andererseits die aktuelle Situation in Österreich sowie die Einflussparameter auf Emissionen der Abfallwirtschaft aufzuzeigen. Die von (Projekt-)Partnern erhobenen Emissionen von Prozessen sollen auf ihre Klimaauswirkung analysiert werden. Die bereits bestehenden Bewertungsstrukturen des Stoffstroms Biodiesel sollen als Anhaltspunkt für weitere Ströme dienen. Die Anwendbarkeit bzw. die Adaptierbarkeit ist jedoch zu prüfen und gegebenenfalls die Methode abzuändern.

Basis für die Forschungsarbeit ist eine Literaturrecherche sowie Datenerhebungen bei Partnerunternehmen. Im ersten Schritt ist zu bewerten, wie die Erzeugung von Kompost und Biodiesel sowie die Vergärung biologischer Abfälle in Biogasanlagen unter Berücksichtigung der europäischen Abfallhierarchie einzuordnen ist.

Im nächsten Schritt wird anhand der klimarelevanten Daten eine Emissionsbilanz erstellt. Die relevanten bilanziellen Rahmenbedingungen und Kriterien für die Vergleichbarkeit der Klimabilanzierung verschiedener biogener Abfallströme sind zu definieren. Zum Abschluss werden Vor- und Nachteile der drei Technologien in Hinblick auf Entstehung klimaschädlicher Emissionen und Ressourcenschonung zum Vergleich von Referenzsystemen bewertet.

Konkret wurden folgende Forschungsfragen definiert:

- Wie ist die Erzeugung von Kompost, Biodiesel und die Vergärung biologischer Abfälle in Biogasanlagen unter Berücksichtigung der europäischen Abfallhierarchie zu bewerten?
- Durch die Erhebung klimarelevanter Daten sollen für Biogasanlagen und Kompostierung Emissionsbilanzen erstellt werden. Welche bilanziellen Rahmenbedingungen und Kriterien sind für die Vergleichbarkeit der Klimabilanzierung verschiedener biogener Abfallströme wichtig?
- Was sind die Vor- und Nachteile der drei Technologien in Hinblick auf Entstehung klimaschädlicher Emissionen und Ressourcenschonung im Vergleich zu Referenzsystemen?

2 Grundlagen

2.1 Biogene Abfälle

Biogene Abfälle bzw. Bioabfall werden in der EU-Abfallrahmenrichtlinie als „*biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle, Nahrungs- und Küchenabfälle aus Haushalten, aus dem Gaststätten- und Cateringgewerbe und aus dem Einzelhandel sowie vergleichbare Abfälle aus Nahrungsmittelverarbeitungsbetrieben*“ definiert (Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG. Europäische Union, 2008).

Die österreichische Gesetzgebung definiert den Begriff biogene Abfälle, in der Verordnung über die getrennte Sammlung biogener Abfälle – BGBl. Nr. 68/1992 idgF. Biogene Abfälle sind Abfälle, die einen hohen organischen, biologisch abbaubaren Anteil für aerobe und anaerobe Verwertung geeignet sind und folgenden Kategorien, die nachfolgend aus der Verordnung zitiert sind, entsprechen.

...,1. natürliche, organische Abfälle aus dem Garten- und Grünflächenbereich, wie insbesondere Grasschnitt, Baumschnitt, Laub, Blumen und Fallobst;

2. feste pflanzliche Abfälle, wie insbesondere solche aus der Zubereitung von Nahrungsmitteln;

3. pflanzliche Rückstände aus der gewerblichen und industriellen Verarbeitung und dem Vertrieb land- und forstwirtschaftlicher Produkte;

4. Papier, sofern es sich um unbeschichtetes Papier, welches mit Nahrungsmitteln in Berührung steht oder zur Sammlung und Verwertung von biogenen Abfällen geeignet ist, handelt (Getrennte Sammlung biogener Abfälle. Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie, 1992).

Das österreichische Abfallaufkommen im Bereich der biogenen Abfälle lag im Jahr 2020 bei 3,34 Mio.t. Dies entspricht ca. 4,78 % des gesamten Abfallaufkommens von 69,81 Mio t. Die Zahlen enthalten getrennt erfasste biogene Abfälle („Biotonne“, Garten – und Parkabfälle, Speiseöle und Fette, Rechengut, ...) sowie auch den Anteil der biogenen Abfälle, der in der Sammlung der gemischten Siedlungsabfälle („Restmülltonne“), anfällt (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023).

In Abbildung 1 werden die Verwertungs- und Behandlungswege des Stoffstroms biogene Abfälle dargestellt.

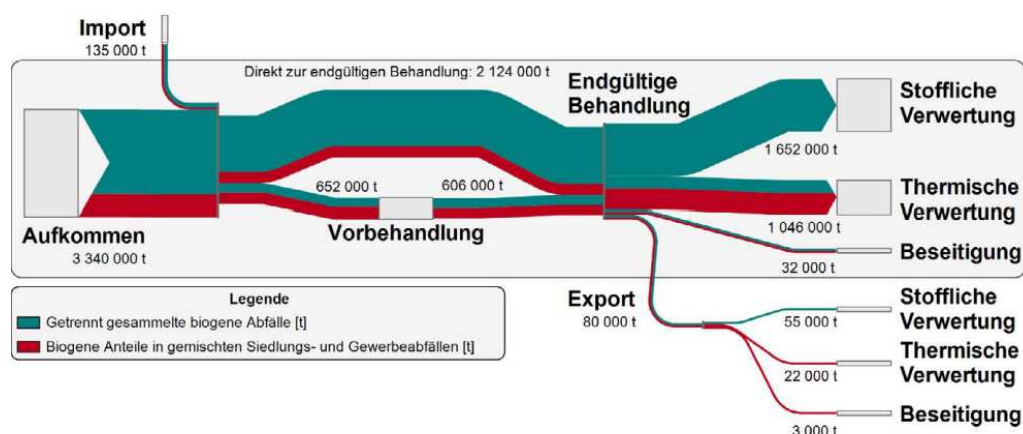


Abbildung 1: Fließbild der Verwertungswege von biogenen Abfällen nach BAWP 2023

Zur Vorbehandlung wurden Sortier- und Aufbereitungsanlagen, mechanisch-biologische Anlagen (MBA) oder chemisch-physikalische Anlagen (CP-Anlagen) herangezogen. Als endgültige Behandlung gelten Kompostieranlagen (895.000 t), Biogasanlagen (499.000 t) und sonstige Recyclinganlagen, vorwiegend zur Herstellung von Biodiesel (229.000 t) sowie zur Herstellung von Ziegelerzeugnissen (64.000 t). Der Bundesabfallwirtschaftsplan 2023 ordnet diese Verfahren der Kategorie stoffliche Verwertung zu. Die restlichen 38 % wurden thermisch verwertet und 1 % beseitigt. Im Bereich der biogenen Abfälle wird, wie in Abbildung 1 ersichtlich, ein kleiner Anteil importiert und exportiert (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023).

Grundsätzlich stehen in Österreich die folgenden, in Tabelle 1 dargestellten, Anlagen zur Verwertung von biogenen Abfällen zur Verfügung (ohne rein thermischer Verwertung).

Tabelle 1: Verwertungsanlagen für biogene Abfälle in Österreich

Art der Anlage		Anzahl
Mechanisch-biologische (MBA)	Behandlungsanlagen	14
Anaerobe biologische (Biogasanlagen)	Behandlungsanlagen	59 davon 45 Anlagen bei Kläranlagen, die biogene Abfälle mitbehandeln
Aerobe biologische (Kompostierungsanlagen)	Behandlungsanlagen	404
Recyclinganlagen und stofflichen Verwertung	Anlagen zur sonstigen	8

Der Bundesabfallwirtschaftsplan 2023 prognostiziert ein gleichbleibendes Abfallaufkommen für die nächsten Jahre. Besonderes Potential liegt in den biogenen Anteilen im gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen, der bei ca. 30 % liegt. Zukünftig werden Öffentlichkeitsarbeit und technische Lösungen benötigt, um hier noch einen Trend in Richtung Verwertung und Qualitätsgewinn bereits in der Sammlung zu erzeugen (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023).

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Klimaziele und nachhaltige Entwicklung nehmen immer mehr Einzug in (politische) Entscheidungen in Form von Empfehlungen bis hin zu rechtlichen Vorgaben. Die Vereinten Nationen geben mit den Zielen für nachhaltige Entwicklung die Rahmenbedingungen vor und adressieren Maßnahmen zum Klima besonders im Ziel 13 (Vereinte Nationen, 2023).

Die Europäische Union will bei der Umsetzung eine Vorreiterrolle einnehmen und fokussiert eine auf ökologische und soziale Nachhaltigkeit basierende Wirtschafts- und

Wachstumsstrategie. Diese umfasst, wie in Abbildung 2 dargestellt, ambitionierte Klimaziele, eine Entwicklung zur Kreislaufwirtschaft, die Energiewende und eine schadstofffreie Umwelt.

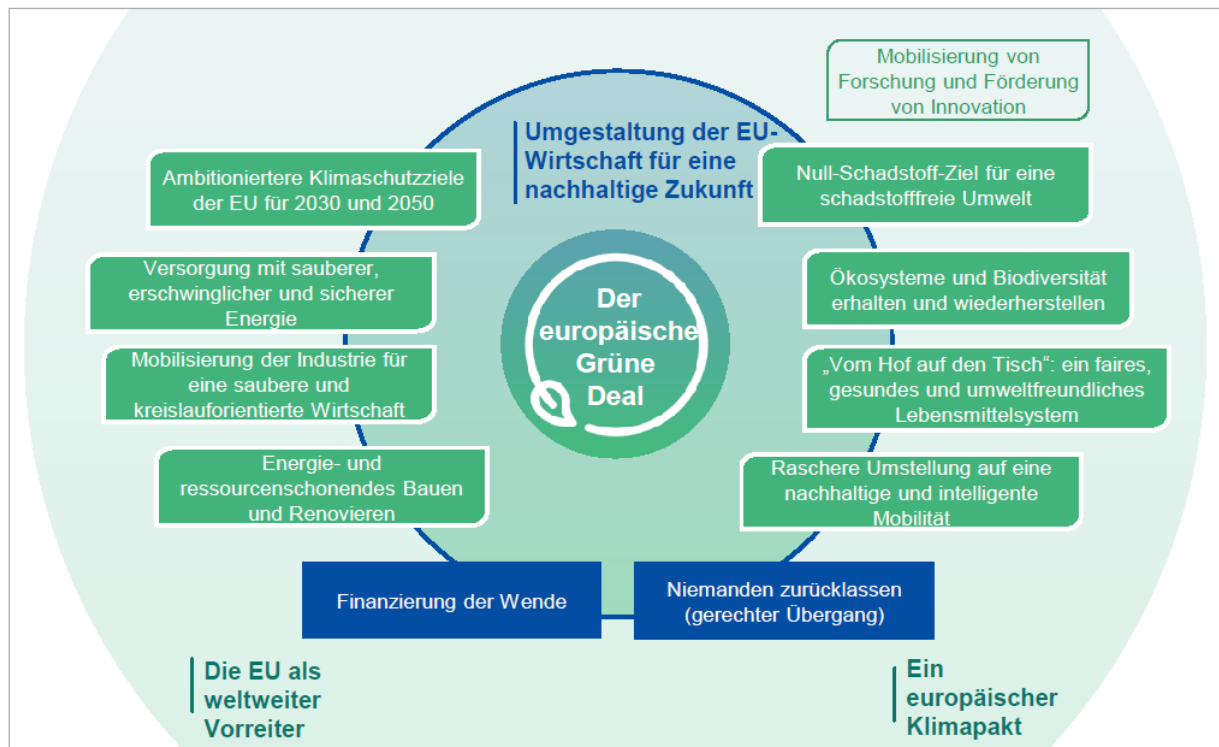
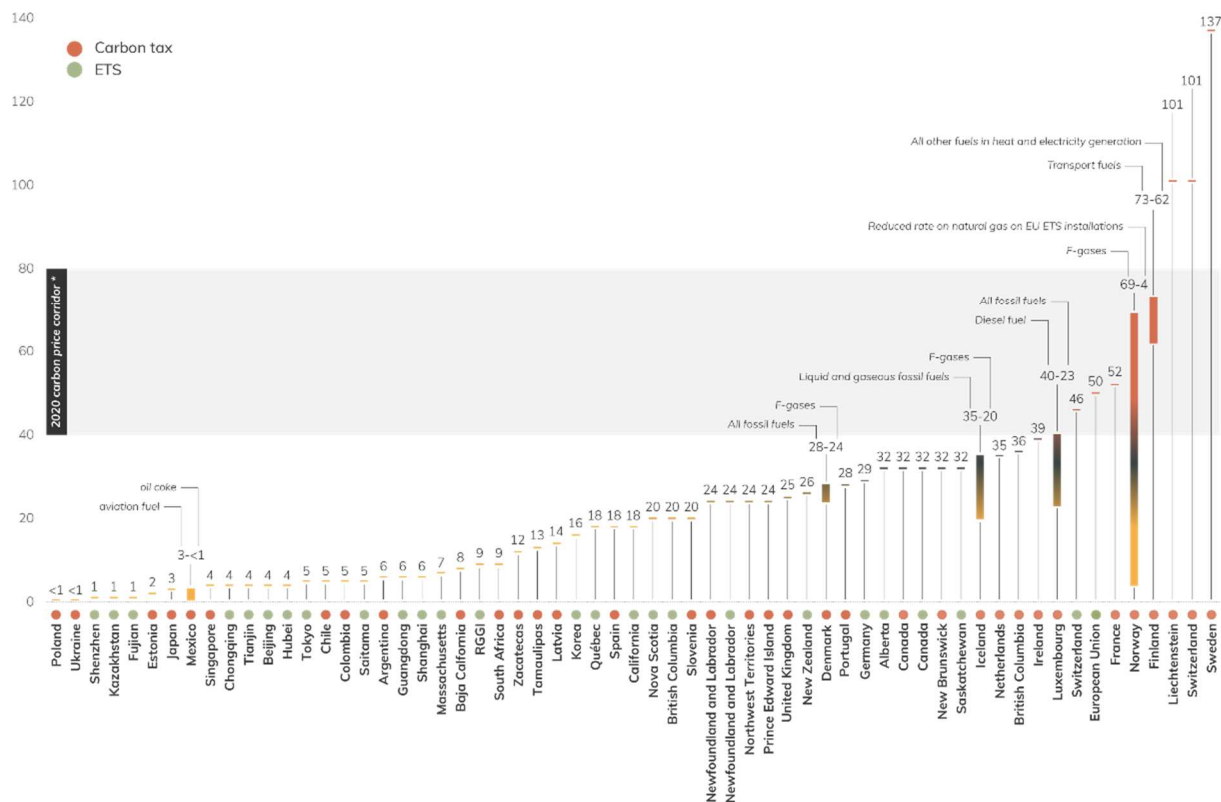


Abbildung 2: Ziele des europäischen Grünen Deals (*Der europäische Grüne Deal*. Europäische Kommission, 2019)

Die Umsetzung der Ziele wird durch Richtlinien und Verordnungen unterstützt. Im Bereich der Energie wird auf erneuerbare Energiequellen gesetzt und die Richtlinie zur Förderung von erneuerbaren Energiequellen herausgegeben.

Zur Begrenzung und zur Bepreisung von Emissionen wurden von einzelnen Ländern Steuern auf Emissionen oder Emissionshandelssysteme (en: emission trading system, ETS) eingeführt. Auf europäischer Ebene wurde das europäische Treibhaus-Handelssystem eingeführt. Dieses gilt derzeit für Unternehmen im Bereich der Energieumwandlung und -umformung, der Eisenerzeugung und -verarbeitung, der mineralverarbeitenden Industrie sowie in sonstigen Industriezweigen wie Zellstoff- oder Papierindustrie (Europäische Union, 2003). Eine Erweiterung auf andere Industriezweige bzw. einen indirekten Einfluss auf viele Bereiche ist auf Grund der Komplexität der Wirtschaftszusammenhänge und politischen Entwicklungen zu erwarten. Die Umsetzung erfolgt in verschiedenen Phasen, wobei die Emissionen und die dazugehörigen Zertifikate begrenzt werden. In der derzeit aktuellen Phase 4 (2021 und 2030) werden die Emissionszertifikate um den Faktor 2,2 % reduziert. Der Basis-Wert von 1.571.583.007 Zertifikaten (allowances) wurde 2021 festgelegt (Europäische Union, 2020). In Abbildung 3 sind die zum Stand 1. April 2021 geltenden Preise pro Tonne CO₂-Emission im weltweiten Vergleich dargestellt.



Nominal prices on April 1, 2021, shown for illustrative purpose only. China national ETS, Mexico pilot ETS and UK ETS are not shown in this graph as price information is not available for those initiatives. Prices are not necessarily comparable between carbon pricing initiatives because of differences in the sectors covered and allocation methods applied, specific exemptions, and different compensation methods.

* The 2020 carbon price corridor is the recommendation of the World Bank's 2017 High-Level Commission on Carbon Prices Report.

Abbildung 3: Vergleich weltweiter Steuern bzw. Preise je Tonne CO₂ (International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2021)

In Österreich wurden im nationalen Emissionszertifikatehandelsgesetz 2022 Preise pro Tonne CO₂ festgelegt. Der Startwert lag 2022 bei 30 € / t CO₂. Der Wert erhöht sich jährlich und liegt im Jahr 2023 bei 35 € / t CO₂ und wird 2025 bereits bei 55 € / t CO₂ liegen (NEHG 2022. Bundesministerium für Finanzen, 2022).

2.2.1 Abfallrahmenrichtlinie

Das Thema Abfall- und Kreislaufwirtschaft wird in der EU-Abfallrahmenrichtlinie behandelt. Die Abfallrahmenrichtlinie ist ein europäisches Regelwerk der Abfallpolitik mit dem Ziel der Minimierung von negativen Folgen der Abfallerzeugung und -bewirtschaftung für Mensch und Umwelt. Einen wesentlichen Anteil stellt auch die Reduzierung von Rohstoffen und Ressourcen dar, sowie die Umsetzung der Abfallhierarchie.

Die Abfallhierarchie ist definiert als eine Priorisierung der zu setzenden Maßnahmen. Beginnend mit Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung bis zur Beseitigung und ist in Abbildung 4 bildlich dargestellt.

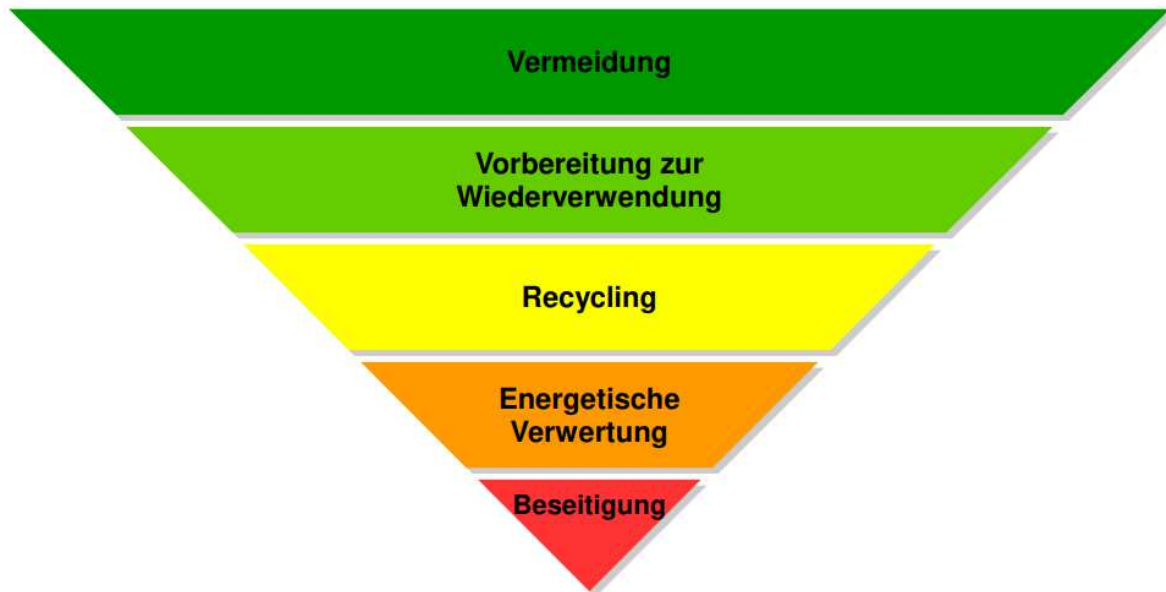


Abbildung 4: Abfallhierarchie (eigene Darstellung)

Die Richtlinie enthält unter anderem Vorgaben für ausgewählte Abfallströme. Biogene Abfallströme werden im Artikel 22 unter der Überschrift „Bioabfälle“ adressiert sowie auch Altöl in Artikel 21. Für Bioabfälle sind Maßnahmen zur getrennten Sammlung zum Zweck der Kompostierung und Vergärung vorgesehen.

Altöl ist, sofern technisch möglich, getrennt zu sammeln und sortenrein zu halten. Eine Vermischung von verschiedenen Qualitäten ist zu vermeiden, wenn dies die weitere Behandlung verhindert. Mitgliedstaaten können Vorgaben zu technischen Anforderungen zur Behandlung und zur Herstellerverantwortung im gesetzlichen Rahmen erlassen. Die grenzüberschreitende Verbringung ist zu beschränken.

2.2.2 Erneuerbaren-Richtlinie

In der europäischen Richtlinie 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen wurde ein verbindliches Ziel von mindestens 32 % aus erneuerbaren Quellen stammender Energie gemessen am Bruttoendenergieverbrauch bis zum Jahr 2030 definiert.

Im Rahmen der Betrachtung der Klimaauswirkungen sind besonders die Vorgaben aus Artikel 29 - 31 zu den Nachhaltigkeitskriterien für Treibhausgaseinsparungen für Biokraftstoffe, flüssige Brennstoffe und Biomasse-Brennstoffe, deren Einhaltung sowie die Berechnung des Beitrags zum Treibhauseffekt relevant. Zusammengefasst sichern die Nachhaltigkeitskriterien, dass zur Produktion von Biokraftstoffen oder Energie aus Biomasse keine Flächen mit hoher biologischer Diversität und hohem Kohlenstoffgehalt verwendet und geschädigt werden, eine Rückverfolgbarkeit der Herkunft der In- und Outputströme vorliegt und tatsächlich eine Einsparung von Treibhausgasen erreicht wird. Einen relevanten negativen

Beitrag liefern besonders die indirekten Landnutzungsänderungen. Diese können die Treibhausgaseinsparungen einzelner Biokraftstoffe, flüssiger Biobrennstoffe oder Biomasse-Brennstoffe ganz oder teilweise aufheben. Zur Vergleichbarkeit der Treibhausgaseinsparungen wurden auch einheitliche Berechnungsregelungen und Standardwerte festgelegt und im Anhang der Verordnung dargestellt (Europäische Union, 2018).

Die Richtlinie sieht ein Zertifizierungsschema vor. Die europäische Kommission akzeptiert bisher 15 freiwillige und nationale Zertifizierungsschemata. Darunter fällt auch das von der Agrar Markt Austria (AMA) verwaltete „Austrian Agricultural Certification Scheme“ (Europäische Kommission, 2023c).

2.3 Grundlagen der Verwertungsmethoden

2.3.1 Biogas

Im Jahr 2019 waren in Österreich 283 Anlagen bei der Abwicklungsstelle für Ökostrom – OeMAG – für die Erzeugung von Biogas gelistet (E-Control, 2020). Davon behandeln laut Abfallwirtschaftsplan 59 Anlagen (45 als Teil einer Kläranlage) unter anderem Abfälle (Bundesministerium für Klimaschutz Umwelt Energie Mobilität Innovation Technologie; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023). Die produzierte Menge wird vorwiegend zur Erzeugung von Strom und Wärme verwendet. Dies kann sowohl über Einspeisung in das Netz oder durch direkte Verbrennung in einem Motor (z.B. Blockheizkraftwerke) erfolgen. Die eingespeisten Mengen beliefen sich auf 561,41 GWh (2019) elektrischer Energie durch verstromtes Biogas (E-Control, 2020). Angaben über die gesamte direkt produzierte Biogasmenge sind nicht verfügbar (Bundesministerium für Klimaschutz Umwelt Energie Mobilität Innovation Technologie).

Der Prozess der Biogasproduktion besteht aus mehreren Teilschritten (sh. Abbildung 5). Zu Beginn steht die Biogaserzeugung, gefolgt von einem Aufbereitungsschritt und einer anschließenden Konditionierung. Mögliche Inputstoffe, auch Gärsubstrat genannt, sind Anbaubiomasse (Mais-, Gras- und Getreidesilage, Getreide oder Zuckerrüben), Düngemittel sowie Abfall- und Reststoffe (Lebensmittel- und Küchenabfälle, div. biogene Abfälle) (Oehmichen et al., 2015).

In Österreich lag der Einsatz von biogenen Abfällen für die Erzeugung von Biogas im Jahr 2020 bei ca. 728.000 t. Die größten Einsatzmengen beziehen sich auf die folgenden Schlüsselnummern (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023):

- SN 92450 Mischungen von Abfällen der Abfallgruppen 924 und 921, die tierische Anteile enthalten, zur Vergärung
- SN 92425 Molkereiabfälle
- SN 92402 Küchen- und Speiseabfälle, die tierische Speisereste enthalten

- SN 92403 Speiseöle und -fette, Fettabscheiderinhalte, tierisch oder tierische Anteile enthaltend
- SN 92106 Ernte- und Verarbeitungsrückstände

Zur Erzeugung von Biogas aus den oben genannten Einsatzstoffen können Nass- oder Feststoffvergärungsmethoden, in kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Verfahren, angewandt werden, wobei die Nassvergärung die derzeit verbreitetste Technik ist. Ein bestmöglicher Betriebszustand wird durch ein homogenes Substrat-Wassergemisch und einer möglichst hohen spezifischen Oberfläche erreicht. Methoden zur Vorbehandlung sind unter anderem Zerquetschen, Zerkleinern, Befeuchten oder die Abtrennung von festen Phasen und Hygienisierungsschritte. In Abbildung 5 sind die einzelnen Teilschritte der Biogaserzeugung in einem Prozessflussbild dargestellt.

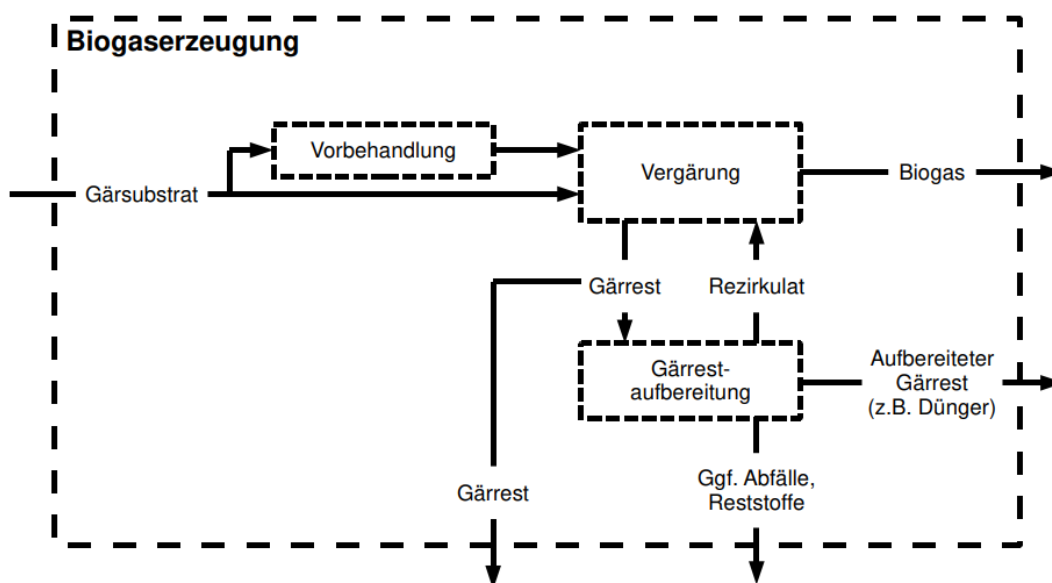


Abbildung 5: Prozessflussbild der Biogaserzeugung (eigene Darstellung nach (Oehmichen et al., 2015).)

Im ersten Schritt der Biogaserzeugung wird das Gärssubstrat in einem Fermenter durch einen anaeroben Vergärungsprozess abgebaut und es entwickelt sich Gas mit einem Methangehalt von rund 60 % (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021). Dieses Ersterzeugnis beinhaltet neben Methan (CH_4) noch Kohlenstoffdioxid (CO_2) und geringe Mengen Wasser (H_2O) sowie Schwefelwasserstoff (H_2S). Es können mehrere Fermenter parallel oder in Serie geschaltet werden, um ideale Prozessbedingungen zu schaffen. Besonderen Einfluss haben der pH-Wert, die Temperatur, die Durchmischung und die Prozessbiologie. Ein Temperaturoptimum liegt im Bereich zwischen 37 °C und 42 °C. Diese Temperatur muss je nach Jahreszeit und Reaktionswärme kontrolliert werden und bei Bedarf externe Heizung oder Kühlung zur Verfügung gestellt werden. Die Durchmischung kann mithilfe eines Rührwerks oder durch die Umsetzung eines Pfropfenstromverfahrens sichergestellt werden. Die Mikroorganismen müssen abhängig vom Substrat mit zusätzlichen Makro- und Mikronährstoffen versorgt werden, um eine kontinuierliche und maximale Gasausbeute zu erreichen.

Das erzeugte Biogas wird wahlweise zwischengespeichert oder in einem konstanten Gasstrom an die Biomethanaufbereitung weitergeleitet. Der entstandene Gärrest wird ausgetragen und kann in einen Nachgärbehälter geführt werden, um den Gasertrag noch zu erhöhen. Der Gärrest wird zur bestmöglichen Verwertung aufbereitet und in eine Fest- und eine Flüssigphase getrennt.

In der Biogasaufbereitung werden die Störstoffe, wie Kohlendioxid, Wasser und Schwefel, in einem Aufbereitungsschritt ausgeschleust. Diese weiteren Schritte hängen vom Einsatz des Gases ab. Der lokale Einsatz in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bedarf weniger Aufbereitungsschritte als beispielsweise die Einspeisung ins Gasnetz. Zur weiteren Verwendung im Erdgasnetz müssen nach lokalen Erfordernissen definierte Qualitätskriterien erfüllt werden (Oehmichen et al., 2015).

Co-Fermentierung

Unter Co-Fermentierungs-Anlagen werden Faultürme von Abwasserreinigungsanlagen, in denen Abfälle mitvergoren werden, verstanden. Diese werden im Bundesabfallwirtschaftsplan unter den anaeroben biologischen Behandlungsanlagen miterfasst (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021).

2.3.2 Kompostierung

Die Herstellung von Kompost beruht auf verfahrenstechnisch gesteuerten aeroben Prozessen. Die Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001) regelt in Österreich die Qualitäten der Ausgangsmaterialien sowie das Abfallende und definiert die Kompostierung als

„...die gesteuerte exotherme biologische Umwandlung abbaubarer organischer Materialien in ein huminstoffreiches Material mit mindestens 20 Masseprozent organischer Substanz“ (Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2001).

Der Prozess der Kompostierung setzt sich aus Sammlung und Transport der Ausgangsmaterialien, gegebenenfalls einer Aufbereitung, dem Rotteprozess und der Nachlagerung zusammen und ist in Abbildung 6 dargestellt (Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, 2009).

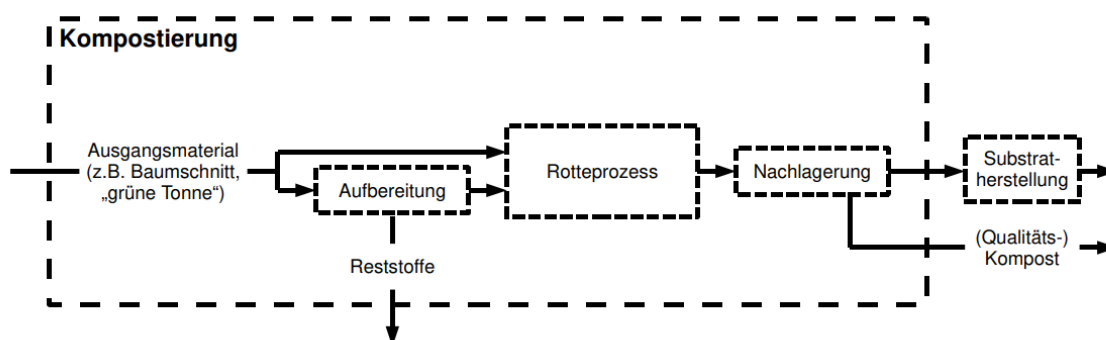


Abbildung 6: Prozessflussbild der Kompostierung (eigene Darstellung)

Bei der Herstellung wird zwischen verschiedenen Rottesystemen, wie offenen, teilgeschlossenen und geschlossenen Systemen, unterschieden. Die jeweils mit oder ohne Zwangsbelüftung betrieben werden können (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023; Lampert, 2015). Dabei werden die Ausgangsmaterialien als Mieten aufgesetzt. Bei der Mietenform wird zwischen Zeilen-, Dreiecks- oder Tafelmieten unterschieden. Beim Aufsetzen der Miete ist eine homogene Materialmischung das Ziel, um optimale Reaktionsbedingungen und eine emissionsarme Rotte zu gewährleisten. Dies wird mit Hilfe von Radlader, Miststreuer, speziellen Aufsetzwagen oder Förderbändern erreicht. Im Laufe der Rottedauer sind je nach gewähltem Rottesystem mehrmalige Umsetzvorgänge, Bewässerung und gegebenenfalls Belüftungsvorgänge notwendig. Bei den Belüftungssystemen wird zwischen passiver bzw. konvektiver Lüftung oder Zwangsbelüftung durch Druck- oder Saugbelüftung unterschieden (Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, 2009).

Für den Abbauprozess ist unabhängig von der Rotteform ein Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis von 35:1 bis 20:1 günstig. Dieses verändert sich im Verlauf der Rottedauer durch die Bildung von CO₂ und beträgt im Kompost-Endprodukt etwa 15:1 bis 10:1. Weitere charakteristische Eigenschaften der Rottephase sind der hohe Sauerstoffverbrauch, die Selbsterhitzung zur Hygienisierung, die Freisetzung von Wasser vorwiegend über Verdunstung, die Bildung von Huminsäuren, Carbonsäuren, Ammonium und Ammoniakstickstoff sowie die Bildung anderer geruchsintensiver Stoffwechselprodukte (Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, 2009).

Die Prozesse der Kompostierung können zu Geruchsemissionen, flüssigen Emissionen durch Abwasser, zu Staub- und Keimemissionen sowie zu Luftemissionen von flüchtigen organischen Verbindungen, von Gasen (CH₄, N₂O) und Ammoniak (NH₃) führen (Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, 2009).

Die Qualitätsanforderungen an das Endprodukt sind in der Kompostverordnung streng geregelt. Es werden je nach Eignung und Einsatzgebiet Grenzwerte und seuchenhygienische Anforderungen sowie Ausbringungsmengen definiert. Die Einteilung der Qualitäten erfolgt von A+ und A bis B (*Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung)*). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2001).

2.3.3 Biodiesel

In Österreich waren im Jahr 2020 sieben Produzenten von Biodiesel im Biokraftstoffregister eIna registriert mit einer Gesamtproduktion von 292.583 t Biodiesel. Die größten Inputströme der österreichischen Produktion stellten pflanzliche Altspeiseöle mit 40 % und Raps mit 28 % der Rohstoffanteile dar. Weitere Ausgangsmaterialien sind sonstiges Altspeiseöl, tierische Fette, Soja, Fatty Matter und Fettsäuren (Bundesministerium für Klimaschutz Umwelt Energie Mobilität Innovation Technologie).

Der Stand der Technik in der Biodieselherstellung wird folgend anhand der Beschreibungen des Deutschen Biomassenforschungszentrums aus dem Jahr 2015 dargelegt (Majer et al., 2015).

Biodieselproduktionsanlagen können unterschieden werden in kombinierte Anlagen mit Ölgewinnung aus Rohstoffen und Umesterungsanlagen oder reine Umesterungsanlagen mit Inputmaterialien von externen (Öl-)Aufbereitungsanlagen. In Abbildung 7 ist der Prozess einer Anlage schematisch dargestellt.

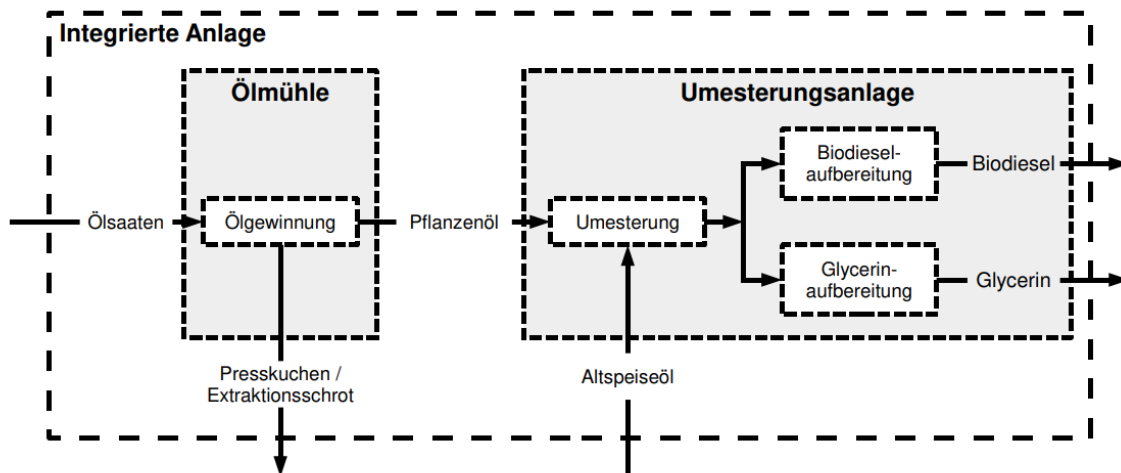


Abbildung 7: Prozess der Biodieselherstellung (eigene Darstellung nach (Majer et al., 2015))

Ölgewinnung

Mögliche Roh- bzw. Einsatzstoffe sind Pflanzenöle, Tierfette und bereits genutzte Pflanzenfette (Altspeisefette).

Der Prozess der Ölgewinnung setzt sich aus Vorbehandlung, Pressung, Extraktion und Raffination zusammen. Die Vorbehandlung umfasst die Trocknung durch Umlauf- und Durchlauftrockner sowie die Reinigung durch Windsichten, Sieben und Metallabscheidung über einen Magnetscheider.

Bei Durchsatzmengen bis 30.000 t/a wird eine mechanische Pressung durch Schneckenpressen durchgeführt. Aus dem Pressöl werden die Pflanzenteile durch Trübabscheider, Dekanter oder Filteranlagen abgeschieden und rückgeführt, um den Ertrag zu erhöhen. Bei Großanlagen wird ein Extraktionsschritt mit Lösungsmitteln nachgeschaltet. Der Extraktionsschritt wird überwiegend mit n-Hexan durchgeführt. Das mit Öl angereicherte Lösungsmittel wird durch Filtration und Destillation abgetrennt und im Kreislauf geführt.

Die unerwünschten Begleitstoffe im aus dem Presskuchen extrahierten Öl werden durch Raffination abgetrennt. Dieser Schritt beinhaltet Verfahren wie Entschleimung, Bleichung, Neutralisation und Desodierung. Zur Abtrennung von Lecithin, einem Schleimstoff, wird das Öl mit Wasser und Säure versetzt und durch Zentrifugen abgetrennt. Weitere Störstoffe wie

Farbstoffe, Seifen, Spuremetalle und Oxidationsprodukte können durch Bleicherde entfernt werden. Zur Abtrennung von freien Fettsäuren wird eine chemische Reaktion mit Natronlauge verwendet oder im physikalischen Verfahren eine Destillation durchgeführt. Grundsätzlich gilt, dass in der physikalischen Raffination weniger Chemikalien zum Einsatz kommen, jedoch der Dampf- und damit der Energiebedarf höher ist (Majer et al., 2015).

Umesterung

Das Ziel der Umesterung ist die Aufspaltung der Triglyceride, der Pflanzenöle, in Glycerin und in Fettsäurealkylester. Diese chemische Aufspaltung wird durch Reaktion mit Methanol im Überschuss und Zugabe eines flüssigen Katalysators (z.B. Natriumhydroxid – NaOH und Kaliumhydroxid – KOH sowie Natriummethylat – CH_3NaO und Kaliummethylat – CH_3KO) durchgeführt.

Aufgrund der erhöhten Konzentration von freien Fettsäuren (>5 %) sind beim Einsatz von Altspesefetten und tierischen Fetten weitere Verfahrensschritte notwendig. Die Fettsäuren werden vor der Weiterverarbeitung verestert, um die Seifenbildung zu verringern (Majer et al., 2015).

Biodieselaufbereitung

Der in den vorherigen Schritten gewonnene Biodiesel, entspricht noch nicht den für das Endprodukt notwendigen Qualitätskriterien. Verunreinigungen werden durch eine Methylsterwäsche unter Zuhilfenahme von Schwefelsäure oder Salzsäure abgeschieden und danach die Reste von Salzen sowie Seifen- und Katalysatorreste mit Wasser ausgewaschen.

Der Biodiesel wird durch Verdampfung getrocknet. Bei Verwendung von Altspeseeölen und Tierfetten wird eine Destillation nachgeschaltet, um sicherzustellen, dass alle Methanolreste entfernt wurden (Majer et al., 2015).

Glycerinaufbereitung

Das Nebenprodukt Glycerin hat eine Reinheit von etwa 50 % und kann durch weitere Aufbereitungsschritte angereichert und als Produkt vermarktet werden. Als Abfallfraktion würde es als „gefährlicher Abfall“ eingestuft werden, da es einen hohen Methanolgehalt aufweist. Durch stufenweise Aufbereitung können verschiedene Qualitäten erreicht werden. Technisches Glycerin erreicht eine Reinheit von rund 80 % und durch weitere Destillationskolonnen und Behandlung mit Aktivkohle kann eine Reinheit von 99,7 % für die Verwendung als Pharmaglycerin erreicht werden (Majer et al., 2015).

2.4 Vergleich mit fossilen Quellen

Biodiesel, Biogas und Kompost stehen in Konkurrenz mit den herkömmlichen Produkten aus fossilen Quellen bzw. aus Torf. In den nächsten Absätzen wird der Unterschied bzw. der Vergleich der Klimarelevanz betrachtet.

2.4.1 Gas

Zur Vergleichbarkeit mit der Biogaserstellung ist die Vorketteninformation der Erdgasproduktion zu betrachten. Diese unterscheidet sich in konventionelle und unkonventionelle Methoden bzw. Lagerstätten. Konventionelle Vorkommen sind jene, bei denen das Öl bzw. das Gas durch Bohrungen mit geringer Stimulation gewonnen werden kann. Unkonventionelle Vorkommen sind Lagerstätten in komplexen geologischen Formationen, die durch hohen technologischen Aufwand gewonnen werden, beispielsweise Schiefergas. Ein weiterer Einflussfaktor ist der Versorgungsweg bzw. Transport des Erdgases vom Förderland zum Verbraucherland. Hier kann zwischen leitungsgebundener Gasversorgung und LNG („liquified natural gas“, verflüssigtes Erdgas) unterschieden werden (Jakob Wachsmuth et al., 2019). Die Prozessschritte der unterschiedlichen Vorketten sind in Abbildung 8 dargestellt.

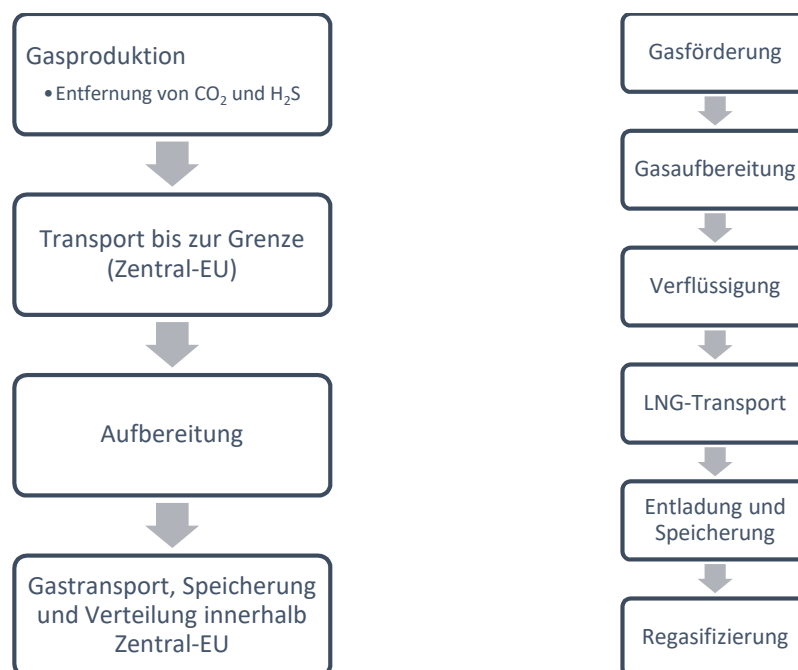


Abbildung 8: Gegenüberstellung der Prozessschritte für Pipeline-Gas zu LNG-Gas (eigene Darstellung)

Es ist zu erkennen, dass die Emissionen der Produktion und Aufbereitung analog sind, jedoch zusätzliche Emissionen durch die Verflüssigung, den Transport und die Regasifizierung auftreten. Die Ergebnisse der Vorkettenemissionen der Studien des DBI sowie des deutschen Umweltbundesamtes zu Erdgas aus leitungsgebundener Förderung sowie auch von LNG werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Vorkettenemissionen von Erdgas (Pipeline und LNG) nach (Umweltbundesamt DE, 2018, 2021)

Erdgas (Pipeline)			
Quellen	Herkunftsland	g CO₂ äq. / MJ	g CO₂ äq. / kWh Primärenergie
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH	Deutschland	7,44	-
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH	Niederlande	3,19	-
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH	Norwegen	5,63	-
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH	Russland	12,24	-
Umweltbundesamt, Sphera, 2020	Deutscher Erdgasmix	-	25,44
Umweltbundesamt, GEMIS 4.9.4	Deutscher Erdgasmix	-	34,83
LNG			
Umweltbundesamt, Sphera, 2020	Katar	-	56,98
Umweltbundesamt, Sphera, 2020	Nigeria	-	74,19
Umweltbundesamt, Sphera, 2020	USA	-	77,57

2.4.2 Substrat / Torf

Der Begriff Torf wird für Böden mit einer organischen Substanz von größer 30 % verwendet (Trepel, 2007). Torf wird vorwiegend für die energetische Nutzung sowie für die Verwendung in Substraten für den Gartenbau abgebaut. In Österreich liegt der Import von Torf vor allem für Torferden zur Verwendung im Gartenbau bei ca. 100.000 t. Der Abbau nimmt eine sehr untergeordnete Rolle ein und wird vorwiegend für medizinische Anwendungen betrieben (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2022).

Intakte feuchte Moor – und Torfböden haben einen positiven Effekt auf Klimaauswirkungen, da der hohe Wassergehalt die Umgebung kühlt und diese Böden die Fähigkeit besitzen, Kohlenstoff zu speichern. Schätzungen zufolge speichern Moorböden (ca. 30.000 ha) in Österreich mehr als 30 Mio. t Kohlenstoff. Bei Hinzurechnung von degradierten Torfböden (ca. 50.000 t) würde der gespeicherte Wert auf 476 Mio. t steigen. Die Zerstörung bzw. Entwässerung führt zur Umsetzung und Freisetzung des gespeicherten Kohlenstoffes in die Atmosphäre und trägt somit zu den negativen Klimaauswirkungen bei. Die europäischen sowie österreichischen Klimaziele fordern den Schutz und die Wiederherstellung dieser Kohlenstoffsenken (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2022).

Das Produkt der Kompostierung kann als Substitution für Torf in Substraten angewandt werden. In Studien von Bodrin et al (2010), Quantis (2012) und Stucki et al (2019) wurden die Umweltauswirkungen von torfhaltigen Substraten mit alternativen Substratmischungen

erforscht. Die Systemgrenzen der obengenannten Studien enthalten neben der Landvorbereitung und Ernte bzw. Sammlung und Aufbereitung auch die Erstellung und Nutzung des Substrats. Die Nutzungsphase ist jedoch in dieser Arbeit außerhalb der Systemgrenzen und daher sind die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar.

Von Boldrin et al. (2010) wurde festgestellt, dass Kompost zwar zu geringeren Treibhausgasemissionen verglichen mit Torf führt, dies jedoch vor allem auf die Nutzungsphase und die damit verbundenen Emissionen von fossilen CO₂ mit einem Betrag von 815 kg CO_{2,fossil} / t Torf zurückzuführen ist. Die CO₂-Emissionen der Kompostnutzung werden als biogenes CO₂ gewertet und sind in der Bilanz als Neutral anzusehen. Der große Einfluss der Nutzungsphase wird auch in den Studien von Eymann et al. (2015) bzw. bei der Aktualisierung dieser Studie von Stucki et al. (2019) festgestellt. Das gesamte Treibhauspotential von Torf wird hier mit 350 kg CO₂ äq. / m³ entspricht ca. 2916 kg CO₂ äq. / t bei einer Durchschnittsdichte von 120 kg TS / m³. Dies wird in der Studie dem Treibhauspotential von Rindenkompost (32 kg CO₂ äq. / m³) und dem Treibhauspotential von Grüngutkompost 90 kg CO₂ äq. / m³ gegenübergestellt (Stucki).

2.4.3 Diesel

Der österreichische „Inventory Report 2023“ zeigt, dass die Emissionen aus dem Transportwesen mit 21,7 % (Jahr 2020) einen großen Teil der österreichischen Gesamtemissionen ausmachen. Der Emissionsfaktor für fossile Kraftstoffe liegt in Österreich bei 3,153 kg CO₂ / kg Kraftstoff (Umweltbundesamt AT, 2023). Der Produktzyklus von fossilem Diesel unterscheidet sich von dem von Biodiesel in der Vorkette. Der Prozess der Herstellung bzw. dem Vorkommen bis zur Lagerung „Well to Tank“ ist in Abbildung 9 dargestellt.



Abbildung 9: Prozessflussbild Dieselherstellung (eigene Darstellung nach (OMV, 2023))

Studien über die Herstellung von Biodiesel zeigen deutliches Potential zur Verbesserung der Treibhausgasauswirkungen durch den Einsatz von Biokraftstoffen. Eine Umweltbewertung der Dieselproduktion in der Steiermark aus dem Jahr 2008 ermittelt Treibhausgase von

63.000 t CO₂ äq. / a für die Herstellung und Nutzung von Biodiesel aus Alt- und Pflanzenölen und stellt eine Ersparnis von 57 % zu fossilem Diesel fest (G. Jungmaier et al., 2008). Das Umweltbundesamt stellt im Bericht zu Ökobilanzen ausgewählter Biotreibstoffe, 2012, im Bereich von Biodiesel aus Raps eine Reduktion von THG-Emissionen verglichen mit fossilen Treibstoff von 61 % fest und weitere Studien nach Menichetti & Otto 2009 belegen eine Reduktion zwischen 20 % und 85 % je nach Betrachtungsraum (Umweltbundesamt AT, 2012).

3 Material und Methodik

Zur Bewertung der verschiedenen Behandlungsverfahren wird eine Sachbilanzstudie ohne Wirkungsabschätzung durchgeführt. Die Sachbilanz umfasst die Datenerhebung bei Projektpartnern, sowie eine Literaturlauswertung. Die Sachbilanzen werden für die Ströme von Biogasanlagen und Kompostieranlagen durchgeführt. Der Stoffstrom Biodiesel wird aufgrund fehlender Datenerhebungen in dieser Arbeit nicht berechnet. Die Methode zur Berechnung wird anhand von Literaturrecherchen analysiert.

Die Bewertungs- und Berechnungsverfahren wie auch die Berechnungsvorgaben für die Biodieselproduktion orientieren sich an den Vorgaben der Erneuerbaren-Richtlinie.

3.1 Grundlagen zu Bewertungsbilanzen

Lebenszyklusbilanzen, auch Ökobilanzen genannt, betrachten ökologische Aspekte und Nachhaltigkeitsfaktoren entlang des gesamten Produktkreislaufes von den Ausgangsstoffen bis zum Lebensende.

3.1.1 ISO 14040:2021

Die ÖNORM EN ISO 14040 beschreibt die Grundsätze und Rahmenbedingungen einer Ökobilanz im Rahmen des Umweltmanagements. Die Normenreihe bietet noch weitere unterstützende Werkzeuge wie die ÖNORM EN ISO 14044 mit Details zu Anforderungen und Anleitungen zu Ökobilanzen. Die Ökobilanz bezieht sich auf den gesamten Lebenszyklus eines Produktes unter Bezugnahme auf die Umweltaspekte und –auswirkungen (Austrian Standards, 2021b), (Austrian Standards, 2021a).

Die Norm definiert vier Phasen einer Ökobilanz mit detaillierten Rahmenbedingungen der Umsetzung. Eine Sachbilanz-Studie ist eine verkürzte Form ohne Berücksichtigung der Wirkungsabschätzung (Austrian Standards, 2021b).

Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens

Festlegungen zu Zielen und Zielgruppen sowie eine Klarstellung zu funktionellen Einheiten, Systemgrenzen, Annahmen und Einschränkungen sind zu treffen (Austrian Standards, 2021b).

Sachbilanz

Eine Sachbilanz umfasst Datenerhebungen und Bewertungs- und Berechnungsverfahren von allen Prozessströmen des Systems. Hauptgruppen der Datenerfassung beinhalten Eingangsströme, Produkte, Koppelprodukte und Abfälle, Emissionen und weitere Umwelteinflüsse. Die Datenerhebung inkludiert die Validierung und die Zuordnung der Daten auf Prozessschritte und der funktionellen Einheit (Austrian Standards, 2021b).

Wirkungsabschätzung

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung sind Wirkungskategorien, -indikatoren und Charakterisierungsmodelle zu definieren. Diese werden den Sachbilanzergebnissen zugeordnet. Als Ergebnis werden Wirkungsindikatorwerte berechnet und optional durch Ordnung und Gewichtung normiert (Austrian Standards, 2021b).

Auswertung

Ergebnisse werden präsentiert und Schlussfolgerungen, Erläuterungen sowie Empfehlungen gegeben. Die Berichterstattung sowie eine kritische Prüfung der Studie vervollständigen eine ordnungsgemäße Ökobilanz (Austrian Standards, 2021b).

3.1.2 Bewertungsmethoden nach Erneuerbaren-Richtlinie

Die Erneuerbaren-Richtlinie verpflichtet zu einem Massenbilanzsystem zur Überprüfung der Nachhaltigkeitskriterien und der Treibhausgaseinsparungen für Biokraftstoffe, flüssige Biobrennstoffe und Biomasse-Brennstoffe.

Die Berechnungsmethoden für Biokraftstoffe, sowie Biomasse-Brennstoffe werden in den Anhängen V und VI der Erneuerbaren-Richtlinie vorgegeben und basieren auf der in Formel 1 dargestellten Grundgleichung:

$$E = e_{ec} + e_{el} + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr},$$

Formel 1: Grundgleichung der Bewertungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie

Für die Co-Vergärung in Biogasanlagen wird die Grundgleichung, wie in Formel 2 dargestellt, angewandt.

$$E = \sum_1^n S_n \times (e_{ec,n} + e_{td,Rohstoff,n} + e_{l,n} - e_{sca,n}) + e_p + e_{td,Produkt} + e_u - e_{ccs} - e_{ccr}$$

Formel 2: Grundgleichung der Bewertungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie für Co-Vergärung

wobei:

- E = Gesamtemissionen (bei der Verwendung des Kraftstoffs / bei der Produktion des Biogases vor der Energieumwandlung)
- S = Rohstoffanteil n am Anteil des Inputs in den Vergärer
- e_{ec} = Emissionen bei der Gewinnung oder beim Anbau der Rohstoffe
- e_l = auf das Jahr umgerechnete Emissionen aufgrund von Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen
- e_p = Emissionen bei der Verarbeitung
- e_{td} = Emissionen bei Transport und Vertrieb
- e_u = Emissionen bei der Nutzung des Kraftstoffs

- e_{sca} = Emissionseinsparung durch Akkumulierung von Kohlenstoff im Boden
 infolge besserer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken
 e_{ccs} = Emissionseinsparung durch Abscheidung und geologische Speicherung
 von CO₂
 e_{ccr} = Emissionseinsparung durch Abscheidung und Ersetzung von CO₂

Die jeweiligen Terme können folgend bestimmt werden

$$e_{Abschnitt} = \frac{\sum(\text{Einsatzmenge des Stoffes} * \text{Emissionsfaktor})}{\text{Ertrag des (Zwischen)erzeugnisses}}$$

Formel 3: Berechnungsformel je Term zur Grundgleichung der Bewertungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie (Oehmichen et al., 2015)

Für die Gewichtung der Treibhausgase CO₂, N₂O und CH₄ als CO₂-Äquivalente wird der Schlüssel, wie in der Erneuerbaren-Richtlinie publiziert, mit:

- CO₂: 1 kg CO₂ äq. / kg
- N₂O: 298 kg CO₂ äq. / kg
- CH₄: 25 kg CO₂ äq. / kg

angewandt (Europäische Union, 2018). Zur Erfüllung der Vorgaben der Erneuerbaren-Richtlinie und zur Vergleichbarkeit mit anderen Studien wurden diese Werte, bezogen auf einen 100-jährigen Betrachtungszeitraum, gewählt. Es ist anzumerken, dass diese Werte zwar den gesetzlichen Regelungen der Erneuerbaren-Richtlinie entsprechen, jedoch im sechsten IPCC Assessment Report aus dem Jahr 2021 leicht abweichende Werte für den 100-jährigen Betrachtungszeitraum publiziert wurden.

3.2 Spezifische Festlegungen

Die Erneuerbaren-Richtlinie sieht als funktionelle Einheit den Ertrag des Prozesses vor. Im Fall von Biogas wird dies auf die Energieeinheit MJ bezogen. Für Biodiesel wird auf eine Tonne produziertem Biodiesel bezogen. Es ist möglich diesen Wert in MJ umzurechnen.

Für die Kompostierung gibt es keine gesetzlichen Vorgaben. In dieser Arbeit wurde die funktionelle Einheit für den Kompostierprozess auf das Inputmaterial bezogen. Dies ergibt sich aus der direkten Vergleichbarkeit der Inputmaterialien, sowie der zur Verfügung gestellten Daten. Die Qualität sowie die resultierende geringere Masse des Outputs variiert je nach Prozessführung und variiert somit in jeder Anlage.

3.3 Systemgrenzen

Ziel ist es einen möglichst umfassenden Ansatz der Produktionssysteme zu finden und den gesamten Lebensweg einzubeziehen. Die aufgestellte Bilanz bezieht sich nur auf den Betrieb von bestehenden Anlagen. Der Bau und die Instandhaltung der Infrastruktur werden nicht berücksichtigt. Die Systemgrenze wird von der Herstellung bzw. Sammlung der biogenen

Einsatzstoffe und der biogenen Abfälle bis zum Produkt (Qualitäts-)Kompost bzw. Biogas gesetzt. Weitere Aufbereitungsschritte, wie die Konditionierung für die Einspeisung von Biogas bzw. die Substrataufbereitung bei der Kompostherstellung befinden sich außerhalb der Systemgrenzen. Abwasser und Geruchsemissionen werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

In den Berechnungen werden

- Vorkette: landwirtschaftliche Herstellung der Anbaubiomasse inkl. Düngung
- Transport: Der Einsatzstoffe vom Feld oder Entstehungsort zum Anlagenstandort bzw. Sammlung der Reststoffe
- Produktion
- Nutzung (nur bei Biogas)

miteinbezogen. Nicht berücksichtigt werden:

- Bau und Instandhaltung
- Konditionierung und weitere Aufbereitung der Produkte
- Nutzung bei Kompostierung

3.4 Anforderungen an Daten

Zur Berechnung einer Sachbilanz sind verschiedene betriebliche Daten notwendig, diese werden in den jeweiligen Betrieben durch Aufzeichnungen und Messungen dokumentiert. Die Quelldaten wurden bei Partnerunternehmen in Österreich erhoben. Die Erhebung fand zwischen Dezember 2022 – Juli 2023 in Form von Interviews und Datenerhebungsformularen statt. Der Verwertungsweg „Biogasanlagen“ wird durch drei Anlagen repräsentiert. Aus Datenschutzgründen werden die Anlagen mit B1, B2 und B3 benannt. Emissionsfaktoren und andere fehlende Daten werden durch Literaturrecherche und Datenbanken ausgeglichen. Die Quellen werden vermerkt. Diese Methode wird für den Stoffstrom „Kompostierung“ fortgeführt und die Anlagen als K1, K2, K3, K4 und K5 bezeichnet.

3.5 Emissionsbilanz

Die Vorgehensweise der Berechnungen der Emissionsbilanzen für Biogas und Kompostieranlagen wird in den folgenden Absätzen beschrieben.

3.5.1 Berechnung Biogas

Die Anlagen unterscheiden sich signifikant in der Größe bzw. dem jährlichen Durchsatz von Substrat und verarbeiten zwischen ca. 400 t/a und ca. 30.000 t/a. Die Einsatzstoffe erstrecken sich von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro), über landwirtschaftliche Abfälle und biologische Abfälle wie Küchen und Speisereste. Folgend sind die Einsatzstoffe der Anlagen aufgelistet:

- Mais (Körner, Silage,...)
- Gerste
- Ackerreststoffe
- Küchen- und Speiseabfälle
- Gras und Grünschnitt
- Obst- und Gemüseabfälle
- Molkereiabfälle
- Hämstoffmich
- Pressfilterrückstände
- Gülle

In der nachstehenden Tabelle 3 sind die erhobenen Eckdaten der betrachteten Biogasanlagen zu entnehmen.

Tabelle 3: Eckdaten Biogasanlagen

Biogasanlagen	B1	B2	B3
Datenerhebung (Bezugsjahr)	2023 (2022)	2023 (2022)	2023 (2022)
Jahresdurchsatz [t/a]	~30.000	~6.000	~450
Rohstoffe	Nawaro, Reststoffe, Gülle	Gras / Grünschnitt, Reststoffe	Gras / Grünschnitt, Reststoffe, Gülle
Stromerzeugung (inkl. Eigenbedarf) [kWh]-gerundet	9.000.000	2.000.000	190.000
Wärmeerzeugung [kWh] - gerundet	7.000.000	1.700.000	280.000

Die Grundgleichung basiert wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben auf der Erneuerbaren-Richtlinie. Die Besonderheit bei Co-Vergärungsanlagen, wie in Formel 2 dargestellt, liegt auf der Berücksichtigung der Substratmischung und dem jeweiligen energetischen Anteil von jedem einzelnen Rohstoff in der Mischung. Dieser energetische Anteil je Inputstoff wird durch den Faktor S repräsentiert.

Für die Berechnung des Faktors S werden der Energieausbeute der Rohstoffe (P) sowie ein Gewichtungsfaktor (W) bestimmt.

$$S_{RG} = \frac{P_x \times W_x}{\sum_1^n (P_n \times W_n)}$$

Formel 4: Gleichung zur Bestimmung des Faktor S

$$P_{RG} \left[\frac{MJ}{kg TM} \right] = Biogasertrag_x \left[\frac{m^3}{kg oTM} \right] \times flüchtige Bestandteile_x \left[\frac{kg oTM}{kg_{FM}} \right] \\ \times Heizwert_{Biogas,x} \left[\frac{MJ_{Biogas}}{m^3_{Biogas}} \right]$$

Formel 5: Formel zur Berechnung der Energieausbeute der Rohstoffe

$$W_{RG} = \frac{Input_x}{\sum_1^n Input_n} \times \left(\frac{1 - AM_x}{1 - SM_x} \right)$$

Formel 6: Gewichtungsfaktor der Einsatzstoffe zur Gesamteinsatzmenge

Als Vereinfachung wurde in dieser Arbeit nicht zwischen Durchschnittfeuchte („average moisture“, AM) und Standardfeuchte („standard moisture“, SM) unterschieden.

Rohstoffgewinnung e_{ec}

Für die folgend angeführten Einsatzstoffe werden, wie in Anhang V der Erneuerbaren-Richtlinie geregelt, bis zur Sammlung keine Emissionen bilanziert, da sie den Abfall- und Reststoffen zugeordnet werden können (Europäische Union, 2018):

- Küchen- und Speiseabfälle
- Obst- und Gemüseabfälle
- Molkereiabfälle
- Hämstoffmilch
- Pressfilterrückstände
- Gülle
- Maisstroh / Ackerreststoff / ZW-Früchte / Begrünungen
- Leimlederabfälle
- Fettabscheider-Abfälle
- MCI / Magen-Darminhalt-Schlachtabfälle-Hühnerkot

Für landwirtschaftlich erzeugte Produkte wie Corn-Crop-Mix (CCM) oder Körner-Mais, Ganzpflanzensilage (GPS) aus Gerste-Tricale und Gras sind Emissionen der Vorkette zu berücksichtigen. Hier spielen vor allem die Faktoren Düngung, Lachgasemissionen (N₂O) und der Dieselbedarf eine Rolle.

Die Lachgasemissionen wurden mit Hilfe des GNOC (Global Nitrous Oxigen Calculator) der Europäischen Union bestimmt (Europäische Kommission, 2023a). Die Eingaben wurden geschätzt und sind somit mit Unsicherheiten behaftet. Für den Parameter „Gras“ wurden auf Grund fehlender Daten keine Lachgasemissionen berücksichtigt. Der Dieselbedarf wurde anhand der von dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) zur Leitungs- und Kostenabrechnung entwickelten Web-Anwendung abgeschätzt (KTBL, 2023). Saatgut, Pestizide und Kalk wurden in der Bilanz nicht berücksichtigt.

Anlieferung und Transport e_{td}

Die Daten zum Transportweg stammen von den Anlagenbetreibern. Es wird die Anlieferung und eine gegebenenfalls leere Rückfahrt berücksichtigt. Anlage B1 hat hierzu eine detaillierte Aufstellung der Einsatzstoffe und deren Transportfahrzeugen und Wege angegeben. Bei Anlage B2 handelt es sich nur um vom Projektpartner angenommene Durchschnittswerte die einer Ungenauigkeit unterliegen. Eine genaue Ausschlüsselung zu den einzelnen Einsatzstoffen ist laut Anlagenbetreiber nicht möglich. Bei den angenommenen Werten handelt es sich um den Transport von den Lagerstellen bis zum Betrieb. Die einzelnen Sammelrouten der Bioabfallsammlung wurden nicht berücksichtigt. Anlage B3 ist ein landwirtschaftlicher Betrieb, bei dem ein Großteil der Einsatzstoffe am Hof anfallen sowie einem dem Zulieferer sehr nahe gelegenen Ort, wodurch sehr geringe Transportwege anfallen. Als Emissionsfaktor wurde der in der Durchführungsverordnung geführte Wert für Transporteffizienz von LKWs für Trockenprodukte angewandt. (*Durchführungsverordnung EU 2022/996*. Europäische Kommission, 2022)

Emissionen aus Landnutzungsänderungen e_l und Emissionen aus verbesserten landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken e_{sca}

Es wurde in den Berechnungen angenommen, dass für den Anbau der Energiepflanzen nur bereits bestehende Ackerflächen herangezogen wurden und es dadurch zu keinen Landnutzungsänderungen seit 2008 gekommen ist. Indirekte Landnutzungsänderungen, die Verdrängung von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen durch Energiepflanzen, wurden nicht erhoben und daher nicht in die Berechnung einbezogen. Eine Studie des Umweltbundesamtes zeigt, wie in Abbildung 10 dargestellt, dass im Bereich der Biogasherstellung der Einfluss der Landnutzungsänderungen eher gering ist.

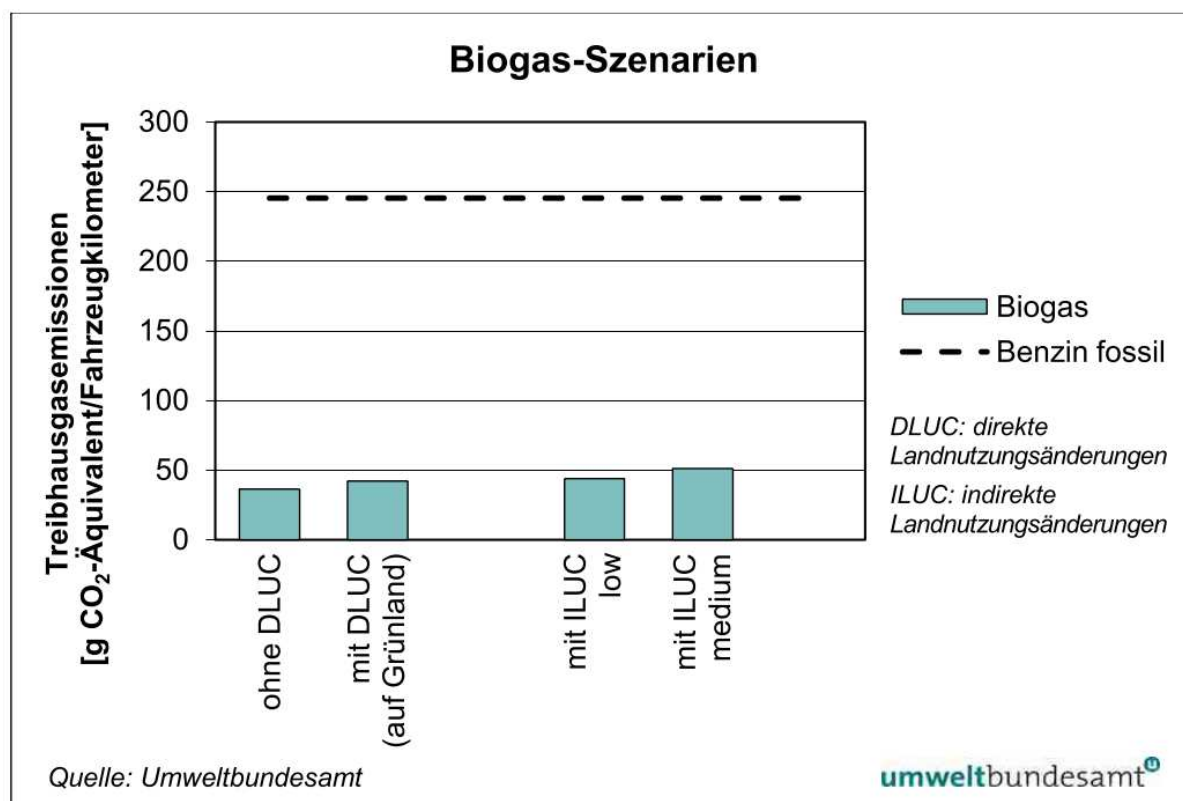


Abbildung 10: Auswirkungen der Landnutzungsänderungen auf die Treibhausgasemissionen der Biogasherstellung (Umweltbundesamt AT, 2012)

Für den Einsatz von Gülle bzw. Mist ergeben sich Emissionseinsparungen aufgrund der entfallenden Methanemissionen aus der Düngerlagerung. Es kann eine Methangutschrift von 45,05 g CO₂ äq. / MJ Biogas berücksichtigt werden (*Durchführungsverordnung EU 2022/996*. Europäische Kommission, 2022; Europäische Union, 2018). Bei den betreffenden Anlagen wurde diese angewandt.

Emissionen aus der Verarbeitung e_p

Die Emissionen aus der Verarbeitung setzen sich aus Strombedarf, (Prozess-)Wärmebedarf und dem Methanschluß zusammen. Für den Energieeintrag kann der Emissionsfaktor für den Strommix Österreich oder jeder Energieträger individuell bewertet werden. Für die individuelle Betrachtung wurden die Emissionsfaktoren aus dem Strom- und Gaskennzeichnungsbericht 2022 der E-Control verwendet (E-Control, 2022). Bei nicht vorliegen von Energielieferant oder genauer Herkunft des Stromes wird der Österreichische Strom-Mix laut Durchführungsverordnung mit 153 g CO₂ äq. / kWh angewandt (*Durchführungsverordnung EU 2022/996*. Europäische Kommission, 2022). Erneuerbare Energien werden als emissionsfrei betrachtet (E-Control, 2022). Anlage B1 und B2 decken den Strombedarf und Wärmebedarf mit Eigenleistung durch das BHKW ab. Anlage B3 erhält die Prozesswärme aus einem eigenen Hackschnitzelwerk. Bei den Werten der Anlage B3 sind Details zum genauen Stromverbrauch der Anlage nicht bekannt, es wird auch von der Deckung aus Eigenbedarf ausgegangen. Der Methanverlust wurde geschätzt.

Der Dieserverbrauch und die damit verbundenen Emissionen von Hilfsfahrzeugen wie Traktoren oder Radlader sind nur in Anlage B1 bekannt. Aufgrund der fehlenden Daten und Schätzgrundlage wurden die Emissionen bei Anlage B2 und B3 nicht berücksichtigt.

Emissionen aus der Nutzung des Biomassebrennstoffs e_u

Für Emissionen aus der Nutzung des Biomassebrennstoffs wurde der Wert von 8,92 kg CO₂ äq. / MJ für CH₄- und N₂O-Emissionen aus Biogas. KWK-Gasmotoren der Durchführungsverordnung der Europäischen Kommission für alle drei Anlagen übernommen (*Durchführungsverordnung EU 2022/996*. Europäische Kommission, 2022).

Allokation von Nebenprodukten

In der Regel fallen bei der Produktion von Biogas neben dem Hauptprodukt noch weitere Produkte wie Wärme und Gärprodukte an. Zur Aufteilung der Emissionen der sogenannten Allokation wird ein Allokationsfaktor wie in Formel 7 dargestellt berechnet.

$$\text{Allokationsfaktor}_{\text{Brennstoff}} = \frac{\text{Energie in Brennstoff}}{\text{Energie in Brennstoff} + \text{Energie im Nebenprodukt}}$$

Formel 7: Berechnung des Allokationsfaktor

In dieser Arbeit wurde keine Aufteilung der Emissionen durchgeführt, sondern nur die Gesamtemissionen betrachtet.

3.5.2 Berechnung Kompostierung

Die betrachteten Kompostieranlagen haben einen Jahresdurchsatz an Input-Materialien von ca. 1500 – 20.000 t. Als Einsatzmaterialien werden in unterschiedlichen Mischungen Klärschlämme, Baum-, Strauch- und Grünschnitt, "Biomüll - grüne Tonne", Mähgut, Laub, im Kreislauf geführter Siebrest sowie Erde eingebracht. Die Anlagen haben folgende, in Tabelle 4 dargestellten, Prozesskenndaten.

Tabelle 4: Verfahrensinformationen Kompostieranlagen

	K1	K2	K3	K4	K5
Jahresdurchsatz – Input Material [t / a]	~7500 – 10.000	~20.000	~8.000 – 10.000	~4.000	~1.500
Inputmaterialien	Klärschlamm, Erde, Baum- und Strauchschnitt	Baum- und Strauchschnitt, Biomüll	Klärschlamm, Baum- und Strauchschnitt, Biomüll	Klärschlamm, Baum- und Strauchschnitt, Biomüll	Biomüll (Mischung aus der Vorbehandlung)
Kompostierungsmethode	Offen	Offen	Offen	Offen	Offen
Vorbehandlung	Ja Zerkleinerung, Baum- und Strauchschnitt (Extern) Keine Vorsortierung	Nein Zerkleinerung, Baum- und Strauchschnitt Manuelle Vorsortierung	Nein Zerkleinerung, verholztes Material	FE-Abscheidung Ja (Nicht vor Ort) Manuelle Vorsortierung	FE-Abscheidung Ja (Nicht vor Ort) Manuelle Vorsortierung
Mietenform	Dreiecks-mieten	Dreiecks-mieten	Dreiecks-mieten	Dreiecks-mieten	Dreiecks-mieten
Umsetzintervall	1 x wöchentlich	Jeden 2. Tag / 1 x wöchentlich	1 x wöchentlich / 14-tägig	1 x wöchentlich / 14-tägig	1 x wöchentlich / 14-tägig
Abluftreinigung	Nein	Nein	Ja (Nachrotte unter Dach), Abluftreinigung über Biofilter	Nein	Nein
Lagerung	Offen (Sehr kurze Lagerzeiten)	Offen	Offen	Zwischenlagerung offen, Produktlager geschlossen	Zwischenlagerung offen, Produktlager geschlossen
Output / Kompostqualität	Hoch / A	A, A+	A, A+	A, A+	A, A+

Zur Berechnung der Emissionsauswirkungen wurde die in Kapitel 3.1.2 näher erläuterte Formel 1 angewandt.

$$E = e_{ec} + e_{el} + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$$

Formel 1: Grundgleichung der Bewertungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie

Rohstoffgewinnung e_{ec}

Die eingesetzten Stoffe können Abfall- und Reststoffprodukten zugewiesen werden und die Emissionen aus den Vorketten werden der Kompostierung nicht zugerechnet.

Anlieferung und Transport e_{td}

Bei der Anlieferung der eingesetzten Materialien werden die Anlieferung sowie die leere Rückfahrt berücksichtigt. Bei Auslastung der Rückfahrt durch andere Stoffströme oder Angaben von durchschnittlichen Transportwegen mit hoher Streuung werden diese nicht oder nur teilweise der Kompostierung zugerechnet.

Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren für den Transport wurde der Koeffizient von THG-Emissionen von Diesel (95,1 g CO₂ äq. / MJ) mit der jeweiligen, in Tabelle 5 angeführten, Transporteffizienz multipliziert (*Durchführungsverordnung EU 2022/996*. Europäische Kommission, 2022).

Tabelle 5: Auszug aus der Liste der Transporteffizienz – LKW nach Durchführungsverordnung (*Durchführungsverordnung EU 2022/996*. Europäische Kommission, 2022)

Transporteffizienz - LKW	Kraftstoffeffizienz	Abgasemissionen aus dem Transport		Angewandt für Abfallstrom
		MJ / t · km	g CH ₄ / t · km	
LKW (40t) für Trockenprodukt (Diesel)	0,81	0,003	0,0015	Baum- und Strauchschnitt
LKW (40t) für Bioabfall (Diesel)	0,84	0,004	0,0016	Bioabfall, Klärschlamm, Mähgut/Laub

Verarbeitung e_p

Im Bereich der Verarbeitung werden der Strombedarf, sofern anzuwenden, sowie der Dieselbedarf der eingesetzten Maschinen wie Radlader, Umsetzmaschinen, Siebe, etc. berücksichtigt. Der Emissionsfaktor für den Dieserverbrauch wurde aus dem Emissionsfaktor der IPCC Guidelines für Industriemaschinen mit 74,1 kg / TJ abgeleitet (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006). Für den Energieeintrag kann der Emissionsfaktor für den Strommix Österreich oder jeder Energieträger individuell bewertet werden. Für die individuelle Betrachtung wurden die Emissionsfaktoren aus dem Strom- und Gaskennzeichnungsbericht 2022 der E-Control verwendet (E-Control, 2022). Bei nicht vorliegen von Energielieferant oder genauer Herkunft des Stromes wird der Österreichische Strom-Mix laut Durchführungsverordnung mit 153 g CO₂ äq. / kWh angewandt (*Durchführungsverordnung EU 2022/996*. Europäische Kommission, 2022). Erneuerbare Energien werden als emissionsfrei betrachtet (E-Control, 2022).

Die Luftemissionen wie Methan, Ammoniak, Lachgas, die durch den Zersetzungsprozess entstehenden, wurden in keiner der betrachteten Anlagen gemessen und sind daher nicht bekannt. Die Kohlendioxidemissionen werden als Teil des Behandlungsziels angesehen. Sie stammen aus biogener Quelle und sind daher in der Bilanz nicht berücksichtigt (Cuhls et al., 2015). In Tabelle 6 ist eine Auswahl an Luftemissionen aus der Literatur angeführt.

Tabelle 6: Luftemissionen der Kompostierung

Emissionen [g/kg]	Boldrin et al. (2010)	Chuls et al. (2015)	Amlinger et al, (2008)	Eymann et al, (2015)	Durchschnittswert
Methan	4,50	1,8	0,05 – 0,49	2,96	2,44
Ammoniak	0,004	0,37	0,025-0,576	0,281	0,3
Lachgas	0,010	0,053	0,025-0,178	0,281	0,13

Aufgrund fehlender Realdaten wird ein Wert von 100 g CO₂ äq. / kg Input für die Gesamtheit der Luftemissionen angenommen. Dies entspricht den Emissionen von Methan und Lachgas in CO₂ äq.

Emissionen aus der Nutzung

Die Nutzung wurde nicht berücksichtigt, da es für die verschiedenen Qualitäten unterschiedlichen Anwendungsgebiete und Aufbereitungsschritte zu Substratmischungen gibt. Zu diesen liegen keine genaueren Daten vor.

Emissionen aus Landnutzungsänderungen und Emissionen aus verbesserten landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken

Es wurden keine Emissionen aus Landnutzungsänderungen berücksichtigt, da es sich bei den Inputstoffen ausschließlich um Reststoffe handelt.

Gutschriften für die verbesserten Bewirtschaftungspraktiken wurden nicht berücksichtigt.

4 Ergebnisse

Die Erkenntnisse der Recherchetätigkeiten, der Erhebungen bei Projektpartnern und deren Auswertung werden in den folgenden Abschnitten zusammengefasst und präsentiert.

4.1 Bewertung nach Abfallrahmenrichtlinie

Die Abfallrahmenrichtlinie gibt mit der Abfallhierarchie eine Priorisierung der Behandlungs- und Verwertungswege, sowie eine Definition dieser vor.

Der Recycling-Begriff inkludiert die „Aufbereitung organischer Materialien“, schließt jedoch die energetische Verwertung aus. Wodurch die Verwertung in einer Biogasanlage, deren Hauptzweck die Nutzung der energetischen und thermischen Energie ist, per Definition in die Kategorie sonstige Verwertung (thermische Verwertung) fällt. Das Verfahren „Kompostierung“ erfüllt den Begriff „Recycling“, solange die Qualität des Komposts zu einem Ende des Abfallbegriffs führt und somit einem Zweck zugeführt werden kann und nicht beseitigt werden muss. Die Aufbereitung von Altölen zur Herstellung von Basisölen ist gesondert definiert und wird den Recyclingverfahren zugeordnet (*Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG*, Europäische Union, 2008). Die Herstellung von Kraftstoff aus Altölen ist in der Abfallrahmenrichtlinie nicht explizit erwähnt. Der Herstellungsprozess könnte im ersten Schritt dem Recycling zugeordnet werden. Im nächsten Schritt wird der Kraftstoff jedoch verbrannt, dies fällt unter thermische Verwertung. In diesem Fall greift die Erneuerbaren-Richtlinie ein.

Die Abfallrahmenrichtlinie enthält die Möglichkeit der Abweichung von der Abfallhierarchie, wenn dies im Rahmen des Lebenszyklusdenken Vorteile erbringt. Die Frage nach der Wahl des Verwertungswegs ist jedoch unter dem Aspekt des bestmöglichen Umweltschutzes zu treffen.

In Österreich gibt der Bundesabfallwirtschaftsplan die Verwertungswege, nach der Beschaffenheit der Abfälle, vor:

„feste, strukturreiche biogene Abfälle (z. B. biogene Siedlungsabfälle) sind vorzugsweise in Kompostierungsanlagen zu behandeln,

flüssige und pastöse biogene Abfälle (z. B. Küchen- und Speiseabfälle) sind vorzugsweise in Biogasanlagen zu behandeln,

heizwertreiche, holzige biogene Abfälle (z. B. Wurzelstöcke) können einer thermischen Verwertung zugeführt werden,

energiereiche biogene Abfälle (z. B. Alt Speiseöle und -fette) können einer biotechnologischen Verwertung (z. B. Biokraftstoffherzeugung) zugeführt werden,

möglichst sollte eine kaskadische Nutzung angestrebt werden (z. B. Vergärung und anschließende Kompostierung fester Gärrückstände) (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2023).“

Die kaskadische Nutzung von Abfällen sowie die Gleichstellung der Verfahren der anaeroben Vergärung und der Kompostierung werden auch von anerkannten Kreislaufwirtschaftsmodellen, wie das Modell der Ellen-McArthur-Stiftung, unterstützt. Die Darstellung des Modells, Abbildung 11, zeigt jedoch auch, dass die Verwertung von Biogas den Kreislauf verlässt.

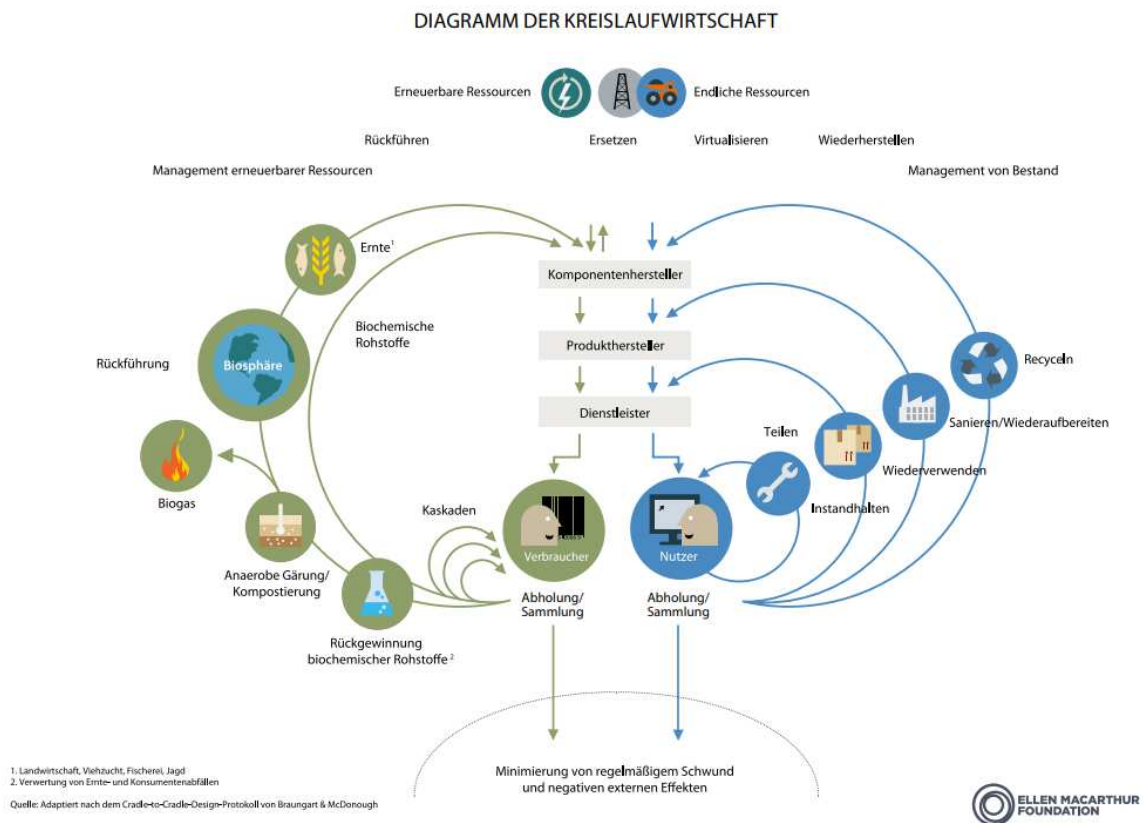


Abbildung 11: Diagramm zur Kreislaufwirtschaft der Ellen Mc Arthur Foundation (The Ellen McArthur Foundation, 2019)

4.2 Vergleich der Methoden der Verwertungswege

Die Rahmenbedingungen für die Verwertungswege für Biodiesel und Biogas werden beide durch die Erneuerbaren-Richtlinie der Europäischen Union abgedeckt und folgen demnach den gleichen Richtlinien. Die unterschiedlichen Verfahrensschritte, Nebenprodukte und die unterschiedlichen Vermarktungsmethoden führen zu leicht abweichenden Vorgehensweisen bei der Bilanzierung.

Die Bilanzierung der Kompostierung unterliegt noch keinen gesetzlichen Vorgaben. Bei Anlehnung an die Erneuerbaren-Richtlinie unterscheidet sich die Kompostierung größtenteils in der Vorkette der eingesetzten Produkte. Die Einsatzmaterialien sind Reststoffe und haben deshalb keine landwirtschaftliche Vorkette. In Tabelle 7 wurden die Berechnungsschritte den jeweiligen Verfahren gegenübergestellt.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Berechnungsschritte der Verwertungswege

Berechnungsschritte	Biodiesel	Biogas	Kompostierung
Funktionelle Einheit	g CO ₂ äq. / MJ	g CO ₂ äq. / MJ	g CO ₂ äq. / t Input oder g CO ₂ äq. / t Output
Rohstoffgewinnung e^{ec}	✓	✓	✗ (nur Reststoffe)
Landnutzungsänderungen e_l	Gegebenenfalls	Gegebenenfalls	✗ (nur Reststoffe)
Bessere landwirtschaftliche Bewirtschaftungspraktiken e_{sca}	Gegebenenfalls	Gegebenenfalls	Gegebenenfalls
Transport e_{td}	✓	✓	✓
Verarbeitung	✓	✓	✓
Nutzung	✓	✓	✓ (jedoch außerhalb der Systemgrenzen dieser Arbeit)
Allokation	✓	✓	✗ Keine Nebenprodukte
Systemgrenze dieser Arbeit			
Verarbeitung e^{p2}	Dieselproduktion / Raffination	Konditionierung	Substrataufbereitung
Abscheidung und von Ersetzung Kohlenstoffdioxid e_{ccr}	Gegebenenfalls	Gegebenenfalls	Gegebenenfalls
Transport zu Verbrauchsstelle e_{td2}	✓	Gegebenenfalls	✓

✓ ...Anzuwenden; ✗ ...nicht anwendbar

4.3 Ergebnisse der Sachbilanzen

Die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit erstellten Sachbilanzen der Biogaserstellung und Kompostierung von Partnerbetrieben werden folgend präsentiert.

4.3.1 Ergebnisse und Bewertung der Gesamtemissionen von Biogas

Die Gesamtemissionen der betrachteten Biogasanlagen B1, B2 und B3 unter Einbeziehung der in Kapitel 3.2 und 3.3 festgelegten Rahmenbedingungen werden in Tabelle 8 zusammengefasst und in Abbildung 12 im Detail aufgeschlüsselt. Die Rechenschritte und gegebenenfalls getroffene Annahmen werden in Kapitel 3.5.1 beschrieben.

Tabelle 8: Gesamtemissionen der Sachbilanzen der betrachteten Biogasanlagen B1 – B3

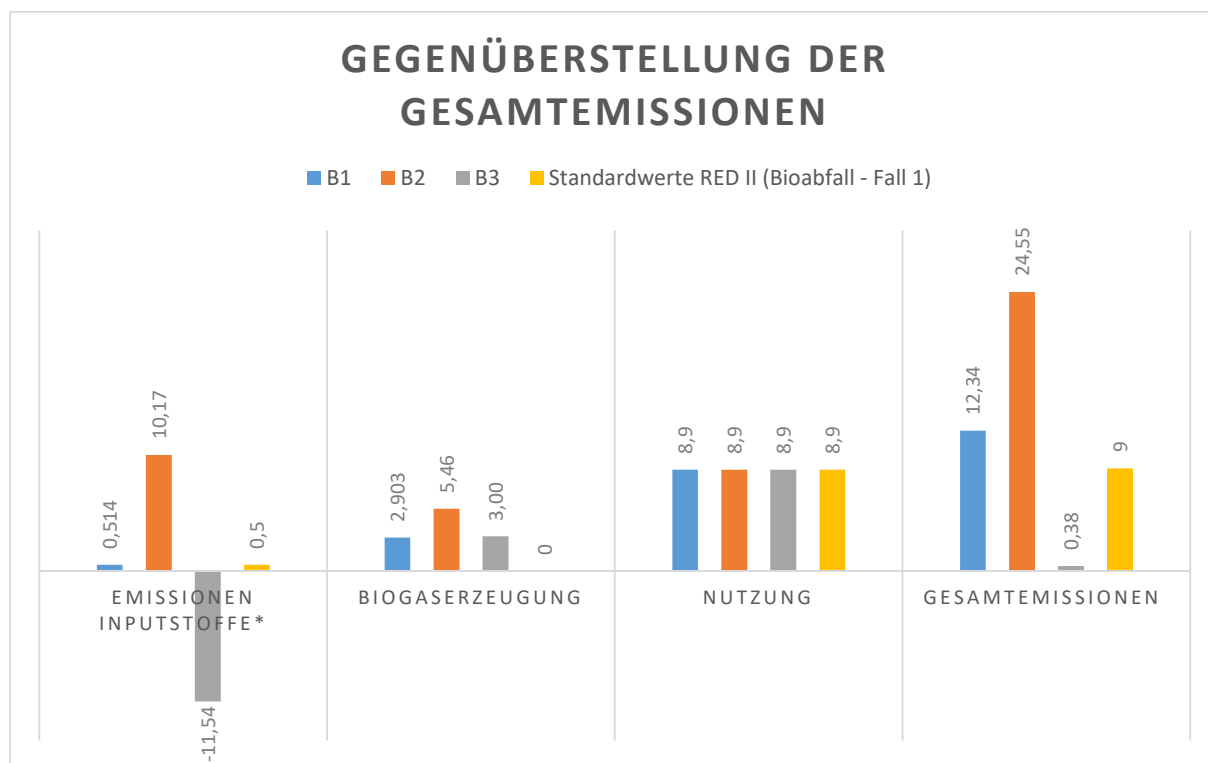
Anlage	Emissionen [g CO ₂ äq. / MJ]
B1	12
B2	25
B3	0,4

Die Unterschiede in den Ergebnissen sind vorwiegend den Beiträgen aus den Emissionen der Anlieferung und Gutschriften durch den Einsatz von Gülle geschuldet. Dies ist in Anlage B2, in Abbildung 12 im Detail dargestellt, ersichtlich. Diese Anlage weißt im Vergleich höhere Transportwege auf und setzt keine Gülle als Inputstoff ein und erhält somit keine Gutschriften. Der Vergleich mit vergangenen Studien ist mit Unsicherheiten behaftet, die vorwiegend aus den unterschiedlichen Systemgrenzen und Annahmen resultieren.

Viele der Studien enthalten vollumfassende Lebenszyklusanalysen inklusive Bau- und Herstellungsemissionen bis zur Wirkungsabschätzung unter Einbezug ökologischer und sozialer Aspekte und sind somit schwer vergleichbar.

Die Erneuerbaren-Richtlinie publiziert im Anhang typische- sowie Standardwerte. Typische Werte stellen Schätzwerte für einen bestimmten Produktionsweg dar, der in der EU repräsentativ ist. Standardwerte sind in der Erneuerbaren-Richtlinie festgelegte typische Werte, die anstelle tatsächlicher Werte angewandt werden können. Bei Anlagen mit geschlossener Gärrestkammer und der Verwertung von reinen Bioabfällen werden typische Werte von 9 - 16 g CO₂ äq. / MJ und Standardwerte von 13 – 22 g CO₂ äq. / MJ angegeben. Der Fall 1, wie auch hier anzuwenden, bezieht sich auf Anlagen, die den Strom und die Wärme aus der eigenen Produktion beziehen (Europäische Union, 2018).

Abbildung 12 ist die Zusammensetzung der Gesamtemissionen der betrachteten Biogasanlagen mit den Standardwerten der Erneuerbaren-Richtlinie für Bioabfall im Fall 1 gegenübergestellt.



*inkl. Transport

Abbildung 12: Gegenüberstellung der Gesamtemissionen von Biogasanlagen

Zur weiteren Abschätzung der Plausibilität der Ergebnisse werden folgend einige Studien ausgewählt und die Ergebnisse und Unterschiede diskutiert. Puckner et. al (2010) erhielten Ergebnisse von $-25,2 \text{ g CO}_2 \text{ äq. / MJ}$ für Anlagen mit 100 % Reststoffen und Werte von $320 - 684 \text{ g CO}_2 \text{ äq. / MJ}$ für unterschiedliche Input-Mischungen. Die Unterschiede zwischen den Werten ergeben sich aus den unterschiedlich berücksichtigten Gutschriften. Bei Anlagen mit Reststoffnutzung wurde berücksichtigt, dass eine alternative Verwertung in einer Kompostieranlage mehr N_2O -Emissionen verursachen würde. Diese durch Verwertung in der Biogasanlage eingesparten Emissionen wurden dem Prozess als Gutschrift angerechnet.

Der Unterschied zur den Berechnungen der Sachbilanz in dieser Arbeit liegt Großteils in der Bereitstellung der Prozessenergie. In den betrachteten Beispielanlagen wird die Energie aus Eigenbedarf gedeckt anstatt mit einem extern bezogenen Strommix. Der Vergleich mit anderen Studien wie vom Umweltbundesamt ist aufgrund der unterschiedlichen funktionellen Einheit bzw. einer unterschiedlichen Methode schwierig. Das Umweltbundesamt ermittelte einen Emissionswert von $106 \text{ kg CO}_2 / \text{t Input}$ mit Gärrestseparierung und einen Wert von $78 \text{ kg CO}_2 / \text{t Input}$ ohne Gärrestseparierung (Lambert et al., 2011).

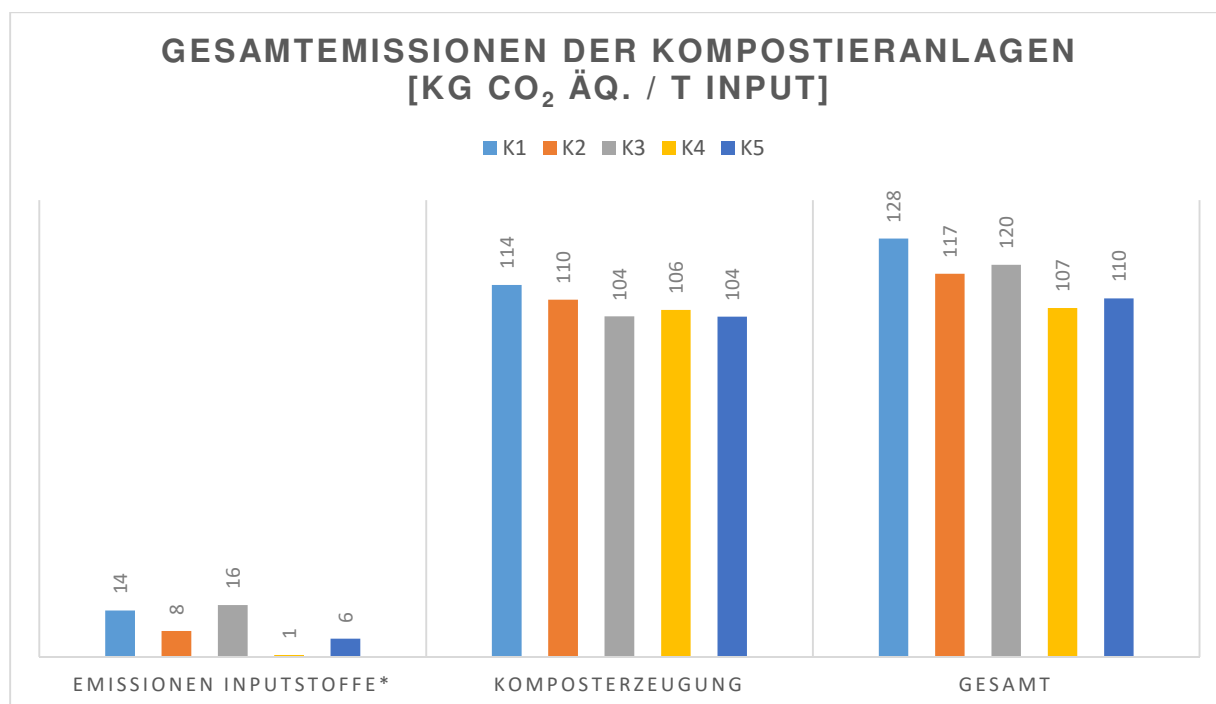
4.4 Ergebnisse und Bewertung der Gesamtemissionen der Kompostierung

Die Gesamtemissionen der betrachteten Kompostieranlagen K1 – K5 werden in Tabelle 9. zusammengefasst. Die den Berechnungen zugrundeliegenden Rahmenbedingungen sind den Kapiteln 3.2 und 3.3 zu entnehmen. Die Details und Annahmen zur Berechnung werden in 3.5.2 beschrieben.

Tabelle 9: Gesamtemissionen der Sachbilanz der Kompostieranlagen K1 – K5

Anlage	Gesamt [g CO ₂ äq. / a]	Gesamt [g CO ₂ äq. / t Input]	Gesamt [kg CO ₂ äq. / t Input]
K1	949.436.620	128.302	128
K2	2.290.106.465	117.441	117
K3	937.701.226	120.218	120
K4	534.781.796	106.956	107
K5	170.310.331	109.878	110

Den größten Anteil am Ergebnis haben die Luftemissionen mit je 100 kg / t Input. Diese wurden jedoch nur angenommen und nicht gemessen, daher ergibt sich hier eine große Ungenauigkeit. Eine Erhebung bzw. Messung der Realdaten könnte hier zu erheblichen Änderungen führen. In Abbildung 13 sind die Gesamtemissionen grafisch dargestellt. Zum Vergleich der berechneten Werte kann eine Studie des Umweltbundesamtes von Lambert et al. (2011) herangezogen werden. Diese weist eine THG-Auswirkung der offenen Kompostierung mit 72 kg CO₂ / t aus (Lambert et al., 2011).



*inkl. Transport

Abbildung 13: Gesamtemissionen der betrachteten Kompostieranlagen

4.4.1 Bewertung der Gesamtemissionen der Biodieselproduktion

Die Literaturrecherche zu den Treibhausgasemissionsauswirkungen der Biodieselproduktion ergab folgende, in Abbildung 14 zusammengefassten, Erkenntnisse. Das Deutsche Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung publizierte im Evaluations- und Erfahrungsbericht 2021 die Biokraftstoffe, die auf die Treibhausminderungsquote angerechnet wurden. Die Werte für die durchschnittlich entstandenen Emissionen von Biodiesel aus Abfall- und Reststoffen und verschiedenen Pflanzenölen, in dem Bericht FAME (Fettsäuremethylester) genannt, wurden hier den Werten von Jungmaier et al. gegenübergestellt. Deren Studie ebenfalls eine Mischung aus verschiedenen Pflanzenölen sowie Altölen und Tierfetten untersuchte. Als Ergänzung wurde eine neue Generation von Biodiesel aus synthetischen Stoffen (en: BtL - Biomass to Liquid) wurden von Menten et al, 2013 betrachtet.

Wie in Abbildung 14 zuerkennen ist sind die Werte des Deutsche Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung aus dem Evaluations- und Erfahrungsbericht 2021, im Vergleich zu den älteren Werten von Jungmaier et al. aus dem Jahr 2008, niedriger. Dies ist durch die Einführung der Treibhausminderungsquote in Deutschland zurückzuführen. Diese wurde im Jahr 2015 zur Reduktion der Treibhausgase im Verkehrssektor eingeführt. Zur Einhaltung von Qualitätsstandard für den Nachweis von der Emission wird auf eine Nachhaltigkeitszertifizierung gesetzt. Die Treibhausgasemissionen und deren Nachweis haben somit direkten Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit im deutschen sowie europäischen Markt (Majer et al., 2015).

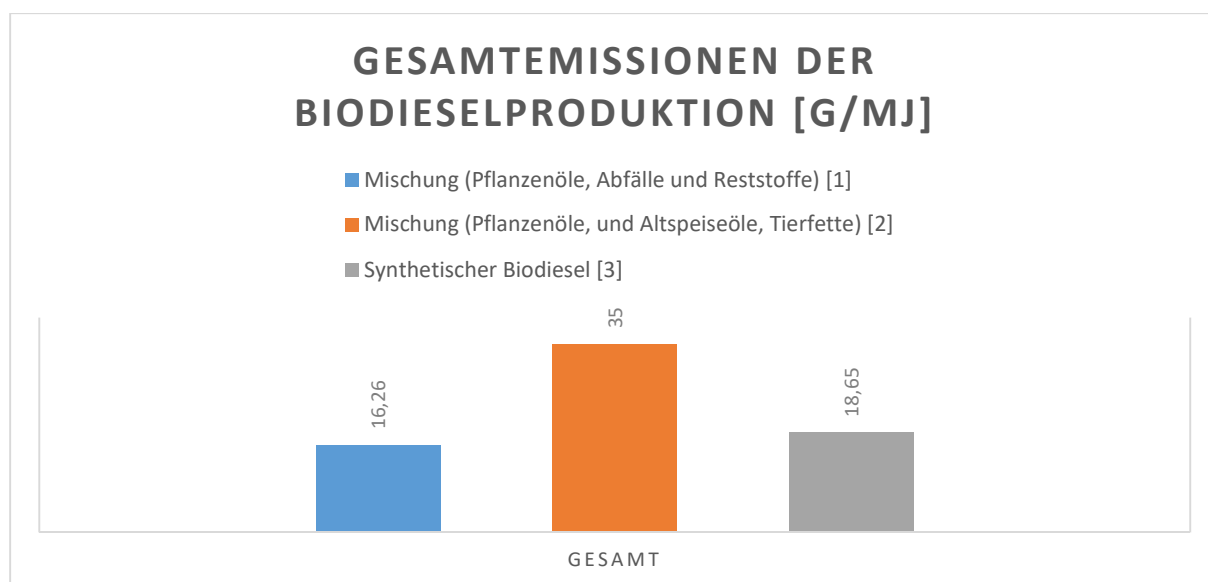


Abbildung 14: Gesamtemissionen der Biodieselproduktion (Zusammengestellte Ergebnisse aus [1] (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021), [2] (G. Jungmaier et al., 2008; Laborde, 2011; Menten Fabio et al., 2013), [3] (Menten Fabio et al., 2013))

Umgelegt auf die Emissionsauswirkungen pro gefahrenen Kilometer würden die Ergebnisse von Jungmaier et al. 79 g CO₂ / PKW-km ergeben (G. Jungmaier et al., 2008; Pucker et al., 2010). Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der Studie von Lechon et al. über die spanische

Biodieselproduktion, mit Werten zwischen 56 - 144 g CO₂ / PKW-km, abhängig von Herkunft der Rohstoffe, wieder (Lechon et al., 2011).

4.4.2 Referenzsysteme

Als Referenzsysteme wurden wie in Kapitel 2.4 beschrieben Gas, Torf und Diesel betrachtet. Die Ergebnisse zusammengefasst ergeben einen klaren Trend, dass die erneuerbaren Energiequellen einen erheblichen Vorteil im Zusammenhang mit den Klimaauswirkungen gegenüber den fossilen Quellen haben. Es ist erkennbar, dass im Bereich der Gasproduktion die Vorkette entscheidend ist. In der konventionellen Gasproduktion werden in der Vorkette 3,19 - 132 g CO₂ äq. / MJ bzw für LNG-Gas 205 - 280 g CO₂ äq. / MJ erwartet (Umweltbundesamt DE, 2018, 2021). Die Berechnungen dieser Arbeit zeigen Werte zwischen - 8,5 - 16 g CO₂ äq. / MJ vor der Nutzung. Im Bereich der Kompostierung hingegen konnte festgestellt werden, dass hier die Nutzungsphase und die Verbesserung der Bodenqualität durch Nährstoffe des Kompostprodukts den größten Einflussfaktor darstellen. Dies wird in 2.4.2 im Detail beschrieben. Für den Verkehrssektor kann das Einsparungspotential durch Biodiesel gegenüber konventionellen Dieselprodukten zwischen 20 und 85 % liegen (Umweltbundesamt AT, 2012).

Im Rahmen der Bewertung und Berechnung der Treibhausgaseinsparungen nach den Vorgaben der Erneuerbaren-Richtlinie gibt es klare Vorgaben zu Vergleichswerten. Diese werden im Anhang VI, die in angegeben und in Tabelle 10 zusammengefasst (Europäische Union, 2018):

Tabelle 10: Referenzwerte für Biomasse-Brennstoffe

Referenzwerte für:	
Biomasse-Brennstoffe zur Elektrizitätsproduktion oder für Gebiete in äußerer Randlage	EC _{F(el)} 183 g CO ₂ äq. / MJ
	EC _{F(el)} 212 g CO ₂ äq. / MJ
Biomasse-Brennstoffe für Wärme- oder Kälteproduktion	EC _{F(h)} 80 g CO ₂ äq. / MJ
Biomasse-Brennstoffe für Verkehr	E _{F(t)} 94 g CO ₂ äq. / MJ

5 Diskussion

Die Zielerreichung der eingangs definierten Forschungsfragen wird in den nächsten Absätzen analysiert und offene Punkte zur Diskussion gestellt.

Das erste Ziel war die Einteilung der Verwertungsmethoden unter Berücksichtigung der Abfallhierarchie. Die Kompostierung würde, nach Definition der Abfallrahmenrichtlinie, dem Bereich des Recyclings zu geordnet werden, die Produktion von Biogas und Biodiesel der thermischen Verwertung. Neben diesem Grundsatz der Priorisierung werden im Bundesabfallwirtschaftsplan Verwertungswege für biogene Abfälle, je nach Beschaffenheit, definiert. Eine möglichst lange Kreislaufführung wird angestrebt und somit ist auch eine kaskadische Nutzung mehrere Verwertungsmethoden zu empfehlen.

Die energetische Nutzung der thermischen Verwertung fällt in die Erneuerbaren-Richtlinie. Die Nutzung von gewonnener erneuerbarer Energie sollte als positiver Nebeneffekt gesehen werden. Die Forcierung der Energiegewinnung gegenüber der kreislaufwirtschaftlichen Betrachtungsweisen ist bedenklich, da in den Biogas- sowie Biodieselproduktionsanlagen neben Reststoffen auch landwirtschaftliche Rohstoffe eingesetzt werden. Diese werden direkt nach der Produktion aus dem Kreislauf entfernt und können nicht mehrfach kaskadisch genutzt werden. Dies widerspricht dem Ideal des optimierten und sparsamen Umgangs mit Ressourcen. Die Vorteile gegenüber den Referenzmaterialien geht in allen Verfahrensmethoden hervor.

Beim Vergleich oder der Entscheidung welches Verfahren angewendet wird, sollte auf den Kohlenstoffkreislauf und Kohlenstoffsenken geachtet werden. Ein Forschungsbedarf zu Daten der Verbesserung der Bodenqualität und Speicherung von Kohlenstoff im Boden durch Ausbringung von Komposterden und Gärresten und dessen Vergleich wurde festgestellt. Die Erkenntnisse könnten auch in der Bilanzierung angewendet werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Emissionen der zusätzlichen Aufbereitung zur Ausbringung, beispielsweise die Gärrestaufbereitung, die positiven Effekte nicht egalisiert. In Tabelle 11 werden die Vorteile und Nachteile der Methoden zusammengefasst.

Zur Abschätzung der Klimaauswirkungen der unterschiedlichen Verfahren wurden im weiteren Schritt Daten erhoben und Emissionsbilanzen für die Kompostierung und die Erzeugung von Biogas erstellt. Es besteht zur Verbesserung der Datenqualität und der Erhöhung der Genauigkeit der Ergebnisse ein Bedarf an realen Messungen, sowie eine bessere Aufbereitung und Auswertung der vorhandenen Daten bezogen auf die Klimaauswirkungen. Besonders betroffen sind hier die Bereiche der Luftemissionen, des Methanschlupfs und der Transportdaten. Diese Faktoren haben einen großen Einfluss und sind daher noch detaillierter zu betrachten. Bei fehlenden Datensätzen muss auf Standardwerte bzw. Literaturdaten zurückgegriffen werden, die meist höher sind als die realen Werte.

Tabelle 11: Vor- und Nachteile der Verwertungsmethoden

Berechnungsschritte	Biogas	Biodiesel	Kompostierung
Energie	+ Erneuerbarer Energielieferant	+ Erneuerbarer Energielieferant	+ - Energieverbraucher
Kreislaufwirtschaft	- Verlässt das System + Möglichkeit zur kaskadischen Nutzung - Thermische Verwertung	- Verlässt das System - thermische Verwertung	+ Kreislaufführung möglich + Recycling
Luftemissionen bei Produktion	+ Geringe Luftemissionen	+ Geringe Luftemissionen	- Hohe Luftemissionen bei der Umsetzung von Kompost
Bodenverbesserung / Düngung	+ Möglichkeit der Bodenverbesserung / Substitution von konventionellen Dünger durch Ausbringung von Gärrest - Schwermetalle - Lachgasemissionen	nicht zutreffend	+ Möglichkeit der Bodenverbesserung / Substitution von konventionellen Dünger durch Ausbringung von Kompost - Schwermetalle - Lachgasemissionen
Referenzsystem	+ Emissions-Einsparungen gegenüber fossilen Alternativen - Landwirtschaftliche Flächen stehen in Konkurrenz zur Futtermittelindustrie - geringe Produktionsmenge im Vergleich zum Strombedarf	+ Emissionseinsparungen gegenüber fossilen Alternativen - Landwirtschaftliche Flächen stehen in Konkurrenz zur Futtermittelindustrie - geringe Produktionsmenge im Vergleich zu Kraftstoffbedarf	+ Emissionseinsparungen während der Nutzungsphase + hohe Verfügbarkeit + Keine Zerstörung von sensiblen Ökosystemen bei der Herstellung

Die bilanziellen Rahmenbedingungen der Erneuerbaren-Richtlinie sind wie in der Studie gezeigt für alle drei Technologien anwendbar. Die Ergebnisse der Emissionsbilanzen werden in Abbildung 15 zusammengefasst. Es ist auf den ersten Blick das Abheben der Kompostierung zu erkennen. Dies ergibt sich aus den unterschiedlichen funktionellen Einheiten. Dadurch sind die Werte nicht direkt miteinander vergleichbar.

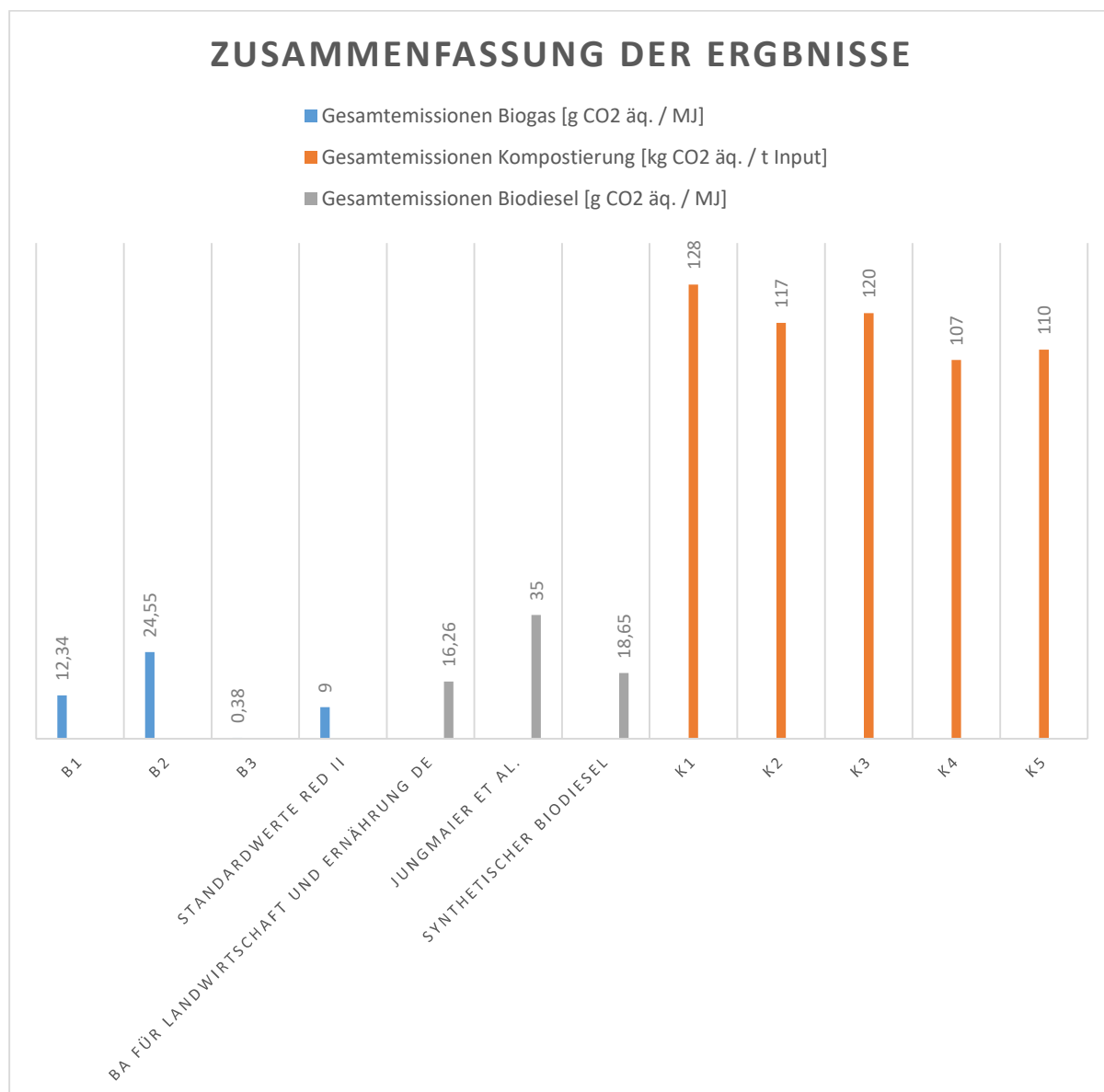


Abbildung 15: Zusammenfassung der Ergebnisse der Emissionsbilanzen

In dieser Arbeit wurde für die Bilanzierung der Kompostierung die Emissionen auf den Input bezogen. Dies hat Vorteile bezogen auf die Berechnung und spiegelt den Bezug zur Verwertung wieder. Zu Vermarktungszwecken wäre eine Berechnung bezogen auf den Output anzuraten. Hier würden noch etwaige Aufbereitungsschritte hinzukommen. Es ist anzumerken, dass sich die Outputmasse im Verhältnis zum Input um ca. 50 % verringert und dies ebenso Auswirkung auf das Ergebnis hat.

Den größten Einfluss auf die Klimaauswirkungen der Kompostierung haben die Luftemissionen, diese unterliegen in dieser Arbeit jedoch einem Unsicherheitsfaktor, da Literaturwerte herangezogen wurden. Beim Verfahren der Biogaserzeugung haben die Nutzung und Gutschriften aus Emissionseinsparungen den größten Einfluss.

Die Verwendung von Gutschriften wird in der Erneuerbaren-Richtlinie definiert und beschrieben. Eine geschickte Anwendung und Interpretation dieser kann jedoch das Ergebnis

vermindern und führt somit zu Werten, die nicht die realen Treibhausemissionen der Prozesse widerspiegeln. Die Gewährleistung der Transparenz in diesem Bereich wird sicher ein Zukunftsthema. Dies betrifft die immer mehr forcierte Nachhaltigkeitszertifizierung.

Diese Nachhaltigkeitszertifizierung ist im Bereich von Biodiesel in Deutschland bereits verpflichtend und führte zu einem Bestreben nach geringeren Emissionen, da dies einen Wettbewerbsvorteil bedeute. Dies ist in Abbildung 15 gut im Vergleich zwischen den Werten aus 2008 von Jungmaier et al. und den Werten der Deutschen Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung aus dem Jahr 2021 sichtbar.

Abschließend und zusammenfassend noch ein paar Sätze zu den Vor- und Nachteilen der drei Technologien in Hinblick auf Entstehung klimaschädlicher Emissionen und Ressourcenschonung: Alle drei Verfahren haben einen eindeutigen Vorteil bezüglich der Emissionen gegenüber fossiler Alternativen. Biogas- und Biodiesel haben im Punkt der direkten Emissionen einen Vorteil gegenüber der Kompostierung. Bei Verwendung von landwirtschaftlichen Rohstoffen sind Änderungen von direkten und indirekten Landwirtschaftsnutzungen zu betrachten. Vor allem im Bereich der indirekten Landwirtschaftsnutzungen, die derzeit noch nicht in der Erneuerbaren-Richtlinie berücksichtigt werden, könnten sich Änderungen ergeben. Die Kompostierung besticht durch die effiziente Ressourcennutzung. Abfall- und Reststoffe können durch das Verfahren zu einem Abfalle gelangen und durch ein Qualitätsprodukt wieder in den Kreislauf geführt werden. Dieses Upcycling sollte dem Verfahren positiv angerechnet werden um auch beim Thema Ressourcenschonung einen fairen Wettbewerb zwischen thermischer und stofflicher Verwertung zu erhalten.

6 Zusammenfassung

Viele Krisen und negative Großereignisse durch die Klimaveränderungen verlangen den Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft vieles ab. Die Europäische Union hat die Bestrebung durch nachhaltige Technologien den Wirtschaftsstandort zu stärken und die Versorgungssicherheit autarker zu gestalten. Dieser „Green Deal“ erfordert erhebliche Anstrengungen von allen Sektoren, die festgeschriebenen Ziele zu erreichen. In dieser Arbeit wurde ein Teil der Abfallwirtschaft betrachtet. Die vorrangigen Ziele waren, die Verwertungsmethoden von biogenen Abfällen auf deren Klimaauswirkungen zu prüfen und diese mit Referenzsystemen zu vergleichen. Ein weiterer Aspekt der Arbeit war die Einordnung der Behandlungsmethoden nach der europäischen Abfallhierarchie.

Die Abfallhierarchie wird in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie klar definiert und unterscheidet zwischen Recycling und thermischer Verwertung. Die Kompostierung, kann, solange ein Qualitätsprodukt erzeugt wird, im Kreislauf geführt und somit dem Recycling zugeordnet werden, wohingegen Biogas und Biodiesel den Kreislauf verlassen und zur thermischen Verwertung zu zählen sind. Dies ist auch in anderen Kreislaufmodellen wie dem der Ellen-McArthur-Stiftung gut erkennbar. Die Wahl der Verwertung ist jedenfalls nach dem größtmöglichen Aspekt des Umweltschutzes zu tätigen. Hilfestellung und bestmögliche Optionen je nach Beschaffenheit der Inputstoffe bietet hier der Bundesabfallwirtschaftsplan. Eine kaskadische Nutzung ist im besten Fall anzustreben.

Zur Bewertung der Klimaauswirkungen wurden Sachbilanzen der Abfallströme Kompostierung und Biogas erstellt, sowie eine Recherche zum Thema Biodiesel durchgeführt. Die Methode zur Bilanzierung der klimarelevanten Emissionen wurde an die Erneuerbaren-Richtlinie angelehnt, da die Verwertungsmethoden von Biogas und Biodiesel fossile Energie substituieren können und dies im Energiesektor bereits durch gesetzliche Vorgaben geregelt ist. Die Auswertung hat gezeigt, dass die Bilanzierung der Kompostierung an diese angelehnt werden kann, es jedoch einige Unterschiede zu beachten gilt.

Die funktionelle Einheit in Energieeinheiten ist nicht anwendbar. Möglichkeiten für Gutschriften wurden in dieser Arbeit nur teilweise bei der Verwertung von Biogas berücksichtigt, sind jedoch zu diskutieren und gegebenenfalls anzuwenden. Gutschriften könnten für folgende Einsparungen angewandt werden:

- Vermeidung von Lachgasemissionen bei der Aufbringung von Handelsdüngern
- Kohlenstoffspeicherung durch Aufbringung von Komposten und Gärresten
- Gutschriften für bessere Verwertungspraktiken / geringeren Emissionen gegenüber den Referenzsystemen

Den Einfluss der Gutschriften für die Verwertung von Mist und Gülle in Biogasanlagen ist auch bei den betrachteten Biogasanlagen bemerkbar. Die Anlagen, die Gutschriften anwenden konnten lagen mit 0,4 bzw. 12 g CO₂ äq. / MJ deutlich unter den Werten der Anlage B2 mit 25 g CO₂ äq. / MJ, welche die Voraussetzung für die Gutschrift nicht erfüllen konnte.

Die Ergebnisse der Kompostierung liegen im Bereich von 107 – 128 kg CO₂ äq. / t Inputmaterial. Den größten Einfluss haben Luftemissionen während des Umwandlungsprozesses. Die Werte der Luftemissionen wurden nach Literaturdaten abgeschätzt und unterliegen sehr hohen Unsicherheiten. Eine Messung der tatsächlichen

Emissionen wird voraussichtlich zu niedrigeren Werten führen. Weitere relevante Einflussgrößen sind die Bezugsquelle des Strommixes sowie die Länge des Transportweges der Einsatzstoffe.

Die Ergebnisse der Biodieselauswertung zeigen Veröffentlichungen mit verschiedenen funktionellen Einheiten. Einerseits wurden Emissionen je PKW-km mit Werten im Bereich von 56 – 144 g CO₂ äq. /PKW-km je nach Herkunft der Inputmaterialien präsentiert, andererseits auch CO₂-Äquivalente je MJ, wie in der Erneuerbaren-Richtlinie gefordert. Diese Werte liegen zwischen 16 und 35 g CO₂ äq. / MJ.

Der direkte Vergleich mit Referenzsystemen gestaltet sich durch die unterschiedlichen Bewertungsmethoden und Systemgrenzen der Studien schwierig. Es ist jedoch eindeutig zu erkennen, dass die Produkte der Verwertungsmethoden eine Einsparung gegenüber den fossilen Quellen darstellen. Die Biogasherstellung hat besonders im Vergleich mit LNG große Vorteile bei Vorkettenemissionen. Im Bereich der Kompostierung ist der Vorteil gegenüber dem Referenzmaterial Torf besonders in der Nutzungsphase erheblich. Diese wurde jedoch in dieser Arbeit nicht bilanziert. Die Substitution von konventionellem Diesel mit Biodiesel zeigt auch eine positive Treibhausgasbilanz.

Der schwierige Vergleich zwischen Studien durch unterschiedliche Herangehensweisen, Systemgrenzen und Werten soll zukünftig durch Zertifizierungssysteme erleichtert werden. Vor allem im Bereich der erneuerbaren Energien werden Zertifizierungssysteme vorangetrieben.

Abschließend wird festgestellt das alle drei Technologien Vorteile gegenüber den jeweiligen fossilen Alternativen bieten. Der Vergleich untereinander gestaltet sich schwieriger, da die jeweiligen Prozesse unterschiedliche Ziele verfolgen. Im Bereich der Klimaauswirkungen haben Biogas und Biodiesel nach derzeitigen Rahmenbedingungen einen Vorteil, wohingegen die Kompostierung in Bezug auf Ressourcenschonung und Priorisierung in der Abfallhierarchie bzw. Kreislaufwirtschaft Vorteile mit sich bringt.

7 Quellenverzeichnis

- Austrian Standards (2021a) *ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement — Ökobilanz — Anforderungen und Anleitungen*.
- Austrian Standards (2021b) *ÖNORM EN ISO 14040: Umweltmanagement — Ökobilanz — Grundsätze und Rahmenbedingungen*.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2021) „Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2021“.
- Bundesministerium für Finanzen (2022) *NEHG 2022* (Bundesgesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Treibhausgasemissionen - Nationales Emissionszertifikatehandelsgesetz 2022). BGBl. I Nr. 10/2022.
- Bundesministerium für Klimaschutz Umwelt Energie Mobilität Innovation Technologie „Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2021“.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021) „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich: Statusbericht 2021“.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2023) „Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023: Teil 1“.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2001) *Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung)* (BGBl. II Nr. 292/2001).
- Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2022) „Moorstrategie Österreich 2030+“.
- Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie (1992) *Getrennte Sammlung biogener Abfälle*.
- Cuhls et al. (2015) „Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen“.
- E-Control (2020) „Ökostrombericht 2020“.
- E-Control (2022) „Strom- und Gaskennzeichnungsbericht 2022: Berichtsjahr 2021“.
- Europäische Kommission (2019) *Der europäische Grüne Deal*. COM (2019) 640 final.
- Europäische Kommission (2022) *Durchführungsverordnung EU 2022/996* (Durchführungsverordnung über Vorschriften für die Überprüfung in Bezug auf die Nachhaltigkeitskriterien und die Kriterien für Treibhausgaseinsparungen sowie die Kriterien für ein geringes Risiko indirekter Landnutzungsänderungen). EU 2022/996.
- Europäische Kommission (2023a) *Global Nitrous Oxide Calculator - GNOC* [Online]. Verfügbar unter <https://gnoc.jrc.ec.europa.eu/> (Abgerufen am 1 Juli 2023).
- Europäische Kommission (2023b) https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en: Aufgerufen am 05.03.2023 [Online].
- Europäische Kommission (2023c) https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en: Aufgerufen am 05.03.2023 [Online].
- Europäische Union (2008) *Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG* (Richtlinie 2008/98/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien). 05.07.2018.

- Europäische Union (2018) „Richtlinie (EU) 2018/ 2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 - zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“.
- Europäische Union (2020) „BESCHLUSS (EU) 2020/1722 DER KOMMISSION vom 16. November 2020 über die unionsweite Menge der im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems für 2021 zu vergebenden Zertifikate“.
- G. Jungmaier et al. (2008) „Umweltbewertung der Biodieselproduktion in der Steiermark im Vergleich zu mineralischem Diesel“: Insitut für Energieforschung.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) „Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 3 - Mobile Combustion“.
- International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank (2021) *State and Trends of Carbon Pricing 2021*, The World Bank.
- Jakob Wachsmuth et al. (2019) „Wie klimafreundlich ist LNG? - Kurzstudie zur Bewertung der Vorkettenemissionen bei Nutzung von verflüssigtem Erdgas (LNG)“: Umweltbundesamt DE.
- KTBL (2023) *Leistungs- und Kostenabrechnung* [Online]. Verfügbar unter <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html#Ergebnis> (Abgerufen am 1 Juli 2023).
- Laborde, D. (2011) „Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel policies and its uncertainties“: Atlass Consortium.
- Lambert et al. (2011) „Klimarelevanz und Energieeffizienz der Verwertung biogener Abfälle“: Umweltbundesamt AT.
- Lampert, N. (2015) „Praxis großer Kompostierungsanlagen und wesentliche Anforderungen an einen emissionsarmen Betrieb“: Umweltbundesamt AT.
- Lechon et al. (2011) „Life cycle greenhouse gas emissions impacts of the adoption of the EU Directive on biofuels in Spain. Effect of the import of raw materials and land use changes“, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, No. 6, S. 2374–2384.
- Majer et al. (2015) „Technische und methodische Grundlagen der THG-Bilanzierung von Biodiesel: Handreichung“: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH.
- Menten Fabio et al. (2013) „A review of LCA greenhouse gas emissions results for advanced biofuels: The use of meta-regression analysis“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 26, S. 108–134.
- Oehmichen et al. (2015) *Technische und methodische Grundlagen der THG-Bilanzierung von Biomethan: Handreichung*.
- OMV (2023) *Woher kommt das? Der Weg des Öls* [Online]. Verfügbar unter <https://www.omv.com/de/blog/woher-kommt-das-der-weg-des-oels> (Abgerufen am 20 August 2023).
- Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (2009) *ÖWAV-Regelblatt 518: Anforderungen an den Betrieb von Kompostierungsanlagen*.
- Pucker et al. (2010) „Ökobilanz Biogas: Erfolgsfaktoren zur nachhaltigen Nutzung der Biogastechnologie am Beispiel ausgewählter Biogasanlagen“: RESEARCH, JOANNEUM.
- Stucki, M. e. a. „Erweiterung der Studie «Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich»: Eigenschaften, Verfügbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen“.

- The Ellen McArthur Foundation (2019) „Ein gesunder Wirtschaftskreislauf“: Europäische Investitionsbank.
- Trepel, M. (2007) „Zur Bedeutung von Mooren in der Klimadebatte“, *Jahresbericht Des Landesamtes Für Natur Und Umwelt Des Landes Schleswig-Holstein*, S. 61–74.
- Umweltbundesamt AT (2022) „Klimaschutzbericht 2022“.
- Umweltbundesamt AT (2012) *Ökobilanzen ausgewählter Biotreibstoffe: Erstellt im Rahmen des Projekts "Biokraftstoffe - Potentiale, Risiken, Zukunftsszenarien"*, Reports REP-0360 [Online]. Verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub_id=1957.
- Umweltbundesamt AT (2023) „Austria's National Inventory Report 2023“.
- Umweltbundesamt DE (2018) „Bewertung der Vorkettenemissionen bei der Erdgasförderung in Deutschland“, *DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Karlsruhe* [Online]. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-01-30_climate-change_02-2018_roadmap-gas_0.pdf.
- Umweltbundesamt DE (2021) „Emissionsfaktoren der Stromerzeugung - Betrachtung der Vorkettenemissionen von Erdgas und Steinkohle“.
- Vereinte Nationen (2023) https://www.undp.org/sustainable-development-goals?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&gclid=CjwKCAiAmJGgBhAZEiwA1JZolt2iiY6BwaAMKMKKeu_1fKfF-p_9LstMSZKBKhu06RPo-BufvH8p93hoCfvcQAvD_BwE: Aufgerufen am 05.03.2023 [Online].

7.1 Tabellen

Tabelle 1: Verwertungsanlagen für biogene Abfälle in Österreich.....	8
Tabelle 2: Vorkettenemissionen von Erdgas (Pipeline und LNG) nach (Umweltbundesamt DE, 2018, 2021)	19
Tabelle 3: Eckdaten Biogasanlagen	26
Tabelle 4: Verfahrensinformationen Kompostieranlagen	31
Tabelle 5: Auszug aus der Liste der Transporteffizienz – LKW nach Durchführungsverordnung (<i>Durchführungsverordnung EU 2022/996</i> . Europäische Kommission, 2022).....	32
Tabelle 6: Luftemissionen der Kompostierung	33
Tabelle 7: Gegenüberstellung der Berechnungsschritte der Verwertungswege	36
Tabelle 8: Gesamtemissionen der Sachbilanzen der betrachteten Biogasanlagen B1 – B3	37
Tabelle 9: Gesamtemissionen der Sachbilanz der Kompostieranlagen K1 – K5.....	39
Tabelle 10: Referenzwerte für Biomasse-Brennstoffe.....	41
Tabelle 11: Vor- und Nachteile der Verwertungsmethoden.....	43

7.2 Formelverzeichnis

Formel 1: Grundgleichung der Bewertungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie.....	23
Formel 2: Grundgleichung der Bewertungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie für Co- Vergärung	23
Formel 3: Berechnungsformel je Term zur Grundgleichung der Bewertungsmethode der Erneuerbaren-Richtlinie (Oehmichen et al., 2015)	24
Formel 4: Gleichung zur Bestimmung des Faktor S.....	26
Formel 5: Formel zur Berechnung der Energieausbeute der Rohstoffe	27
Formel 6: Gewichtungsfaktor der Einsatzstoffe zur Gesamteinsatzmenge	27
Formel 7: Berechnung des Allokationsfaktor	30

Anhang

Anhang 1: Datenerhebungsblätter

Anhang 2: Ergebnisse der Sachbilanz - Biogas mit aggregierten Werten bzw. am Beispiel B3

Anhang 3: Ergebnisse der Sachbilanz – Kompostierung mit aggregierten Werten

Anhang 1

Datenerhebungsblätter

Datenabfrage Klima+A

Dieser Fragebogen dient der Datenerhebung für das **Forschungsprojekt Klima+A**, bitte füllen Sie diesen soweit sie Daten haben aus, wenn **keine Daten vorhanden** sein sollten bitte einfach **ein x eintragen**, damit wir dies wissen. Bei Fragen bitte melden Sie sich bzw retournieren Sie bitte den Fragebogen an **theresa.lord@unileoben.ac.at**. Vielen Dank für Ihre Bemühungen und die Zusammenarbeit!

Folgende Daten werden geheim gehalten und nur anonymisiert bzw. aggregiert verwendet.

Editierung der Datenabfrage aus dem Projekt Klima+A von Frau Mag. MEng. Therese Schwarz-Bouvier

Unternehmen		
--------------------	--	--

ANLAGE	Anlagen Bezeichnung		
	Ort		
	Stoffstrom		
	Ø Jahresdurchsatz Anlage	t/a	
	Betriebsart (Schicht/Stunden pro Tag)		
	Feuerungswärmeleistung?	MW	
	Weitere Informationen		

STOFFSTRÖME	Inputzusammensetzung		
	Inputmaterial 1		Name
	Inputstoff	m-%	xx
		m-%	
	Feuchte (Durchschnittsfeuchte)		
	Primär: Art der Landwirtschaftlichennutzung/ Anbau und Gewinnung oder Sekundär Abfall		
	Herkunft/ Transportweg (beladen/leer?) Transportmittel/ Treibstoff	km	
	Inputmaterial 2		Name
	Inputstoff	m-%	xx
		m-%	
	Feuchte (Durschnittsfeuchte)		
	Primär: Art der Landwirtschaftlichennutzung/ Anbau und Gewinnung oder Sekundär Abfall		
	Herkunft/ Transportweg (beladen/leer?) Transportmittel/ Treibstoff		
	Inputmaterial 3		Name
	Inputstoff	m-%	xx
		m-%	
	Feuchte (Durschnittsfeuchte)		
	Primär: Art der Landwirtschaftlichennutzung/ Anbau und Gewinnung oder Sekundär Abfall		

Herkunft/ Transportweg (beladen/leer?) Transportmittel/ Traibstoff	m-%	
Inputmaterial 4		
Inputstoff 4	m-%	xx
	m-%	
Feuchte (Durchschnittsfeuchte, Standardfeuchte)		
Primär: Art der Landwirtschaftlichennutzung/ Anbau und Gewinnung oder Sekundär Abfall		
Herkunft/ Transportweg (beladen/leer?) Transportmittel/ Traibstoff	m-%	
Outputmaterial 1 Benennung		
Biogasertrag,	mn ³ /a	
Methanertrag,	mn ³ /a	
Energieertrag,	MJ/a	xxx
Eingespeiste Strommenge	kWh/a	xx
Methanverluste	kg/a	
Nebenprodukt		
Anteil des Nebenproduktes am Outputstrom	m-%	
Einsatz Betriebsmittel und Hilfsstoffe / Additive		
Betriebsmittel 1 Benennung		
Mengenverbrauch pro Jahr	t/a	
Betriebsmittel 2 Benennung		
Mengenverbrauch pro Jahr	t/a	
Hilfsstoff 3 Benennung		
Mengenverbrauch pro Jahr	t/a	

ENERGIE	Ø Energieverbrauch Anlage	kWh/a	
	Ø Energieverbrauch pro Tonne/Abfall	kWh/a	
	Ø Energieverbrauch Wertstoffstrom/-kette	kWh/a	
	Energieträgereinsatz		
	Energieträger 1 Benennung		
	Prozetueller Anteil	%	
	Energieträger 2 Benennung		
	Prozetueller Anteil	%	
	Energieträger 3 Benennung		
	Prozetueller Anteil	%	
	davon selbst erzeugte Energie	%	
	Wärmebedarf Anlage/ Prozessschritt		

AGGREGATE	Prozess-Reihenfolge		
	Aggregat 1		
	Anschlussleistung		kW
	Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a
	Wärmeverbrauch pro Jahr		
	Methanemission (Schlupf)		
	Aggregat 2		
	Anschlussleistung		kW
	Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a
	Methanemission (Schlupf)		
	Aggregat 3		
	Anschlussleistung		kW
	Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a
	Methanemission (Schlupf)		
	Aggregat 4		
	Anschlussleistung		kW
	Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a
	Methanemission (Schlupf)		
	Aggregat 5		
	Anschlussleistung		kW
	Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a
	Aggregat 6		
Anschlussleistung		kW	
Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a	
Aggregat 7			
Anschlussleistung		kW	
Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a	
Aggregat 8			
Anschlussleistung		kW	
Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a	
Aggregat 9			
Anschlussleistung		kW	
Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a	
Aggregat 10			
Anschlussleistung		kW	
Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a	
Aggregat 11			
Anschlussleistung		kW	
Energieverbrauch pro Jahr		kWh/a	

Datenabfrage Klima+A

Dieser Fragebogen dient der Datenerhebung für das **Forschungsprojekt Klima+A**, bitte füllen Sie diesen soweit sie Daten haben aus, wenn **keine Daten vorhanden** sein sollten bitte einfach **ein x eintragen**, damit wir dies wissen. Bei Fragen bitte melden Sie sich bzw retournieren Sie bitte den Fragebogen an **theresa.lord@unileoben.ac.at**. Vielen Dank für Ihre Bemühungen und die Zusammenarbeit!

Folgende Daten werden geheim gehalten und nur anonymisiert bzw. aggregiert verwendet.

Editierung der Datenabfrage aus dem Projekt Klima+A von Frau Mag. MEng. Therese Schwarz-Bouvier

Unternehmen		
Verfahren		Kompostierung

ANLAGE	Anlagen Bezeichnung		
	Ort		
	Stoffstrom		
	Ø Jahresdurchsatz Anlage	t/a	
	Betriebsart (Schicht/Stunden pro Tag)		
	Weitere Informationen		

Kompostierung	Methode/Art (offen, geschlossen, teilgeschlossen)	
	Vorbehandlung	
	Vorsortierung (Händisch, manuell)	
	Zerkleinerung	
	Lagerung	
	Mietenform	
	Hauptrotte	
	Nachrotte	
	Umsetzungsintervall	
	Hauptrotte	
	Nachrotte	
	Verweildauer	
	Hauptrotte	
	Nachrotte	
	Abluftreinigung	
	Hauptrotte	
	Nachrotte	
	Umsatzgerät	
	Hauptrotte	
	Nachrotte	
Energieform Umsatzgeräte		
Energiebedarf		

Inputzusammensetzung		
Inputmaterial 1		Name
Inputstoff	m-%	xx
	m-%	
	m-%	
	m-%	
Herkunft/ Transportweg (beladen/leer?) Transportmittel	km	
Inputmaterial 2		Name
Inputstoff	m-%	xx
	m-%	
	m-%	
	m-%	
Herkunft/ Transportweg (beladen/leer?) Transportmittel	km	
Inputmaterial 3 (Hilfsmaterialien und Stoffe)		Name
Inputstoff	m-%	xx
	m-%	
	m-%	
	m-%	
Herkunft/ Transportweg (beladen/leer?) Transportmittel	km	
Outputmaterial 1 Benennung		
Verwertungsweg Outputmaterial 1		
Qualitätseinstufung Outputmaterial	hoch/mittel/niedrig	
Heizwert des Outputmaterial (Hu bzw. Hi)	MJ/t	xxx
Biogener Anteil des Outputmaterials	m-%	xx
Outputmaterial 2 Benennung		
Verwertungsweg Outputmaterial 2		
Qualitätseinstufung Outputmaterial	hoch/mittel/niedrig	
Heizwert des Outputmaterial (Hu bzw. Hi)	MJ/t	
Biogener Anteil des Outputmaterials	m-%	
Outputmaterial 3 Benennung		
Verwertungsweg Outputmaterial 3		
Qualitätseinstufung Outputmaterial	hoch/mittel/niedrig	
Heizwert des Outputmaterial (Hu bzw. Hi)	MJ/t	
Biogener Anteil des Outputmaterials	m-%	
Nebenprodukt		
Anteil des Nebenproduktes am Outputstrom	m-%	
Einsatz Betriebsmittel und Hilfsstoffe		
Betriebsmittel 1 Benennung		
Mengenverbrauch pro Jahr	t/a	
Betriebsmittel 2 Benennung		
Mengenverbrauch pro Jahr	t/a	
Hilfsstoff 3 Benennung		
Mengenverbrauch pro Jahr	t/a	

ENERGIE	Ø Energieverbrauch Anlage	kWh/a	
	Ø Energieverbrauch pro Tonne/Abfall	kWh/a	
	Ø Energieverbrauch Wertstoffstrom/-kette	kWh/a	
	Energieträgereinsatz		
	Energieträger 1 Benennung		
	Prozentueller Anteil	%	
	Energieträger 2 Benennung		
	Prozentueller Anteil	%	
	Energieträger 3 Benennung		
	Prozentueller Anteil	%	
davon selbst erzeugte Energie	%		

AGGREGATE	Anlagen Aggregate / Prozessschritt (bitte nach der Prozess-Reihenfolge angeben)		
	Prozess/ Lagerung 1		
	Anschlussleistung	kW	
	Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
	Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
	Vorsortierung/ Zerkleinerung 2		
	Anschlussleistung	kW	
	Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
	Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
	Aggregat 3		
	Anschlussleistung	kW	
	Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
	Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
	Aggregat 4		
	Anschlussleistung	kW	
	Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
	Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
	Aggregat 5		
	Anschlussleistung	kW	
	Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
	Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
	Aggregat 6		
	Anschlussleistung	kW	
	Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
	Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 7			
Anschlussleistung	kW		
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a		
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein		
Aggregat 8			
Anschlussleistung	kW		
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a		
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein		

Aggregat 9		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 10		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 11		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 12		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 13		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 14		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 15		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	
Aggregat 16		
Anschlussleistung	kW	
Energieverbrauch pro Jahr	kWh/a	
Emissionen gemessen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O , NH ₃)	Ja/Nein	

Anhang 2

Ergebnisse der Sachbilanz
Biogas mit aggregierten Werten bzw. am Beispiel B3

Auswertung Datenabfrage Klima+A Stoffstrom Biogasanlage

Erhobene Daten
Literatur Daten
Schätzwerte
Berechnete Werte
Unkenntlichmachung aufgrund von Datenschutz

1. Berechnung der Energieausbeute der Rohstoffe (P)

Rohstoff	Biogasertrag [Nm ³ /kg FM]	Biogasertrag [Nm ³ /kg oTS]	Organik in der Trockenmasse [oTS]	TM [%]	Heizwert* [MJ/m ³]	P [MJ / kg FM] Berechnung aus Trockenmasse	P _{Anlage X} [MJ / kg FM] Berechnung aus FM	Anmerkungen / Quellen
CCM / Körner Mais	0,37	0,451	0,98	73	19,08	6,16	7,06	https://www.loop.com/de/nextenprodukte/kreisformig/ccm
GPS(Ganzplanzensilage/Mais)	0,21	0,1755	0,932	37	18,9	1,14	3,97	https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/?sel_list=12%2Cb&anker0=substratanker#substratanker
GPS/Gerste-Triticale	0,195	0,1766	0,932	35	18,864	1,09	3,68	https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/?sel_list=12%2Cb&anker0=substratanker#substratanker
Maisstroh/Ackerrestsstoff/ZW-Früchte/Begrünungen	0,17	-	-	54	18,9	-	3,21	Annahme ähnlicher Heizwert GPS
Küchen- und Speiseabfälle	0,25	0,558	0,92	16	21,60	1,77	5,40	
Gras	-	0,321	0,89	40	19,48	2,23		
Obst- und Gemüseabfälle	-	0,275	0,76	15	20,16	0,63		
Obst- und Fruchtsaft	0,8	-	-	-	20,16	-	16,13	Annahme ähnlicher Heizwert als Obst und Gemüseabfälle
Molkereiabfälle / Käse	0,035	0,414	0,915	96	19,04	6,92	0,67	
Molkereiabfälle / Milch	-	0,1149	0,947	13,5	19,04	0,28		
Pressfilterrückstände	-	0,39	0,915	77	19,04	5,23		https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/?sel_list=12%2Cb&anker0=substratanker#substratanker
Milchviehgülle	-	0,35	0,85	8,5	19,8	0,50		https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/?sel_list=12%2Cb&anker0=substratanker#substratanker
Schweinegülle	0,03	0,4	0,85	6	21,6	0,44	0,65	https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/?sel_list=12%2Cb&anker0=substratanker#substratanker
Leimleder	0,28	-	-	-	21	-	5,88	https://pureadmin.unileoben.ac.at/ws/portalfiles/portal/2177969/AC02447621_2001.pdf ,
Fettsäure/Fette/Öle	0,27	-	-	-	41	-	11,07	https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser/Documents/Thermische%20Verwertung%20von%20Abfallfraktionen%2005.2007.pdf
MDI/Magen-Darminhalt-Schlachtabfälle-Hühnerkot	0,07	-	0,84	15	21,6	-	1,51	Werte für Schlachtabfälle, https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/?sel_list=12%2Cb&anker0=substratanker#substratanker

* = (Methangehalt x unterheizwert Methan --> Literaturwert 36)

2. Berechnung des Gewichtungsfaktors (W)

Anmerkung: Es wird vereinfacht und nicht zwischen Standardfeuchte und Durchschnittsfeuchte unterschieden!

Rohstoff	Jährlicher Input			W		
	B1	B2	B3	W _{B1}	W _{B2}	W _{B3}
Rohstoff						
CCM / Körner Mais						0
GPS(Ganzplanzensilage/Mais)						0
GPS/Gerste-Triticale						0
Maisstroh/Ackerrestsstoff/ZW-Früchte/Begrünungen						0
Küchen- und Speiseabfälle						0
Gras			35			0,08
Obst- und Gemüseabfälle						0
Obst- und Fruchtsaft						0
Molkereiabfälle / Käse			78			0,18
Molkereiabfälle / Milch			154			0,35
Pressfilterrückstände						0
Milchviehgülle			170,5			0,39
Schweinegülle						0
Leimleder						0,00
Fettabscheider/Fette/Öle						0
MDI/Magen-Darminhalt-Schlachtabfälle-Hühnerkot						0
Summe	31442	5853,63	437,5	1	1,00	1,00

3. Berechnung des Rohstoffanteils am Energiegehalt

Rohstoff	W _{B1}	W _{B2}	W _{B3}	P	P _{B1}	W _{B1} x P _{B1}	W _{B2} x P	W _{B3} x P	S _{B1}	S _{B2}	S _{B3}
CCM / Körner Mais			0,00	6,16				0,00			0
GPS(Ganzplanzensilage/Mais)			0,00	1,14				0,00			0
GPS/Gerste-Triticale			0,00	1,09				0,00			0
Maisstroh/Ackerrestsstoff/ZW-F			0,00	0,00				0,00			0
Küchen- und Speiseabfälle			0,00	1,77				0,00			0
Gras			0,08	2,23				0,18			0,10
Obst- und Gemüseabfälle			0,00	0,63				0,00			0
Obst- und Fruchtsaft			0,00	0,00				0,00			0
Molkereiabfälle / Käse			0,18	6,92				1,23			0,72
Molkereiabfälle / Milch			0,35	0,28				0,10			0,06
Pressfilterrückstände			0,00	5,23				0,00			0
Milchviehgülle			0,39	0,50				0,20			0,11
Schweinegülle			0,00	0,44				0,00			0
Leimleder			0,00	0,00				0,00			0
Fettabscheider/Fette/Öle			0,00	0,00				0,00			0
MDI/Magen-Darminhalt-Schlach (leer)			0,00	0,00				0,00			0
Summe							3,99	1,75	1,71		

4. Emissionen aus der Rohstoffgewinnung und des Rohstoffanbaus e_{ec}

Abfall- und Reststoffen werden für die Entstehung keine Emissionen zugeordnet:

Küchen- und Speiseabfälle
 Obst- und Gemüseabfälle
 Molkereiabfälle
 Hämstoffmilch
 Pressfiltrrückstände
 Gülle
 Maisstroh/Ackerrestsstoff/ZW-Früchte/Begrünungen
 Leimlederabfälle
 Fettabscheider-Abfälle
 MCI/Magen-Darminhalt-Schlachtabfälle-Hühnerkot
 Berechnung notwendig für

CCM/ Körner Mais

CCM = Crop-Corn-Mix

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen kg Co2 äq / ha	Emissionen kg Co2 äq / t	Emissionen g Co2 äq / MJ	Anmerkungen Quellen
Stickstoffdüngung	150 - 200	kg N/ha	4,57	690 - 910			Angabe eines Bereiches zur Aggregierung
Düngerwert							
Dieselbedarf	77,04	l/ha	3,44	265,02			https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html#Ergebnis
Lachgasemissionen	2,85	kg N2O/ha	298	849,30			https://gnoc.jrc.ec.europa.eu/
Summe				2024,32			Summe Berechnet mit Worst Case Bereich
Ertrag	15	t/ha			134,95	19,12	

GPS(Ganzplzensilage/Mais) GPS = Getreide Ganzpflanzen Silage

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen kg Co2 äq / ha	Emissionen kg Co2 äq / t	Emissionen g Co2 äq / MJ	Anmerkungen / Quellen
Stickstoffdüngung	150 -200	kg N/ha	4,57	690 - 910			Angebe eines Bereiches zu aggregierung
Düngerwert							
Dieselbedarf	47,79	l/ha	3,44	164,40			https://daten.ktbl.de/dslkrpfanze/postHv.html#Ergebnis
Lachgasemissionen	2,85	kg N2O	298	849,30			https://gnoc.jrc.ec.europa.eu/
Summe				1923,70			Summe Berechnet mit Worst Case Bereich
Ertrag	60	t/ha			32,06	8,08	

GPS/Gerste-Triticale

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen kg Co2 äq / ha	Emissionen kg Co2 äq / t	Emissionen g Co2 äq / MJ	Anmerkungen / Quellen
Stickstoffdüngung	100-150	kg N/ha	4,57	460 - 680			Angebe eines Bereiches zu aggregierung
Düngerwert							
Dieselbedarf	47,79	l/ha	3,44	164,40			https://daten.ktbl.de/dslkrpfanze/postHv.html#Ergebnis
Lachgasemissionen	1,32	kg N2O	298	393,36			https://gnoc.jrc.ec.europa.eu/
Summe				1237,76			Summe Berechnet mit Worst Case Bereich
Ertrag	30	t/ ha			41,26	11,22	

Gras

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen kg Co2 eq / ha	Emissionen kg Co2 eq / t	Emissionen g Co2 eq / MJ	Anmerkungen / Quellen
Stickstoffdüngung	0		4,57	0			Annahme Düngung nur durch Gülle und Gärrest
Dieselbedarf/ Kummulierter Energiebedarf	137,17		3,44	471,86			https://daten.ktbl.de/dslkrpfanze/postHv.html#Ergebnis
Lachgasemissionen			298	0,00			
Summe							
Ertrag	17	t/ ha (Annahme)			27,76	12,47	

4.1 Berechnung der Emissionen aus dem Transport der Rohstoffe

Anlage B3

Rohstoff	Entfernung in km inkl Rückfahrt	Einheit	Emissions- faktor	Emissionen CO2 äq / kg	P [MJ/kg]	Emissionen pro MJ
CCM / Körner Mais		km	77,031		6,16	0,000
GPS(Ganzplanzensilage/Mais)		km	77,031		1,14	0,000
GPS/Gerste-Triticale		km	77,031		1,09	0,000
Maisstroh/Ackerrestsstoff/ZW- Früchte/Begrünungen		km	77,031		0,00	0,000
Küchen- und Speiseabfälle		km	77,031		1,77	0,000
Gras	1	km	77,031	0,08	2,23	0,172
Obst- und Gemüseabfälle		km	77,031		0,63	0,000
Obst- und Fruchtsaft		km	77,031		0,00	0,000
Molkereiabfälle / Käse	2	km	77,031	0,15	6,92	1,067
Molkereiabfälle / Milch	2	km	77,031	0,15	0,28	0,043
Pressfiltrerrückstände		km	77,031		5,23	0,000
Milchviehgülle	1	km	77,031	0,08	0,50	0,039
Schweinegülle		km	77,031		0,44	0,000
Leimleder		km	77,031		0,00	0,000
Fettabscheider/Fette/Öle		km	77,031		0,00	0,000
MDI/Magen-Darminhalt- Schlachtabfälle-Hühnerkot		km		77,031		0,000

*** = Transportefizienz LKW (40t für Trockenprodukt) [MJ/ tkm] * Brennstoff - Diesel [g CO2 /MJ]

5. Emissionen aus Landnutzungsänderungen e_l

6. Emissionen aus verbesserten langwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken e_{sca}

Bei Verwendung von Mist/Gülle als Substrat wird ein Bonus von 45 gCO₂ eq/MJ Gülle (– 54 kgCO₂ e Frischmasse) für die verbesserte landwirtschaftliche und Mist-/Güllebewirtschaftung angerechnet.

Umrechnung Schweinegülle					
648	MJ / t FM	54	kgCO ₂ äq Frischmasse	83,3	g CO ₂ /MJ Biogas
Umrechnung Rindergülle					
501	MJ / t FM	54	kgCO ₂ äq Frischmasse	107,9	g CO ₂ / MJ Biogas

7. Emissionen aus der Verarbeitung (Biogaserzeugung) e_p

Aggregiert

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [g Co ₂ äq/ a]	MJ Biogas / a (Gesamtenergiemenge)	ep g Co ₂ äg / MJ
Strombedarf	650 000	kWh/ a	-	-	24 636 355	-
Wärmebedarf	-	kWh/ a	-	-	24 636 355	-
Dieselbedarf	2 000	l/a	2 650	5 300 000	24 636 355	0,22
Methanverlust**	6 000	m ³ /a			24 636 355	-
Methanverlust**	4 020	kg / a	25	100 500 000	24 636 355	4,08
Summe						4,29

** Methanverluste durch !Notfackel! und Überdrucksicherung in m³ Rohgas durch Reparaturarbeiten z.B. BHKW und Fermenter

Eigenbedarf
Prozesswärme / Eigenbedarf

8. Emissionen aus der Nutzung des Biomasse- Brennstoffs e_u

Anmerkung: CO₂ aus dem Abgasstrom wird nicht bilanziert, entspricht näherungsweise der CO₂ bildung beim Wachstum der Biomasse

Output BHKW	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [kg Co ₂ äq/ MJ]
CH ₄ — und N ₂ O-Emissionen aus Biogas. KWK-Gasmotoren				8,92

9. Berechnung der Gesamtemissionen aus der Erzeugung und Nutzung von Biogas

Anlage B3

Inputstoffe	Energetische Anteile der Rohstoffe am Input in den Fermenter	Rohstoff fabbau und Gewinn ung	Transport und Vertrieb der Rohstoffe	Landnutzungs- änderung	Landwirtschaft- liche Bewirtschaftungs praktiken	$\Sigma SS_{nn} \times (e_{,n} + e_{t,} - R_{hs,n} + e_{l,nn} - e_{s,nn})$	Biogaserzeugung	Nutzung	Gesamt
	S_n	e_{ec}	e_{td}	e_l	e_{sca}	Summe	e_p	e_u	Gesamt
	-	g CO ₂ äq/ MJ	g CO ₂ äq/ MJ	g CO ₂ äq/ MJ	g CO ₂ äq/ MJ		g CO ₂ äq/ MJ	g CO ₂ äq/ MJ	g CO ₂ äq/ MJ
CCM / Körner Mais	0,000		0,000				0,000		
GPS(Ganzplanzensilage/Mais)	0,000		0,000				0,000		
GPS/Gerste-Triticale	0,000		0,000				0,000		
Maisstroh/Ackerreststoff/ZW-F	0,000		0,000				0,000		
Küchen- und Speiseabfälle	0,000		0,000				0,000		
Gras	0,104		0,172				0,018		
Obst- und Gemüseabfälle	0,000		0,000				0,000		
Obst- und Fruchtsaft	0,000		0,000				0,000		
Molkereiabfälle / Käse	0,724		1,067				0,772		
Molkereiabfälle / Milch	0,058		0,043				0,002		
Pressfilterrückstände	0,000		0,000				0,000		
Milchviehgülle	0,114		0,039		107,900		-12,336		
Schweinegülle	0,000		0,000				0,000		
Leimleder	0,000		0,000				0,000		
Fettscheider/Fette/Öle	0,000		0,000				0,000		
MDI/Magen-Darminhalt-Schlach	0,000		0,000				0,000		
Summe	0,000		0,000				-11,543	3,00	8,920
									0,380

9.1 Gegenüberstellung der Gesamtemissionen

Anlage	Emissionen Inputstoffe*	Biogaser- zeugung	Nutzung	Gesamtemissionen	Einheit
B1	0,246	2,903	8,9	12,07	g CO ₂ äq/ MJ
B2	10,17	5,46	8,9	24,55	g CO ₂ äq/ MJ
B3	-11,54	3,00	8,9	0,38	g CO ₂ äq/ MJ
Standardwerte RED II (Bioabfall)	0,5	0	8,9	9	g CO ₂ äq/ MJ

Anhang 3

Ergebnisse der Sachbilanz
Kompostierung mit aggregierten Werten

Auswertung Datenabfrage Klima+A Stoffstrom Kompostierung

Erhobene Daten
Literatur Daten
Schätzwerte
Berechnete Werte
Unkenntlichmachung aufgrund von Datenschutz

1. Emissionen aus der Rohstoffgewinnung und des Rohstoffanbaus e_{ec}

Abfall- und Reststoffen werden für die Entstehung keine Emissionen zugeordnet:

Rohstoffe	K1	K2	K3	K4	K5	Aggregiert	eec
Klärschlamm						2 000	
Siebreste						700	
Baum- und Strauchschnitt / Grünschnitt						3 000	
Erde						100	
Biomüll / Biotonne						5 463	
Mähgut/ Laub						500	
Summe	7 400	19 500	7 800	5 000	1 550	11 763	-

4.1 Berechnung der Emissionen aus dem Transport der Rohstoffe

Rohstoff	Tonnen	Anmerkungen	Wert	Einheit	Emissionsfaktor LKW [g CO ₂ äq / t km] ***	Emissionen [g CO ₂ äq / t FM]	Emissionen [g CO ₂ äq / a]
Klärschlamm					79,88		
Siebreste							
Baum- und Strauchschnitt / Grünschnitt					77,03		
Erde							
Biomüll / Biotonne							
Mähgut/ Laub							
Summe						-	72 349 227

*** = Transporteffizienz LKW (40t für Bioabfall [MJ/ tkm] bzw für Trockenprodukt* Brennstoff - Diesel [g Co₂ /MJ]

6. Emissionen aus verbesserten landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken e_{sca}

7. Emissionen aus der Verarbeitung (Kompostierungsprozess) e_p

Anlage K1

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [g Co2 äq/ a]	Emissionen [g Co2 äq/ kg FM a]	Anmerkungen
Strombedarf		kwh /a				Alternativ nach EF 153- Durchführungsverordnung 74,43
Wasserkraft		kwh /a	-			
Windenergie		kwh /a	-			
Solarenergie		kwh /a	-			
sonstige (thermische Abfallverwertung)		kwh /a	650,00			EF: E-Control Strom- und Gaskennzeichnungsbericht 2022(Sonstige) E-Control
Erdagas		kwh /a	440,00			
Biomasse		kwh /a	-			
Ökoenergie		kwh /a	-			
Dieselbedarf Umsetzer		l	2 657,17			https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_M Seite 36
Zerkleinerung*			2 657,17			
Radlader		l	2 657,17			
Siebe		l	2 657,17			
Bagger		l	2 657,17			
Traktorbewässerung			2 657,17			
Sonstiges						
Luftemissionen (geschätzt)	100,00	g CO2 /kg FM				
Summe				844 086 742	114 066	

*Zerkleinerung wird extern Vergeben, Diesel betriebener mobile Schredder mit 580 PS, Verbrauch Annahme

Anlage K2

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [g Co2 äq/ a]	Emissionen [kg Co2 äq/ kg FMinput]
Gesamt Energieverbrauch		l	2 657,17		
Sonstiges					
Luftemissionen geschätzt	100,00	g CO2 /kg FM			
Summe				2 136 001 670	

Anlage K3

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [g Co2 äq/ a]	Emissionen [kg Co2 äq/ kg FMinput]	Anmerkungen
Strombedarf	53 500	kwh /a				EF:E-Control Alternativ nach EF 153- Durchführungsverord- nung 524,71
50 % EVN		kwh /a	23,36			
50% Eigenerzeugung (PV Anlage)		kwh /a	-			
Dieselbedarf Umsetzer		l	2 657,17			
Radlader		l	2 657,17			
Siebe		l	2 657,17			
Sonstiges						
Luftemissionen (geschätzt)	100	g CO2 /kg FM				
Summe				813 972 322	104 355	

Anlage K4

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [g Co2 äq/ a]	Emissionen [kg Co2 äq/ kg FMinput]
Gesamt Energieverbrauch Diesel		l	2 657,17		
Sonstiges		-			
Luftemissionen (geschätzt)	100,00	g CO2 /kg FM			
Summe				531 886 001	

Anlage K5

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [g Co2 äq/ a]	Emissionen [kg Co2 äq/ kg FMinput]
Gesamt Energieverbrauch Diesel		l	2 657,17		
Sonstiges		-			
Luftemissionen (geschätzt)	100	g CO2 /kg FM			
Summe				161 642 917	

Aggregiert

897517930,4

Teilprozess	Wert	Einheit	Emissionsfaktor	Emissionen [g Co2 äq/ a]	Emissionen [kg Co2 äq/ kg FMinput]	Anmerkungen
Strombedarf	12 860	kwh /a			-	Hier wurde der Österreichische Strommix angewand, bei den einzelnen Anlagen wurde der Strommix, je nach Herkunft des Stromes extra berechnet
50 % Strommix Österreich	6 430	kwh /a	153,00	983 790	84	
50% Eigenerzeugung (PV Anlage)	6 430	kwh /a	-		-	
Gesamter Dieserverbrauch aus beispielsweise	27 240	l	2 657,16	72 381 038	6 154	
Dieselbedarf Umsetzer	10 000	l	2 657,16		-	
Radlader	10 000	l	2 657,16		-	
Siebe	2 000	l	2 657,16		-	
Luftemissionen (geschätzt)	100	g CO2 /kg FM		1 176 250 000	100 000	
Summe				1 249 614 828	106 237	

8. Emissionen aus der Nutzung e_u

In dieser Arbeit nicht Berücksichtigt!

9. Berechnung der Gesamtemissionen aus der Erzeugung von Kompost**9.1 Gegenüberstellung der Gesamtemissionen**

Anlage	Gesamt [g Co2 äq /a]	Gesamt [g Co2 äq /t Input]	Gesamt [kg Co2 äq /t Input]
K1	949 436 620	128 302	128
K2	2 290 106 465	117 441	117
K3	937 701 226	120 218	120
K4	534 781 796	106 956	107
K5	170 310 331	109 878	110

Anlage	Emissionen Inputstoffe*	Komposterzeugung	Gesamt
K1	14	114	128
K2	8	110	117
K3	16	104	120
K4	1	106	107
K5	6	104	110

11. Berechnung der Treibhausgaseinsparung

In dieser Arbeit nicht Berücksichtigt!