

Bericht

Stoffflüsse landwirtschaftliche Biogas- produktion und Ökobilanz

Auftraggeber

Forschungs-, Entwicklungs- und Förderungsfonds der schweizerischen Gasindustrie (FOGA)
Ökostrom Schweiz

Verfasser*innen

Fredy Dinkel & Thomas Kägi

Anzahl Seiten: 23

Basel, 8. März 2022

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangslage und Zielsetzung	3
2 Überblick System	3
3 Ermittlung der Emissionsfaktoren	4
3.1 Wichtige Grundlagenwerte	4
3.2 Lagerung Hofdünger ohne Vergärung (1) vs. Vorlagerung für Vergärung (3)	5
3.2.1 Methanemissionen	5
3.2.2 Ammoniakemissionen	5
3.2.3 Lachgasemissionen	6
3.2.4 Aktualisierte Inventare für Lagerung Hofdünger ohne Vergärung und für Vergärung	6
3.3 Vergärung in Biogasanlage (5)	8
3.3.1 Methanemissionen	8
3.3.2 Ammoniakemissionen	8
3.3.3 Lachgasemissionen	8
3.3.4 Energieeigenverbrauch der Biogasanlagen	9
3.3.5 Aktualisiertes Inventar für die Güllevergärung zu Biogas	9
3.4 Ausbringung Hofdünger (2) und Gärsubstrat (4)	10
3.4.1 Methanemissionen	10
3.4.2 Ammoniakemissionen	10
3.4.3 Lachgasemissionen	11
3.4.4 Aktualisiertes Inventar für die Ausbringung von Gülle und Gärgülle	11
4 Resultate SFA direkte Emissionen	13
5 Resultate	16
5.1 Gesamthafte Umweltauswirkungen gemäss MöK	16
5.2 Auswirkungen auf das Klima	18
5.3 Schlussbemerkungen	20
6 Literaturverzeichnis	21
Anhang: Stoffflüsse mit den alten Methoden	22

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Co-Vergärung von Gülle hat neben der Gewinnung von Biogas eine Veränderung der Gülle zur Folge, so dass diese nach der Vergärung eine bessere Pflanzenverfügbarkeit aufweist. Dieser positive Aspekt ist jedoch mit höheren Ammoniakemissionen bei der Düngung verbunden. Im bestehenden ecoinvent Inventar wird die, aufgrund des besser verfügbaren Stickstoffs im Gärsubstrat, zu erwartende Mehremission an Ammoniak bei der Gärsubstratausbringung mittels Güllefass mitberücksichtigt. Gemäss Ökostrom Schweiz verpflichten sich alle Bauern, welche eine Ko-Vergärung von Gülle machen, das Gärsubstrat mittels Schleppschlauchverfahren auszubringen. Somit liegen die zu erwartenden Mehremissionen an Ammoniak tiefer als im ecoinvent Inventar.

Eine weitere Konsequenz der Vergärung in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage besteht darin, dass die Verwendung von Gülle und Mist in einer Biogasanlage eine Reduktion der Methanemissionen bei der Gülle- und Mistlagerung auf dem Hof zur Folge hat. Diese werden in ecoinvent nicht dem Biogasprozess als Gutschrift zugeordnet, da es eine indirekte Konsequenz des Biogasprozesses ist. Dies ist für eine generische Datenbank wie ecoinvent durchaus üblich, aber es führt in der Praxis immer wieder zu falschen Resultaten, wenn die Anwender sich dieser Thematik zu wenig bewusst sind. Um solche falschen Berechnungen und entsprechende Interpretationen zu vermeiden, ist es sinnvoll, dass neben den zusätzlichen Ammoniakemissionen auch die Reduktion der Methanemissionen berücksichtigt werden. Eine aus Datenbanksicht konsequentere Möglichkeit ist, dass beide Auswirkungen nicht dem Biogasprozess, sondern den vor und nachgelagerten Prozessen zugeordnet werden.

Die Biogasproduktion aus Gülle soll neu modelliert werden und speziell der Nutzen der Biogasproduktion bei der Minderung von klimarelevanten Emissionen einfach verständlich dargestellt werden.

Zudem sollen neue Datensätze für ecoinvent und UVEK Datenbank, ehem. KBOB erstellt werden. Diese sollen modular aufgebaut sein und es damit erlauben, dass der LCA Anwender je nach Fragestellung die adäquate Modellierung machen kann.

2 Überblick System

In Abbildung 1 ist ein Überblick dargestellt, wie sich das System Biogas aus Gülle sowie das Referenzsystem konventionelle Güllehandhabung zusammensetzen:

Das eigentliche Biogasinventar enthält die Biogasherstellung sowie die Nachlagerung der Gärgülle (5)

Die Güllelagerung für Biogas (3) unterscheidet sich von der konventionellen Güllelagerung (1) vor allem in der Lagerungsdauer, die wesentlich kürzer ist.

Die Gärgülle Ausbringung (4) unterscheidet sich von der konventionellen Gülleausbringung (2) vor allem in leicht unterschiedlichen Ammoniak und Lachgasemissionen.

Der Nutzen der Biogasherstellung aus Gülle wird erst dann ersichtlich, wenn man das Gesamtsystem berücksichtigt (6). Dazu wird dem Prozess der Biogasherstellung (5) die Differenz bei der Lagerung (3)-(1) sowie die Differenz bei der Ausbringung (4)-(2) angerechnet. Diese Systemerweiterung ist zulässig, da die Biogasproduktion keinen Einfluss auf den Pflanzenbau hat. Die Nährstoffe im Gärgut sind dieselben wie in der Gülle.

Mit diesem Vorgehen wird einerseits das Biogas korrekt berechnet, indem ihm neben den Aufwänden für die Produktion die Unterschiede zur konventionellen Gülleverwertung angerechnet wird. Andererseits ermöglicht es der modulare Aufbau dem interessierten Anwender die notwendige Nachvollziehbarkeit bzw. Modellierung einer spezifischen Situation.

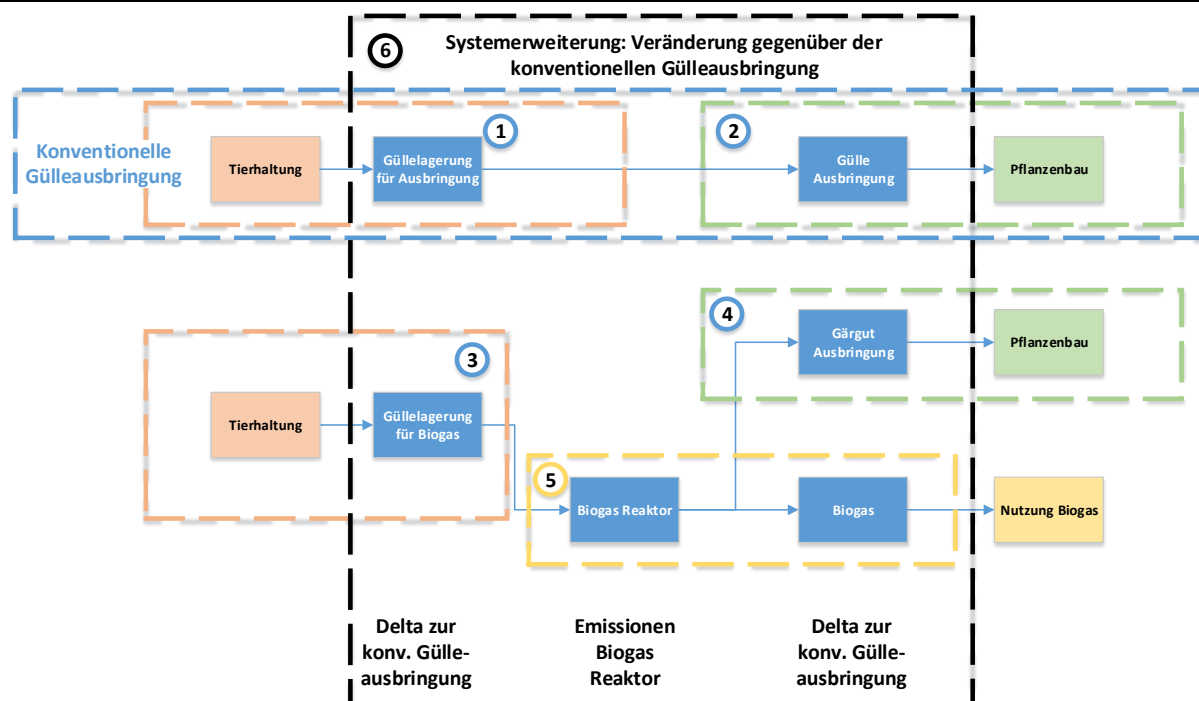


Abbildung 1: Überblick des Gesamtsystems

3 Ermittlung der Emissionsfaktoren

Auswertungen der bestehenden Inventare zeigen, dass die Umweltbelastung von den drei Stoffen Methan, Ammoniak und Lachgas dominiert wird. Im Folgenden werden daher die Stoffflüsse für Methan, Ammoniak und Lachgas neu ermittelt und darauf aufbauend dann die neuen Inventare erstellt. Weitere Stoffflüsse wie z.B. die Schwermetallemissionen bei der Substratausbringung werden nicht weiter berücksichtigt, da diese in beiden Systemen als gleich betrachtet werden und im Normalfall der Ackerkultur und nicht dem Biogas angerechnet werden.

3.1 Wichtige Grundlagenwerte

Insbesondere die Ammoniak- und Lachgasemissionen hängen sehr stark vom Stickstoffgehalt des Substrats ab. Daher werden hier zuerst die relevanten Stickstoffgehalte definiert und in Tabelle 1 zusammengefasst.

Gemäss dem Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche (2020) liegt die gesamte Stickstoffmenge (N_{tot}) von Gärgülle bei durchschnittlichen 3.9 kg N/m^3 Gärgülle. Für vergleichbare Gülle (unvergoren) wurden zu den 3.9 kg N noch die N-Verluste bei der Biogasherstellung (6.3 g N aus 7.7 g NH_3 und 1.4 g N aus $2.3 \text{ g N}_2\text{O}$)

pro m³ Gärgülle, siehe Kapitel 3.3) sowie der mittlere Ammoniak-Gehalt im Biogas selber (0.05 Vol.% gemäss Ellersdorfer & Harasek, (2020) entspricht 0.39 g NH₃ pro m³ Biogas resp. 19.6 g N pro m³ Substrat hinzuge-rechnet. Somit liegt die gesamte Stickstoffmenge (N_{tot}) von vergleichbarer Gülle (unvergoren) bei durch-schnittlichen 3.92 kg N/m³ Gülle.

Der verfügbare Stickstoff (N_{verf.}) liegt gemäss dem Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche (2020) bei rund 2.0 kg N/m³ Gärgülle. Bei Vergärungsprodukten liegt der Anteil des verfügbaren Stickstoffs höher als bei unvergorenem Hofdünger oder Substrat. Gemäss der Vollzugsweisung Biogasanlagen in der Landwirt-schaft (agridea, 2018) liegt die höhere Nährstoffverfügbarkeit bei Gärgülle bei rund 10 %. In dieser Studie wurde daher mit einer durchschnittlichen Erhöhung von 10 % gerechnet. Bei praktisch gleich hohem N_{tot}-Gehalt der Gülle und einer leicht tieferen Nährstoffverfügbarkeit ergibt dies für Gülle gerundet 1.8 kg N_{verf.}

Tabelle 1: Stickstoffgehalte von Gülle und Gärgülle, wie sie in dieser Studie verwendet werden

	Einheit	Durchschnittlicher Wert
Gülle N _{tot}	kg N/m ³	3.92
Gülle N _{verf}	kg N/m ³	1.83
Gärgülle N _{tot}	kg N/m ³	3.90
Gärgülle N _{verf}	kg N/m ³	2.00

3.2 Lagerung Hofdünger ohne Vergärung (1) vs. Vorlage-rung für Vergärung (3)

3.2.1 Methanemissionen

Die Methanemissionen des Vorlagers liegen gemäss Ökostrom (2020) bei 9.9 g CH₄ pro produziertem m³ Biogas. Bei rund 30m³ Biogas pro m³ Gülleinput liegen die Methanemissionen des Vorlagers bei 301 g CH₄ / m³ Hofdünger. Ökostrom weist aus, dass die Hofdüngerlagerung 7.49 höhere Methanemissionen hat vergli-chen mit dem Vorlager der Biogasanlage. Somit liegt die Methanemission der Hofdüngerlagerung bei 2'231 g CH₄ / m³ Hofdünger. Als Datenbasis für die Methanemissionen der Hofdüngerlagerung diente die Methode zur Quantifizierung von Methanemissionsreduktionen durch landwirtschaftliche Biogasanlagen (Ökostrom Schweiz, 2017). Demgegenüber weist das Treibhausinventar Schweiz (BAFU, 2021) Methanemis-sionen von 1'060 g CH₄ / m³ (25'500 t CH₄ pro 24 Mio. m³ Hofdünger) aus. Dieser Wert ist rund halb so hoch wie derjenige den Ökostrom Schweiz angibt. In dieser Studie wurde mit den Werten aus der Methode zur Quantifizierung von Methanemissionen gerechnet, da uns diese detaillierter hergeleitet erscheinen. Es sei hier jedoch darauf hingewiesen, dass mit einem tieferen Referenzwert der Methanemissionen auch die Ein-sparungen (siehe Kap. 5) entsprechend kleiner werden.

3.2.2 Ammoniakemissionen

Ammoniakemissionen der Hofdüngerlagerung (Gülle und Mist) belaufen sich auf rund 6'900 t NH₃-N pro Jahr bei einer Hofdüngermenge von rund 24.037 Mio t pro Jahr gemäss Agrarbericht (2020). Die Ammoni-akemissionen der Hofdüngerlagerung liegen somit bei rund 287 g NH₃-N respektive 349 g NH₃ pro m³ Hof-dünger.

Aufgrund der kurzen Verweildauer des Hofdüngers für die Vergärung liegen die aus der Vorlagerung stammenden Ammoniakemissionen wesentlich tiefer. Die Ammoniakemissionen des Vorlagers wurden gemäss einer Studie der Agroscope (Dauriat u. a., 2012) berechnet.

$$\text{NH}_3 = (17/14) \times C(\text{N}_{\text{tot}}) \times 62\% \times \text{EF}_2 \times \text{Tau}$$

Die Ammoniakmenge (NH_3) errechnet sich als Multiplikation des Gesamtstickstoffgehalts ($C(\text{N}_{\text{tot}})$) mit dem Emissionsfaktor für Ammoniak (EF_2) und 62% mal dem Verhältnis der Verweildauer zur normalen Hofdüngerlagerung (Tau: 14%). 17% aller Güllelager sind in der Schweiz unbedeckt (<https://www.bauernzeitung.ch/artikel/jetzt-muss-der-deckel-drauf-auf-die-guellesilos>). Bei einer Gesamt-N Menge von 3.92 kg und dem Emissionsfaktor von 1.35% für gedeckte Lager sowie 13.5% für unbedeckte Lager ergeben sich 14 g NH_3 / m^3 Hofdünger bei der Vorlagerung zur Vergärung.

3.2.3 Lachgasemissionen

Lachgasemissionen der Hofdüngerlagerung liegen bei 0.002 kg $\text{N}_2\text{O-N/kg}$ N gemäss IPCC Guidelines. Bei einer Gesamt-N Menge von 3.92 kg ergeben sich somit 12 g N_2O Emissionen.

Aufgrund der kurzen Verweildauer des Hofdüngers für die Vergärung liegen die aus dem Vorlager stammenden Lachgasemissionen nahe bei Null. Die Lachgasemissionen der Biogasanlage inklusive Vorlager wurden gemäss einer Studie der Agroscope (Dauriat u. a., 2012) berechnet.

$$\text{N}_2\text{O} = (44/28) \times (C(\text{N}_{\text{tot}}) - (14/17) \times \text{ES}(\text{NH}_3)) \times \text{EF}_3 \times \text{Tau}$$

Die Lachgasmenge (N_2O) errechnet sich als Multiplikation der Differenz des Gesamtstickstoffgehalts ($C(\text{N}_{\text{tot}})$) und der Ammoniakemissionsmenge ($\text{ES}(\text{NH}_3)$) mit dem Emissionsfaktor für Lachgas (EF_3) mal dem Verhältnis der Verweildauer zur normalen Hofdüngerlagerung (Tau: 14%).

Bei einer Gesamt-N Menge von 3.92 kg und 14 g NH_3 Emissionen (siehe Kap. 2.2.2) und einem Lachgasemissionsfaktor von 0.5% ergeben sich 4.3 g N_2O / m^3 Hofdünger bei der Vorlagerung zur Vergärung.

3.2.4 Aktualisierte Inventare für Lagerung Hofdünger ohne Vergärung und für Vergärung

Für das Inventar Lagerung Hofdünger sowie Lagerung Hofdünger für Biogas wurde das bestehende Inventar «slurry store and processing, operation» der UVEK 2018 Datenbank verwendet und die Methan-, Lachgas- und Ammoniakemissionen gemäss den Kap. 3.2.1-3.2.3 angepasst.

ReferenceFunction	Name	slurry store and processing, operation	slurry store and processing, operation, for biogas
Geography	Location	CH	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0	0
ReferenceFunction	Unit	m3	m3
	IncludedProcesses	The inventory takes into account the energy and auxiliary materials like water, lubricating oil and cleaning agents. Also included is the use of the infrastructure. Not taken into account were the direct emission of the animal husbandry, fodder production and produced waste water.	The inventory takes into account the energy and auxiliary materials like water, lubricating oil and cleaning agents. Also included is the use of the infrastructure. Not taken into account were the direct emission of the animal husbandry, fodder production and produced waste water.
	Amount	1	1
	LocalName	Güllelager und -rührwerk, Betrieb	Güllelager und -rührwerk, Betrieb, für Biogas
	Synonyms		
	GeneralComment	The module includes the use of energy and auxiliary materials for the operation of marine screw agitator. It also includes the direct field emissions of the slurry store. The functional unit is m3 slurry.; Geography: The inventory applies for Swiss agricultural buildings only, because of the solid method of construction.	The module includes the use of energy and auxiliary materials for the operation of marine screw agitator. It also includes the air emissions of the slurry store. The functional unit is m3 slurry.; Geography: The inventory applies for Swiss agricultural buildings only, because of the solid method of construction.
	InfrastructureIncluded	1	1
	Category	agricultural means of production	agricultural means of production
	SubCategory	buildings	buildings
	LocalCategory	Landwirtschaftliche Produktionsmittel	Landwirtschaftliche Produktionsmittel
	LocalSubCategory	Gebäude	Gebäude
TimePeriod	StartDate	2017	2017
	EndDate	2019	2019
	DataValidForEntirePeriod	1	1
	OtherPeriodText		
Geography	Text	Data represents conditions of slurry store and processing in Switzerland	Data represents conditions of slurry store and processing for biogas in Switzerland
Technology	Text	Industry data.	Industry data.
Representativeness	Percent		
	ProductionVolume		
	SamplingProcedure	Literature	Literature

Abbildung 2: Metadaten der Hofdüngerlagerung bestehend in der UVEK-Datenbank und angepasst für das Biogassystem

Name	Location	Infrastructure Process	Unit	slurry store and processing, operation		Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
				CH	CH			
Location				0	0			
Infrastructure Process				m3	m3			
Unit								
product	slurry store and processing, operation	CH	0	m3	1.0	1.0	0	
technosphere	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	3.75E-01	7.05E-02	1.00E+00	1.22E+00 (2,2,1,1,1,5,BU:1.05)
	slurry store and processing	CH	1	m3	3.47E-05	6.52E-06	1.00E+00	3.05E+00 (2,2,1,1,1,5,BU:3)
emission air, low population density	Heat, waste	-	-	MJ	1.35E+00	2.54E-01	1.00E+00	1.22E+00 (2,2,1,1,1,5,BU:1.05)
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	1.20E-02	4.30E-03	1.00E+00	2.11E+00 (5,5,5,1,1,5,BU:1.5)
	Methane, biogenic	-	-	kg	2.23E+00	3.01E-01	1.00E+00	2.11E+00 (5,5,5,1,1,5,BU:1.5)
	Ammonia	-	-	kg	3.49E-01	1.40E-02	1.00E+00	1.92E+00 (5,5,5,1,1,5,BU:1.2)

Abbildung 3: Inventardaten der Hofdüngerlagerung

3.3 Vergärung in Biogasanlage (5)

3.3.1 Methanemissionen

Die Methanemissionen der Biogasanlage selber inklusive Transporte für Substrate (ohne Nachlagerung) liegen gemäss Ökostrom (Ökostrom Schweiz, 2021) bei 2.6 g CH₄ pro produziertem m³ Biogas. Bei rund 30.4 m³ Biogas pro m³ Gülleinput liegen die Methanemissionen bei 78 g CH₄ / m³ Gärgülle. Obwohl die Nachlagerung der Gärgülle üblicherweise in geschlossenen Systemen erfolgt, und somit im Idealfall keine zusätzlichen Methanemissionen zu erwarten sind, so ist es üblich, bei vollen Nachlagern zusätzliche Lager zu verwenden, welche dann meist nicht mehr gedeckt sind. Dies ist insbesondere bei längerer Lagerung der Fall. Aufgrund fehlender Datenlage treffen wir hier die Annahme, dass die Hälfte der Gärgülle in zusätzlichen Lagern gelagert wird und dass dabei die Hälfte des maximal zulässigen Restmethangehalts als Methan emittiert wird. Somit entstehen 0.38% zusätzliches Methan was einer Menge von 82 g CH₄ / m³ Gärgülle entspricht. Insgesamt liegen die Methanemissionen der Biogasanlage inkl. Nachlager somit bei gerundet 160 g CH₄ / m³ Gärgülle.

3.3.2 Ammoniakemissionen

Daten für die Ammoniakemissionen bei der Biogasherstellung selber oder der Nachlagerung waren nicht bekannt. Als Abschätzung wurde angenommen, dass die Ammoniakemissionen zwischen Vorlagerung und Biogasherstellung inkl. Nachlagerung in ähnlichem Verhältnis stehen wie die ausgewiesenen Methanemissionen zwischen Vorlagerung und Biogasherstellung inkl. Nachlagerung. Mit dieser Annäherung resultieren rund 7.5 g NH₃ pro m³ Gärgülle.

3.3.3 Lachgasemissionen

Daten für die Lachgasemissionen bei der Biogasherstellung selber oder der Nachlagerung waren nicht bekannt. Als Abschätzung wurde angenommen, dass die Lachgasemissionen zwischen Vorlagerung und Biogasherstellung inkl. Nachlagerung in ähnlichem Verhältnis stehen wie die ausgewiesenen Methanemissionen zwischen Vorlagerung und Biogasherstellung inkl. Nachlagerung. Mit dieser Annäherung resultieren rund 2.3 g N₂O pro m³ Gärgülle.

3.3.4 Energieeigenverbrauch der Biogasanlagen

Für den Betrieb der Biogasanlagen werden 0.16 kWh Strom und 3.5 MJ Wärme benötigt pro m³ Biogaserzeugung. Landwirtschaftliche Biogasanlagen, welche in erster Linie das Biogas verstromen, verwenden für ihren Strom und Wärmebedarf eigenen Strom und eigene Wärme aus dem Blockheizkraftwerk (BHKW). Für den Strombedarf wurde das Inventar electricity, at cogen with biogas engine, agricultural covered, alloc exergy und für den Wärmebedarf das Inventar heat, at cogen with biogas engine, agricultural covered, alloc exergy angepasst. Für die korrekte Allokation auf Wärme und Strom des BHKWs wurde der Exergieansatz verwendet unter Berücksichtigung des Stromnutzungsgrad von 33.9 % und des Wärmenutzungsgrads von 31.8 % (Anspach & Gysler, 2020).

3.3.5 Aktualisiertes Inventar für die Güllevergärung zu Biogas

Für das Inventar Vergärung von Gülle zu Biogas wurde das bestehende Inventar «biogas, from slurry, at agricultural co-fermentation, covered» der UVEK 2018 Datenbank verwendet und die Methan-, Lachgas- und Ammoniakemissionen gemäss den Kap. 3.3.1-3.3.3 angepasst sowie der Energieeigenverbrauch der Biogasanlagen gemäss Kap. 3.3.4 ergänzt.

ReferenceFunction	Name	biogas, from slurry, at agricultural co-fermentation, covered
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	Nm3
	IncludedProcesses	Data represents the environmental exchanges due to farmyard manure pre treatment, digestion and post storage of digested matter
	LocalName	Biogas, aus Gülle, ab landwirtschaftliche Koveraärunga mit Abdeckung
	Synonyms	
	GeneralComment	Inventory refers to 1m3 of biogas (which corresponds to 33 kg of farmyard manure). Electricity consumption and emissions represent the biogas production in a digestion plant. Infrastructure expenditures are included.
	InfrastructureIncluded	1
	Category	biomass
	SubCategory	fuels
	LocalCategory	Biomasse
	LocalSubCategory	Brenn- und Treibstoffe
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2017
	EndDate	2019
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	
Geography	Text	Data represents conditions of biogas from farmyard manure production in Switzerland
Technology	Text	Industry data.
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	Literature

Abbildung 4: Metadaten der Güllevergärung zu Biogas

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	biogas, from slurry, at agricultural co-fermentation, covered	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
product	biogas, from slurry, at agricultural co-fermentation, covered	CH	0	Nm3	1.0	0		
technosphere	electricity, at cogen with biogas engine, agr. covered, alloc. exergy, manure	CH	0	kWh	1.58E-01	1.00E+00	1.88E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:1.05)
	anaerobic digestion plant covered, agriculture	CH	1	unit	2.86E-07	1.00E+00	3.55E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:3)
	heat, at cogen with biogas engine, agr. covered, allocation exergy, manure	CH	0	MJ	3.47E+00	1.00E+00	1.88E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:1.05)
emission air, low population density	Carbon dioxide, biogenic	-	-	kg	2.65E-01	1.00E+00	1.88E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:1.05)
	Methane, biogenic	-	-	kg	5.28E-03	1.00E+00	2.11E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:1.5)
	Hydrogen sulfide	-	-	kg	4.13E-05	1.00E+00	2.11E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:1.5)
	Ammonia	-	-	kg	2.50E-04	1.00E+00	1.92E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:1.2)
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	7.50E-05	1.00E+00	2.11E+00	(5,5,5,1,1,5,BU:1.5)

Abbildung 5: Inventardaten der Güllevergärung zu Biogas

3.4 Ausbringung Hofdünger (2) und Gärsubstrat (4)

3.4.1 Methanemissionen

Die Ausbringung von Hofdünger und Gärsubstrat geschieht unter aeroben Bedingungen, so dass nicht mit nennenswerten Methanemissionen gerechnet werden muss.

3.4.2 Ammoniakemissionen

Die Ammoniakemissionen der Hofdüngerausbringung wurde mit der in ecoinvent Inventaren angewendeten Formel zur Berechnung der direkten Feldemissionen berechnet, welche auf dem AGRAMON Model basiert (Nemecek & Schnetzer, 2011). Die Formel besagt, dass durchschnittlich 50% des verfügbaren Stickstoffs als Ammoniak emittiert wird. Dieser Wert gilt für die konventionelle Ausbringung von Hofdünger.

Bei einer Ausbringung mit Schleppschlauch reduziert sich die Ammoniakemission um rund 30% - 35% (Schoop & Fischler, 2020). Wird ein Schleppschuh oder Gölledrill eingesetzt, liegt die Reduktion bei 30%-60% resp. bei rund 70%. Da gemäss Direktzahlungsverordnung Techniken unterstützt werden, die mindestens dieselbe Wirkung wie der Schleppschlauch bewirken, wird in dieser Studie mit einer mittleren Reduktion von 35% gerechnet.

In der Schweiz wird 40% der Gülle mit Schleppschlauch oder analogen emissionsverminderten Ausbringungstechniken ausgebracht (<https://www.sbv-usp.ch/de/veto-zum-schleppschlauch-obligatorium/>.) Das vom Bundesrat anfangs 2020 angekündigte Schleppschlauchobligatorium wurde vom Nationalrat gutgeheissen, so dass in Zukunft mit ca. 100% Schleppschlauchanteil gerechnet werden kann.

Für Hofdünger als Referenz wurde mit einem Stickstoffgehalt von 43.92 kg pro m³ Hofdünger gerechnet und mit 1.83 kg verfügbarem Stickstoff pro m³ Hofdünger und der Annahme, dass künftig 100 % mit Schleppschlauch ausgebracht wird. Dies ergibt 594 g NH₃/ m³ Gülle ausgebracht.

Bei rund 2.0 kg N verfügbar für Gärgülle und 100 % Ausbringung mit dem Schleppschlauch ergibt dies 650 g NH₃/ m³ Gärgülle ausgebracht.

3.4.3 Lachgasemissionen

Die Lachgasemissionen der Hofdüngerausbringung wurde mit der in ecoinvent Inventaren und IPCC kompatiblen Formel zur Berechnung der direkten Feldemissionen berechnet (Nemecek & Schnetzer, 2011). Die Formel besagt, dass 10% des verfügbaren Stickstoffs abzüglich des als Ammoniak emittierten Stickstoffs als Lachgas emittiert wird.

Unter Verwendung der in Kap. 2.4.2 genannten Mengen an verfügbarem Stickstoff und Ammoniakemissionen resultieren folgende Lachgasemissionen:

Hofdünger: 210 g N₂O/m³ Hofdünger

Gärssubstrat: 230 g N₂O/m³ Gärssubstrat

3.4.4 Aktualisiertes Inventar für die Ausbringung von Gülle und Gärgülle

Für das Inventar Vergärung von Gülle zu Biogas wurde das bestehende Inventar «slurry spreading, by vacuum tanker» der UVEK 2018 Datenbank verwendet und die Methan-, Lachgas- und Ammoniakemissionen gemäss den Kap. 3.4.1-3.4.3 angepasst.

Name	digestate spreading, by vacuum tanker	slurry spreading, by vacuum tanker
Location	CH	CH
InfrastructureProcess	0	0
Unit	m3	m3
IncludedProcesses	The inventory takes into account the diesel fuel consumption and the amount of agricultural machinery and of the shed, which has to be attributed to the digestate spreading. Also taken into consideration is the amount of emissions to the air from combustion, the emission to the soil from tyre abrasion during the work process and direct field emissions to air based on the applicated digestate. The following activities where considered part of the work process: preliminary work at the farm, like attaching the adequate machine to the tractor; transfer to field (with an assumed distance of 1 km); field work (for a parcel of land of 1 ha surface); transfer to farm and concluding work, like uncoupling the machine. The overlapping during the field work is considered. The amount of spread slurry is not taken into account. Not included are dust other than from combustion and noise.	The inventory takes into account the diesel fuel consumption and the amount of agricultural machinery and of the shed, which has to be attributed to the slurry spreading. Also taken into consideration is the amount of emissions to the air from combustion, the emission to the soil from tyre abrasion during the work process and direct field emissions to air based on the applicated slurry. The following activities where considered part of the work process: preliminary work at the farm, like attaching the adequate machine to the tractor; transfer to field (with an assumed distance of 1 km); field work (for a parcel of land of 1 ha surface); transfer to farm and concluding work, like uncoupling the machine. The overlapping during the field work is considered. The amount of spread slurry is not taken into account. Not included are dust other than from combustion and noise.
Amount	1	1
LocalName	Digestat ausbringen, mit Vakuumfass	Jauche ausbringen, mit Vakuumfass
Synonyms		
GeneralComment	Slurry spreading with vacuum slurry tank 5000l carrying capacity. Incl. pumping from slurry container at farm, slurry and emissions from slurry not included. FU is one cubic meter slurry spread.; Geography: The inventories are based on measurements made by the FAT, in Switzerland.	Slurry spreading with vacuum slurry tank 5000l carrying capacity. Incl. pumping from slurry container at farm, slurry and emissions from slurry not included. FU is one cubic meter slurry spread.; Geography: The inventories are based on measurements made by the FAT, in Switzerland.
InfrastructureIncluded	1	1
Category	agricultural means of production	agricultural means of production
SubCategory	work processes	work processes
LocalCategory	Landwirtschaftliche Produktionsmittel	Landwirtschaftliche Produktionsmittel
LocalSubCategory	Arbeitsprozesse	Arbeitsprozesse
StartDate	2017	2017
EndDate	2019	2019
SamplingProcedure	Literature and own calculation	Literature and own calculation

Abbildung 6: Metadaten der Ausbringung von Gülle und Gärgülle

	Name	Location	Category	Subcategory	Infrastructure Process	Unit	digestate spreading, by vacuum tanker	slurry spreading, by vacuum tanker	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location Infrastructure Process Unit							CH			
	digestate spreading, by vacuum tanker	CH	-	-	0	m3	1				
product	slurry spreading, by vacuum tanker	CH	-	-	0	m3		1.0	0		
technosphere	tractor, production	CH	-	-	1	kg	2.75E-2	2.75E-2	1.00E+00	3.06E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:3)
	slurry tanker, production	CH	-	-	1	kg	5.63E-2	5.63E-2	1.00E+00	3.06E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:3)
	diesel, at regional storage	CH	-	-	0	kg	2.17E-1	2.17E-1	1.00E+00	1.24E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:1.05)
	shed	CH	-	-	1	m2	1.90E-4	1.90E-4	1.00E+00	3.06E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:3)
emission air, low population density	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	air	low population c	-	kg	6.90E-4	6.90E-4	1.00E+00	1.58E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:1.5)
	Nitrogen oxides	-	air	low population c	-	kg	9.36E-3	9.36E-3	1.00E+00	1.58E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:1.5)
	Carbon monoxide, fossil	-	air	low population c	-	kg	1.56E-3	1.56E-3	1.00E+00	5.07E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:5)
	Carbon dioxide, fossil	-	air	low population c	-	kg	6.74E-1	6.74E-1	1.00E+00	1.30E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:1.05)
	Sulfur dioxide	-	air	low population c	-	kg	2.18E-4	2.18E-4	1.00E+00	1.30E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:1.05)
	Methane, fossil	-	air	low population c	-	kg	2.80E-5	2.80E-5	1.00E+00	1.62E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:1.5)
	Benzene	-	air	low population c	-	kg	1.58E-6	1.58E-6	1.00E+00	3.09E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:3)
	Particulates, < 2.5 um	-	air	low population c	-	kg	8.62E-4	8.62E-4	1.00E+00	3.09E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:3)
	Cadmium	-	air	low population c	-	kg	2.17E-9	2.17E-9	1.00E+00	5.10E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:5)
	Chromium	-	air	low population c	-	kg	1.08E-8	1.08E-8	1.00E+00	5.10E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:5)
	Copper	-	air	low population c	-	kg	3.68E-7	3.68E-7	1.00E+00	5.10E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:5)
	Nickel	-	air	low population c	-	kg	1.52E-8	1.52E-8	1.00E+00	5.10E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:5)
	Zinc	-	air	low population c	-	kg	2.17E-7	2.17E-7	1.00E+00	5.10E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:5)
	Benzo(a)pyrene	-	air	low population c	-	kg	6.50E-9	6.50E-9	1.00E+00	3.09E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:3)
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	air	low population c	-	kg	7.13E-7	7.13E-7	1.00E+00	3.09E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:3)
	Heat, waste	-	air	low population c	-	MJ	9.84E+0	9.84E+0	1.00E+00	1.24E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:1.05)
Selenium	-	air	low population c	-	kg	2.17E-9	2.17E-9	1.00E+00	5.10E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:5)	
Ammonia	-	air	low population c	-	kg	6.50E-1	5.94E-1	1.00E+00	1.37E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:1.2)	
Dinitrogen monoxide	-	air	low population c	-	kg	2.30E-1	2.10E-1	1.00E+00	1.62E+00	(1,2,1,1,3,5,BU:1.5)	
emission soil, agricultural	Zinc	-	soil	agricultural	-	kg	5.59E-5	5.59E-5	1.00E+00	1.25E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:1.1)
	Lead	-	soil	agricultural	-	kg	9.15E-8	9.15E-8	1.00E+00	1.25E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:1.1)
	Cadmium	-	soil	agricultural	-	kg	2.11E-8	2.11E-8	1.00E+00	1.25E+00	(1,4,1,1,1,5,BU:1.1)

Abbildung 7: Inventardaten der Ausbringung von Gülle und Gärgülle

4 Resultate SFA direkte Emissionen

Tabelle 2 fasst die Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen der beiden Systeme zusammen. Zudem sind für die einzelnen Gase die jeweiligen Differenzen der Auswirkungen auf das Klima und die Umweltbelastungspunkte sowie die gesamte Summe angegeben. Die Auswirkungen auf das Klima wurde letztes Jahr mit der damals aktuellen Methode aus dem Jahre 2013 (IPCC, 2014) gemacht. Gemäss neuestem IPCC Report 2021 (IPCC, 2021) haben sich die Charakterisierungsfaktoren der Klimaauswirkungen von Methan und Lachgas verändert. Die neuesten Modelle zeigen für Methan eine geringfügig tiefere Wirkung, diejenige von Lachgas hat sich marginal erhöht. In der Summe ergeben sich Änderungen von rund 2%, siehe Tabelle 2. Aufgrund der geringen Unterschiede wurden die folgenden Darstellungen mit der Berechnung IPCC 2013 belassen.

Tabelle 2: Übersicht Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen der beiden Systeme

pro m ³ Substrat	Methan	Ammoniak	Lachgas	
Referenzsystem	g CH ₄	g NH ₃	g N ₂ O	
Güllelagerung (1)	2'231	349	12	
Gülle Ausbringung (3)	0	594	210	
Biogassystem				
Güllelagerung (2)	301	14	4.3	
Biogasanlage (ohne Vorlagerung, aber mit Nachlagerung) (5)	160	7.5	2.3	
Gärgülle Ausbringung (4)	0	650	230	
Differenz (Biogassystem minus Referenz)				
Güllelagerung (3)-(2)	-1'930	-334	-8	
Biogasanlage inkl. Nachlager (5)	160	7.5	2.3	
Ausbringung (4)-(3)	0	56	20	
Total Einsparung (Minuswert) dank Biogassystem (6)	-1'770	-271	14	
Umweltauswirkungen der Differenz				Total
IPCC 2013 in kg CO ₂ eq.	-49.1	-	3.71	-45.4
IPCC 2021 in kg CO ₂ eq.	-48.1	-	3.82	-44.3
UBP 2013 in kUBP	-21.2	-18.2	1.96	-37.4
UBP 2021 in kUBP	-49.6	-11.9	3.78	-57.7

Methanemissionen

Das Biogassystem weist zwar pro m³ Substrat 301 g Methanemissionen aus der Vorlagerung und 160 g aus der eigentlichen Biogasherstellung inklusive Nachlagerung auf. Das Referenzsystem weist jedoch Methanemissionen von 2'231 g pro m³ Substrat auf. Insgesamt resultiert somit eine Einsparung von 1'770 g Methan pro m³ Substrat des Biogassystems auf im Vergleich zum Referenzsystem.

Ammoniakemissionen

Die Hofdüngerlagerung generiert 349 g Ammoniak pro m³ Substrat. Bei der Ausbringung kommen nochmals 594 g Ammoniak pro m³ Substrat hinzu. Beim Biogassystem werden 14 g Ammoniak pro m³ Substrat aus dem Vorlager berechnet. Dies ist wesentlich tiefer als bei der Hofdüngerlagerung aufgrund der kürzeren Verweildauer. 7.5 g Ammoniak pro m³ Substrat werden im Betrieb berechnet und weitere 650 g Ammoniak pro m³ Substrat fallen bei der Ausbringung der Gärgülle an. Diese liegt leicht höher als bei der Gülleausbringung, da der verfügbare N-Anteil leicht höher ist. Insgesamt liegt eine Einsparung von 271 g NH₃ pro m³ Substrat vor.

Lachgasemissionen

Die Hofdüngerlagerung generiert 12 g Lachgas pro m³ Substrat. Bei der Ausbringung kommen nochmals 210g Lachgas pro m³ Substrat hinzu. Beim Biogassystem werden 4.3 g Lachgas pro m³ Substrat aus dem Vorlager berechnet. Dies ist tiefer als bei der Hofdüngerlagerung aufgrund der kürzeren Verweildauer. 2.3 g Lachgas pro m³ Substrat werden im Betrieb inklusive Nachlagerung berechnet und weitere 230 g Lachgas pro m³ Substrat fallen bei der Ausbringung an. Diese liegt ähnlich hoch wie bei der Gülleausbringung aufgrund ähnlicher Mengen an verfügbarem Stickstoff und Ammoniakemissionen. Insgesamt weisen die beiden Systeme fast gleich hohe Lachgasemissionen auf (die Differenz von 14g N₂O pro m³ Substrat liegt im Rahmen der Unsicherheit).

Grenzen der Betrachtung

Diese Studie betrachtete nur Durchschnittswerte für Gülle respektive Gärgülle. In Einzelfällen kann die Handhabung der Hofdüngerlagerung wie auch die Ausbringung stark vom Durchschnitt abweichen und zu ganz anderen Schlussfolgerungen führen. Gerade bei den Ammoniak- und Lachgasemissionen sind zum Beispiel auch der Ausbringungszeitpunkt und die dann vorherrschenden Witterungsverhältnisse sehr wichtig. Diese Aspekte wurden in dieser Studie jedoch nicht weiter berücksichtigt.

Klimaauswirkungen

Abbildung 8 zeigt die Stoffflüsse des Biogassystems wie auch des Referenzsystems. Wobei die Angaben und Stärke der blauen Pfeile die CO₂ Äquiv. nach IPCC 2021 und nicht die emittierten Stoffmengen angeben.

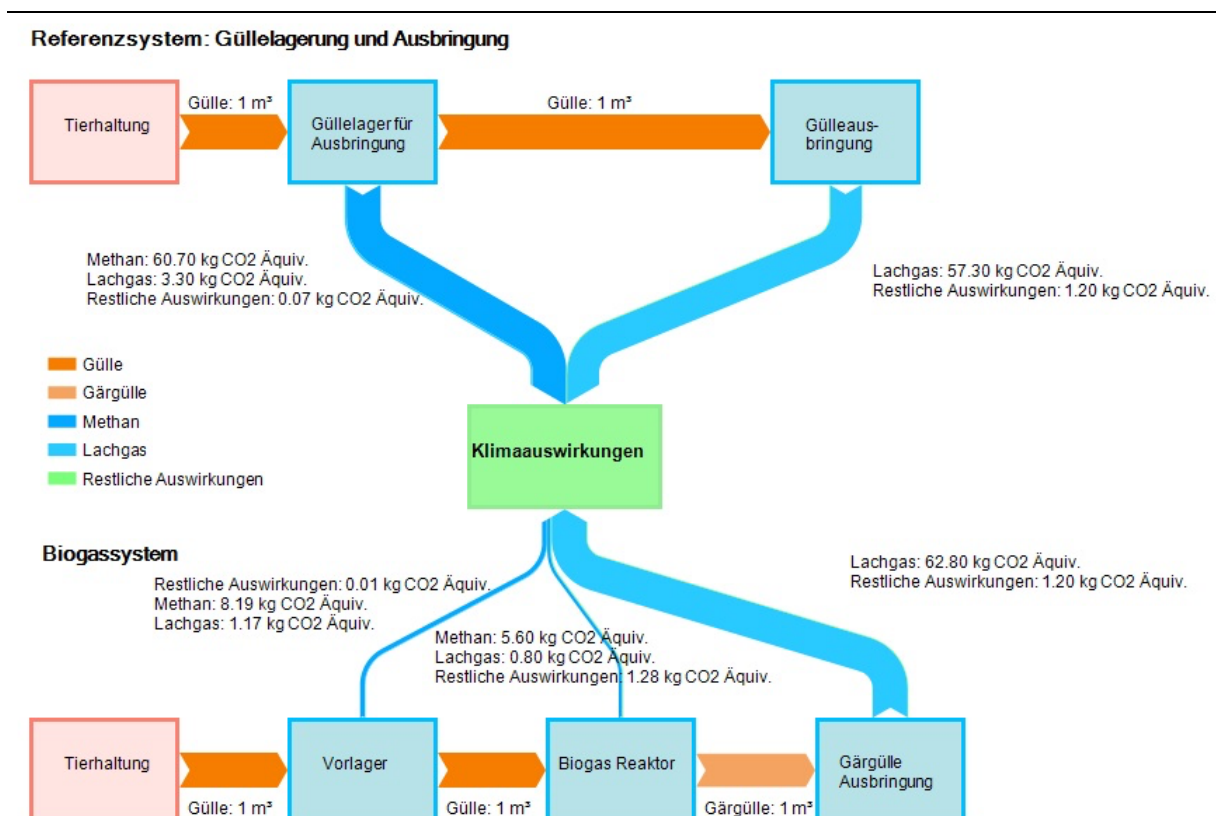


Abbildung 8: Klimaauswirkungen gemäss IPCC 2021 in kg CO₂ Äquivalenten der drei Emissionen

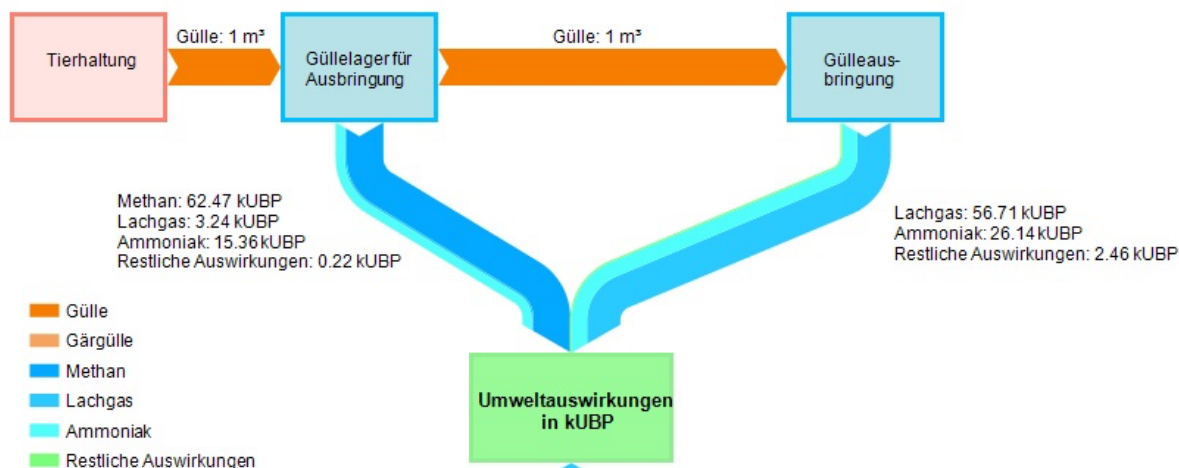
Die Abbildung zeigt, dass sich grosse Unterschiede bei den Methanemissionen der Güllelagerung ergeben. Dagegen sind Unterschiede der Lachgasemissionen bei der Ausbringung sehr gering. Im Gesamten ergibt sich

daraus eine wesentlich geringere Klimabelastung durch die Biogasproduktion verglichen mit der Lagerung und Ausbringung der Gülle.

Gesamte Umweltauswirkungen gemäss Methode der MöK 2021

Abbildung 9 zeigt die Stoffflüsse der Emissionen, blaue Pfeile, bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit (MöK 2021) (Friskhnecht u. a., 2021), welche die Umweltauswirkungen in Umweltbelastungspunkten UBP ausdrückt.

Referenzsystem: Güllelagerung und Ausbringung



Biogassystem

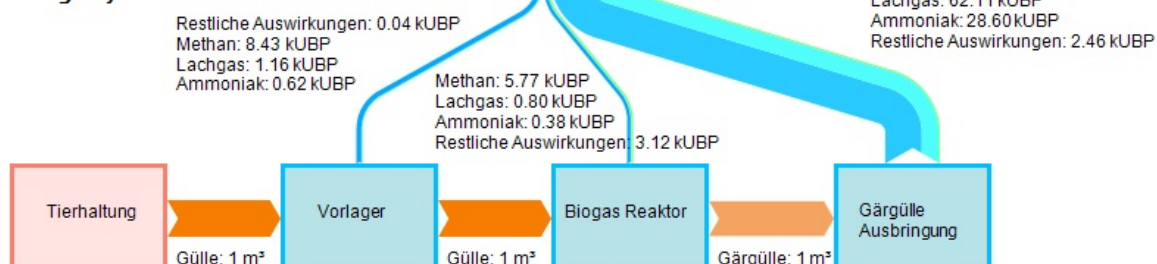


Abbildung 9: Umweltauswirkungen der drei Stoffe in kUBP gemäss MöK 2021

Wie schon bei den Auswirkungen auf das Klima zeigen auch die Bewertung mit der MöK, dass sich wesentliche Unterschiede bei der Güllelagerung ergeben. Im Wesentlichen sind es die Reduktionen der Methan- und Ammoniakemissionen beim Vorlager und dem Biogasreaktor des Biogasprozesses im Vergleich zur Güllelagerung, welche zu einer drastischen Reduktion der Umweltauswirkungen führen. Die Auswirkungen bei der Ausbringung der Gärgülle sind mit rund 10% nur geringfügig kleiner als denjenigen der Gülleausbringung.

5 Resultate

5.1 Gesamthafte Umweltauswirkungen gemäss MöK

Abbildung 10 bis Abbildung 13 zeigen die Ökobilanzresultate als Gesamtumweltbelastung gemessen mit der Methode der ökologischen Knappheit (MöK) in Umweltbelastungspunkten (UBP) (Frischknecht u. a., 2021). Da die Methode im letzten Jahr überarbeitet und zu Beginn des Jahres 2022 publiziert wurde, haben wir die Resultate mit beiden Methoden (MöK 2013 und MöK 2021) dargestellt. Damit werden die neusten Resultate gezeigt und zudem erlaubt es den Vergleich mit Resultaten aus früheren Studien. In den Abbildungen sind die folgenden Prozesse und ihre Umweltauswirkungen dargestellt.

Tabelle 3: Beschreibung der dargestellten Prozesse

Prozess	Beschreibung
Biogas aus Gülle, inkl. Systemerweiterung	Dieser Prozess beantwortet die Frage, wie verändern sich die Umweltauswirkungen, wenn Gülle anstatt gelagert und danach direkt ausgebracht wird, in einem Biogasreaktor behandelt und anschliessend das Gärgut ausgebracht wird. Dies entspricht (6) in Abbildung 1
Biogas aus Gülle, diese Studie	
Biogas aus Gülle ecoinvent v3.7	Diese Prozesse betrachten nur die Biogasproduktion, wobei die im Prozessname genannte Datenbanken verwendet wird. Dies entspricht (5) + (4) – (2) in Abbildung 1
Biogas aus Gülle, UVEK Datenbank	

Es fällt auf, dass die eigentliche Biogasherstellung aus Gülle (ohne Systemerweiterung) tiefere Werte aufweist als die momentan vorhandenen Inventare in ecoinvent oder UVEK. Beim Umweltfussabdruck (UBP) liegt das neue Inventar im Vergleich zum ecoinvent Inventar rund 70 % tiefer, gegenüber des UVEK Inventar ist es knapp 80 %. Beim CO₂-Fussabdruck liegt das neue Inventar im Vergleich zum ecoinvent Inventar rund 70% tiefer, gegenüber des UVEK Inventar sind es um die 65 % weniger. Wie aus Abbildung 13 ersichtlich, sind die Gründe für die Unterschiede im Wesentlichen folgende:

- Die Methanemissionen sind wesentlich geringer als diejenigen in ecoinvent v3.7 und vergleichbar mit denjenigen in der UVEK Datenbank.
- Die Lachgas- und Ammoniakemissionen sind dagegen in der UVEK Datenbank wesentlich höher, diese resultieren aus der Ausbringung des Gärgutes und sind nach heutigen Erkenntnissen zu hoch, vor allem dann wenn das Gärgut mit dem Schleppschlauch ausgebracht wird.
- In dieser Studie sowie in der UVEK Datenbank wird die Wärme über ein BHKW, welches mit Biogas betrieben wird, bereitgestellt. Der ecoinvent Prozess verwendet eine durchschnittliche Wärmebereitstellung in der Schweiz und weist daher diesbezüglich wesentlich höhere Belastungen auf.

Wird der Nutzen im Vergleich zum Referenzszenario mitberücksichtigt, so ergeben sich negative Werte. Die Gründe dafür sind in Abbildung 12 ersichtlich. Im Wesentlichen ergibt sich dies aus den relevant geringeren Emissionen von Methan und Ammoniak bei der Lagerung der Gülle für die Biogasproduktion im Vergleich zur konventionellen Güllelagerung, siehe auch Abbildung 9. Diese Reduktion ist wesentlich höher als die Mehrbelastung bei der Gärgutausbringung im Vergleich zur Gülleausbringung.

Wird also Biogas aus Gülle hergestellt, so werden die Aufwände dieses Prozesses mehr als aufgewogen durch die Einsparungen bei der Hofdüngerlagerung und Ausbringung (Referenzszenario). Somit ist es aus Umweltsicht sehr förderlich, wenn möglichst viel der anfallenden Gülle in einer Biogasanlage verwertet wird.

Auch wenn die absoluten Werte in UBP 21 wesentlich höher sind als in UBP 13, so ergibt sich keine andere Rangfolge. Der Grund für diese Erhöhung sind methodische Anpassungen, welche sich durch aktuelle Gewichtungen der verschiedenen Umweltauswirkungen ergeben. Entsprechend sind die absoluten Resultate UBP 13 und UBP 21 nicht miteinander vergleichbar.

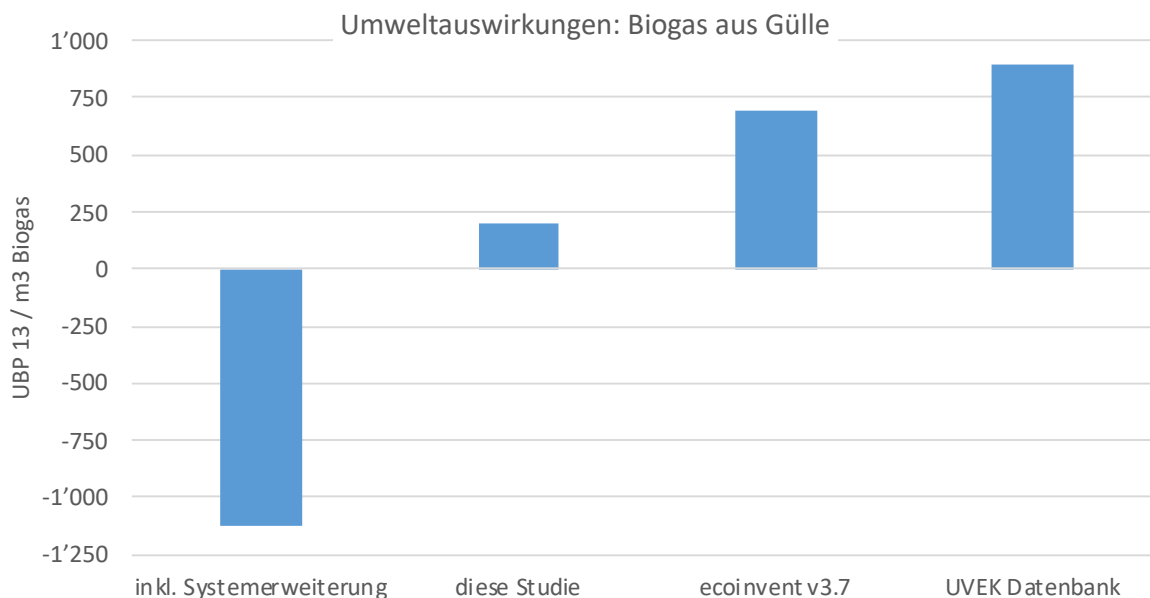


Abbildung 10: UBP 2013 pro m³ Biogas der eigentlichen Biogasherstellung in dieser Studie im Vergleich zum Inventar in ecoinvent v3.7 und UVEK.

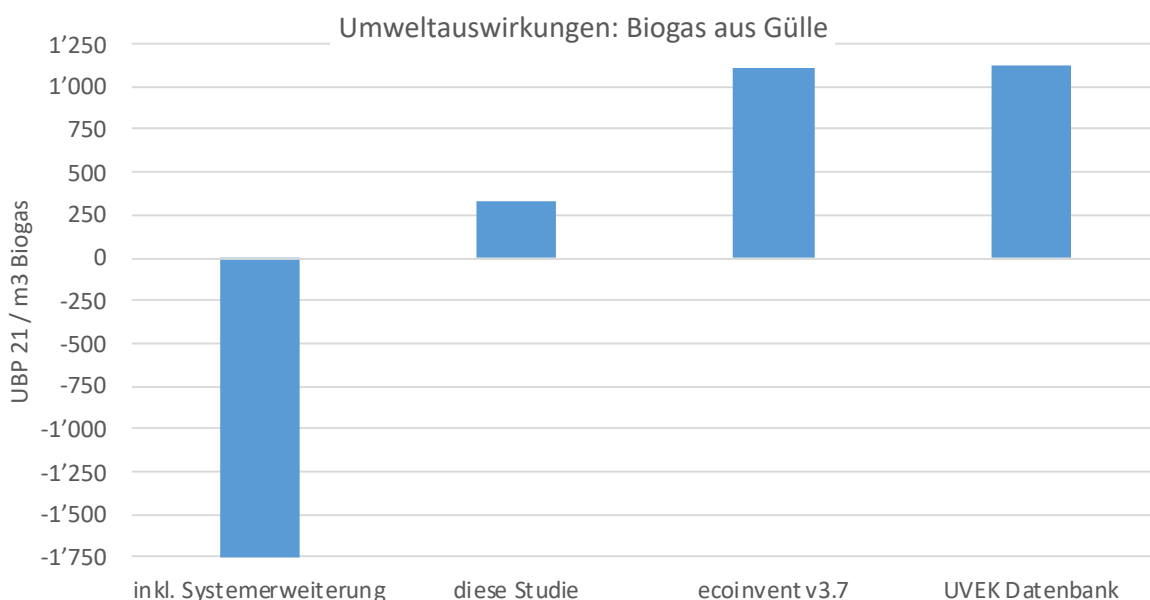


Abbildung 11: UBP 2021 pro m³ Biogas der eigentlichen Biogasherstellung in dieser Studie im Vergleich zum Inventar in ecoinvent v3.7 und UVEK.

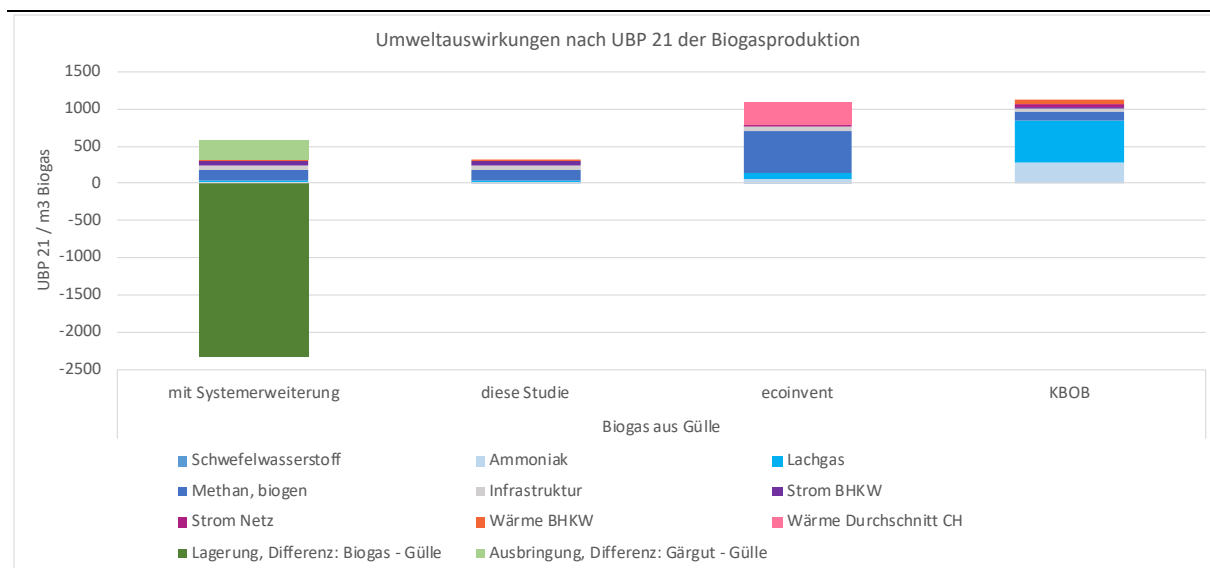


Abbildung 12: UBP 2021 pro m³ Biogas in dieser Studie im Vergleich zum Inventar in ecoinvent v3.7 und UVEK.

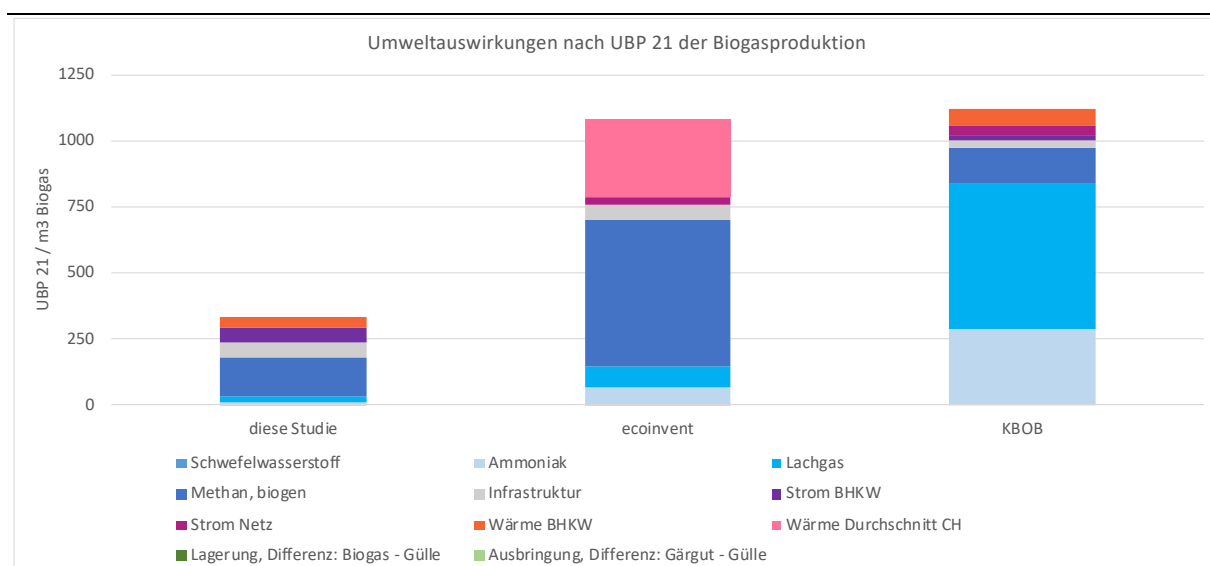


Abbildung 13: UBP 2021 pro m³ Biogas der eigentlichen Biogasherstellung in dieser Studie im Vergleich zum Inventar in ecoinvent v3.7 und UVEK.

5.2 Auswirkungen auf das Klima

In Abbildung 14 und Abbildung 15 sind die Resultate bezüglich der Auswirkungen auf das Klima dargestellt. Auch hier wurden sowohl die Resultate mit der Methode IPCC aus dem Jahre 2013 und die neuste Methode aus dem Jahre 2021 dargestellt. Dies erlaubt es auch die Resultate mit denjenigen aus früheren Studien zu vergleichen und ebenso die neusten Resultate zu kennen. Im Falle der Klimaauswirkungen sind die Unterschiede der Resultate zwischen der Version 2013 und 2021 marginal. Bezüglich der Prozesse zeigt sich dieselbe Rangfolge wie bei der Bewertung mit der MöK.

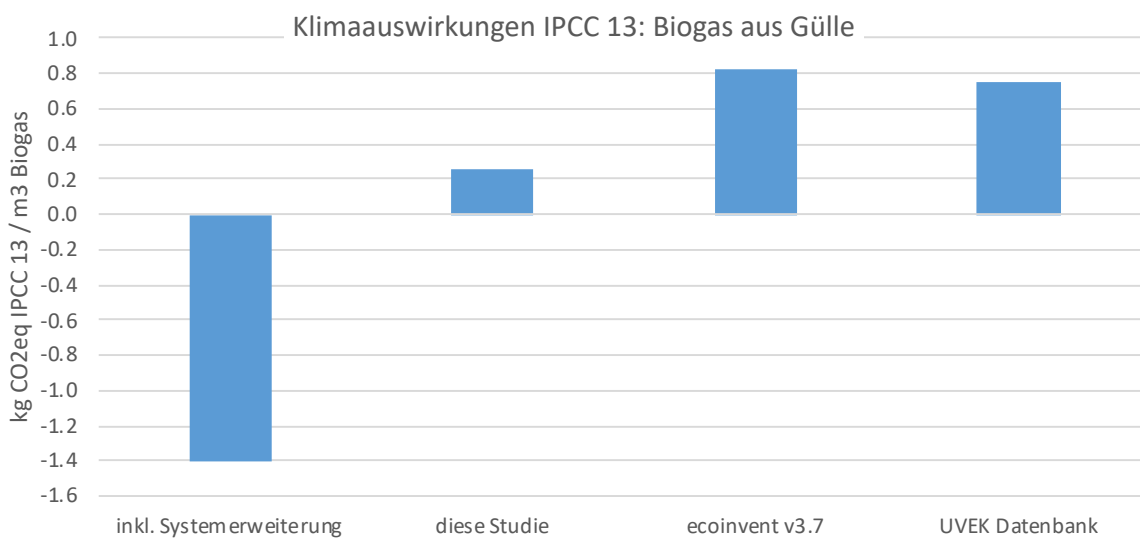


Abbildung 14: Klimaauswirkung nach IPCC 2013 pro m³ Biogas der eigentlichen Biogasherstellung in dieser Studie im Vergleich zum Inventar in ecoinvent v3.7 und UVEK.

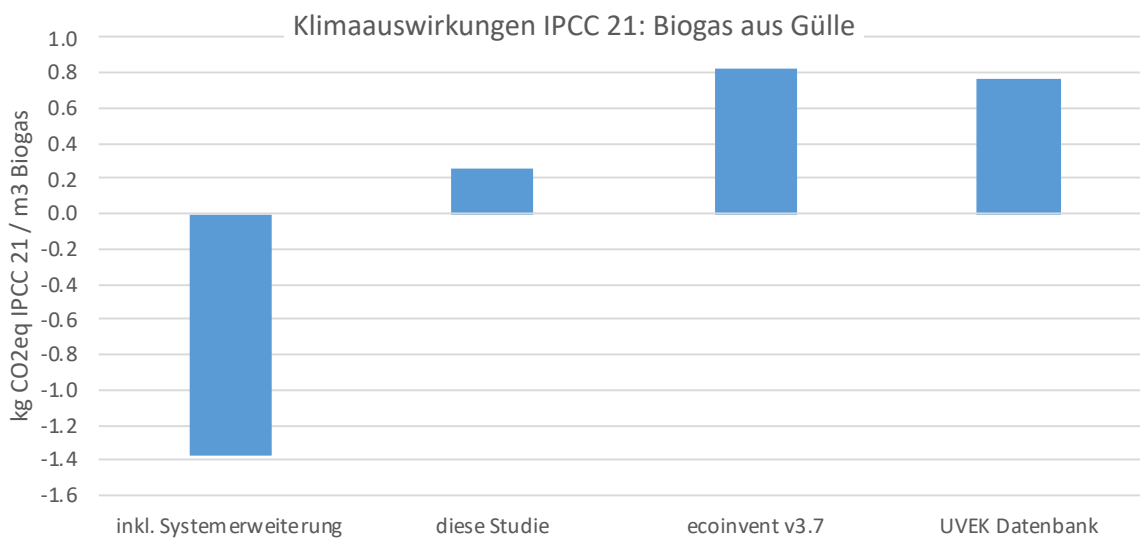


Abbildung 15: Klimaauswirkung nach IPCC 2021 pro m³ Biogas der eigentlichen Biogasherstellung in dieser Studie im Vergleich zum Inventar in ecoinvent v3.7 und UVEK.

5.3 Schlussbemerkungen

In Tabelle 4 sind die Resultate der neuen Prozesse zusammengestellt. Wie die Auswertungen mit MÖK bezüglich den gesamten Umweltauswirkungen und IPCC bezüglich der Auswirkungen auf das Klima gezeigt haben ergeben sich grosse Unterschiede zu den bestehenden Inventaren. Entsprechend wird empfohlen die neuen Datensätze und Resultate zu verwenden.

Dabei ist jedoch Folgendes zu beachten:

- Die Werte gelten nicht für die Biogasproduktion allgemein, sondern nur für die Biogasproduktion aus Gülle
- Die Emissionen bei der Ausbringung des Gärsubstrates wurde unter der Annahme berechnet, dass die Ausbringung mit dem Schleppschlauch erfolgt.
- Weiter berücksichtigen die Berechnungen, dass die benötigte Wärme und der Strom aus einem BHKW stammt, welches mit Biogas betrieben wird.

Falls diese Voraussetzungen nicht gegeben sind, so müssen die Prozesse entsprechend angepasst werden und andere Resultate sind zu erwarten.

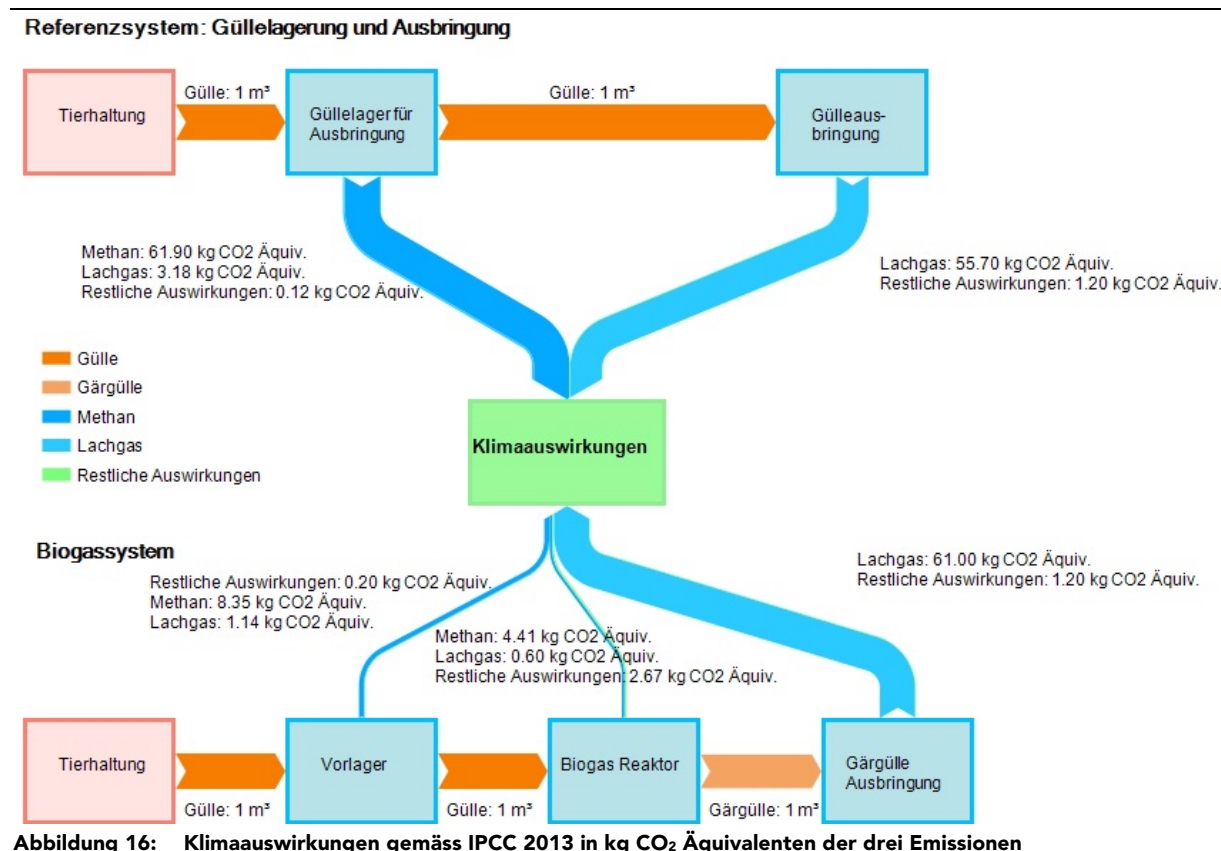
Tabelle 4: Umweltauswirkungen der Biogasproduktion aus Gülle

Prozess	Pro m ³ Biogas		Pro m ³ Gülle		Pro kWh Wärme	
	UBP 13	UBP 21	UBP 13	UBP 21	UBP 13	UBP 21
Biogas aus Gülle						
inkl. Systemerweiterung	-1'120	-1'750	-34'100	-53'100		
diese Studie	203	331	6'160	10'060	64	104
	kg CO₂ Äquivalent					
	IPCC 13	IPCC 21	IPCC 13	IPCC 21	IPCC 13	IPCC 21
inkl. Systemerweiterung	-1.40	-1.37	-42.6	-41.5		
diese Studie	0.256	0.253	7.77	7.68	0.072	0.071

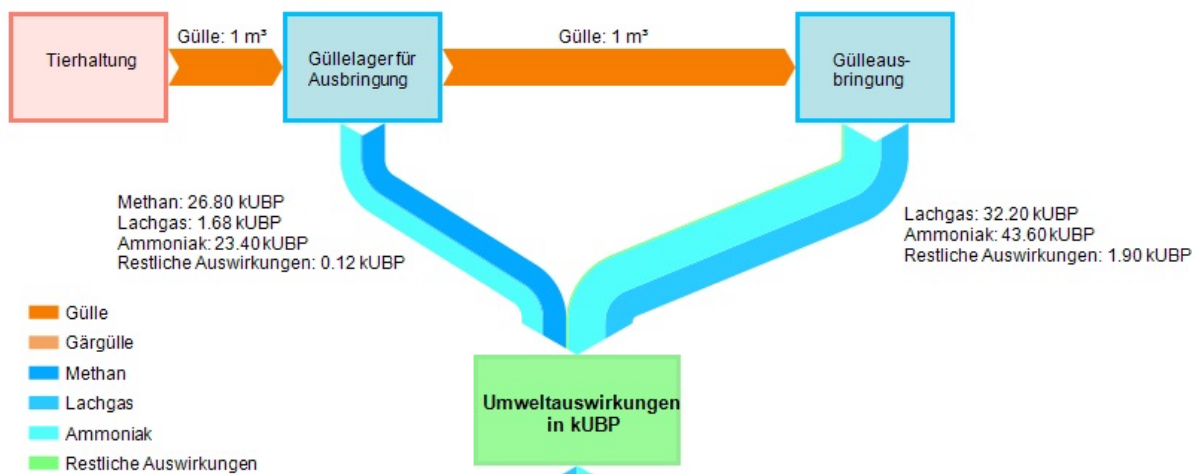
6 Literaturverzeichnis

- agridea. (2018). Wegleitung Suisse-Bilanz. Im Auftrag des BLW.
- Anspach, V., & Gysler, M. (2020). Schlussbericht Benchmarking Biogas 2018. Ökostrom Schweiz, Fachverband landwirtschaftliches Biogas.
- BAFU. (2021). Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990. Abgerufen von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar.html>
- BLW. (2020). *Agrarbericht 2020*.
- Dauriat, A., Gaillard, G., Alig, M., Scharfy, D., Membrez, Y., Bachmann, N., u. a. (2012). Analyse de cycle de vie de la production centralisée et décentralisée de biogaz en exploitations agricoles. Rapport final. Au nom d'Office fédéral de l'énergie OFEN.
- Ellersdorfer, M., & Harasek, M. (2020). Entwicklung eines Standard-Konzepts für die Aufbereitung von Rohbiogas zu einem einspeisefähigen Gas. Im Auftrag des ÖVGW - Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- Frischknecht, R., Dinkel, F., Braunschweig, A., Ahmadi, M., Kägi, T., Krebs, L., u. a. (2021). *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (S. 260). Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche. (2020). Auswertungen aus dem CVIS-Analysentool - nur nach Gärgülle ausgewertet. Abgerufen von www.cvis.ch
- IPCC. (2014, Juni 18). IPCC - Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. Abgerufen 18. Juni 2014, von <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021, The Physical Science Basis - Summary for Policymakers*. Abgerufen von <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Nemecek, T., & Schnetzer, J. (2011). Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Data v3.0 (2012). Agroscope Reckenholz-Tänikon.
- Ökostrom Schweiz. (2017). Methode zur Quantifizierung von Methanemissionsreduktionen durch landwirtschaftliche Biogasanlagen. Version 4.1.
- Ökostrom Schweiz. (2021). Datenzusammenstellung BAFU Kompensationsprojekte Schweiz: 2020.
- Schoop, J., & Fischler, M. (2020). Emissionsmindernde Ausbringverfahren. Direktzahlung: Ressourceneffizienzbeitrag REB, Beitragsdauer 2014-2021. Im Auftrag des Bundesamt für Landwirtschaft.

Anhang: Stoffflüsse mit den alten Methoden



Referenzsystem: Güllelagerung und Ausbringung



Biogassystem



Abbildung 17: Umweltauswirkungen der drei Stoffe in kUBP gemäss MÖK 2013