

---

## Bericht

# Klimagasbilanz der Biogasanlage der Benning Agrar-Energie GmbH in Reken (Westfalen)

November 2016

Projekt-Nr. 263  
M. Eng. Tobias Röther  
Büro Göttingen

### 3N Dienstleistungen GmbH

Geschäftsstelle Werlte  
Kompaniestraße 1  
49757 Werlte  
Tel. 0 59 51 - 98 93 - 0  
info@3-n.info

Büro Göttingen  
Rudolf-Diesel-Straße 12  
37075 Göttingen  
Tel. 05 51 - 3 07 38 - 17  
goettingen@3-n.info

[www.3-n.info](http://www.3-n.info)



Im Auftrag der:

Benning Agrar-Energie GmbH  
Boom 1  
48734 Reken  
Tel. 0 28 64 - 62 21  
u.benning@benning-agrar-energie.de

[www.benning-agrar-energie.de](http://www.benning-agrar-energie.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens</b> .....	<b>1</b>
2.1	Ziel .....	1
2.2	Untersuchungsrahmen .....	1
2.3	Funktionelle Einheit / Bezugsgröße.....	2
2.4	Vergleichssysteme .....	2
2.5	Berücksichtigte Prozesse der Bereitstellung von Strom aus Biogas .....	3
2.6	Datenquellen .....	3
2.7	Koppelprodukte und Gutschriften.....	3
<b>3</b>	<b>Sachbilanz</b> .....	<b>4</b>
3.1	Energiepflanzenanbau .....	4
3.2	Bereitstellung Wirtschaftsdünger.....	5
3.3	Herstellung der BGA.....	5
3.4	Betrieb der BGA .....	5
3.5	Konversion in BHKW .....	6
3.6	Äquivalenzprozesse .....	7
3.6.1	Substitution fossiler Wärme.....	7
3.6.2	Mineraldünger substitution .....	7
3.6.3	Wirtschaftsdüngerbehandlung .....	8
<b>4</b>	<b>Wirkungsabschätzung – Ergebnisse</b> .....	<b>8</b>
4.1	Sensitivitätsanalyse .....	11
4.1.1	Diffuse Methanemissionen .....	12
4.1.2	Einfluss der Humuswirkung auf die Klimagasbilanz .....	13
4.2	Handlungsempfehlung .....	14
4.2.1	Erhöhung des Reststoffanteils .....	14
4.2.2	Ausbau der Wärmenutzung .....	14
4.2.3	Nutzung von regenerativem Zündöl in allen BHKW.....	16
<b>5</b>	<b>Benchmarking</b> .....	<b>17</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BGA	=	Biogasanlage
BHKW	=	Blockheizkraftwerk
CH <sub>4</sub>	=	Methan
CO	=	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub>	=	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2,Äq</sub>	=	Kohlenstoffdioxidäquivalente
EDV	=	Elektronische Datenverarbeitung
EE	=	Erneuerbare Energien
EEG	=	Erneuerbare Energien Gesetz
g	=	Gramm
GWP	=	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
ha	=	Hektar
kg	=	Kilogramm
km	=	Kilometer
kW	=	Kilowatt
kWh	=	Kilowattstunde
kWh <sub>el</sub>	=	Kilowattstunde elektrisch
kWh <sub>th</sub>	=	Kilowattstunde thermisch
KWK	=	Kraft-Wärme-Kopplung
l	=	Liter
m <sup>3</sup>	=	Kubikmeter
MW <sub>el</sub>	=	Megawatt elektrisch
N <sub>2</sub> O	=	Lachgas
NawaRo	=	Nachwachsende Rohstoffe
PKW	=	Personenkraftwagen
t	=	Tonne
WD	=	Wirtschaftsdünger

---

## 1 Aufgabenstellung

Die Benning Agrar-Energie GmbH betreibt seit 2004 eine NawaRo-Biogasanlage mit einer heute installierten elektrischen Leistung von 1.415 kW. Das erzeugte Biogas wird über ein Mikrogasnetz an insgesamt fünf Blockheizkraftwerke verteilt und dezentral verstromt. Ein Teil des Biogases wird von zwei benachbarten Biogasanlagen bezogen. Der erzeugte Strom wird komplett eingespeist. Der Großteil der Abwärme wird zur Beheizung von Wohnräumen, öffentlichen und sozialen Einrichtungen sowie Stallgebäuden und einem Gewerbebetrieb eingesetzt. In den Blockheizkraftwerken der Biogasanlage erzeugte Strom- und Wärmemengen verdrängen fossil erzeugte Energieträger und tragen somit zur Energiewende bei.

Ob eine Biogasanlage im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken ökologisch vorteilhaft ist, lässt sich mit Hilfe einer Klimagasbilanz beurteilen. Diese betrachtet den Einfluss der BGA auf den Treibhauseffekt sowohl qualitativ als auch quantitativ und bildet die Grundlage, um verschiedene Energieerzeugungsformen hinsichtlich ihres Treibhauspotenzials zu vergleichen.

Zur Ermittlung der Umweltauswirkungen der Biogasanlage Benning hinsichtlich der genannten Kategorien müssen zunächst Primärdaten erhoben, ein computergestütztes Modell erstellt sowie eine Auswertung der Daten vorgenommen werden. Die Benning Agrar-Energie GmbH hat 3N mit einer solchen Berechnung beauftragt. Die 3N Dienstleistungen GmbH erstellt die Klimagasbilanz in Kooperation mit der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen in Anlehnung an die DIN EN ISO Normreihe 14040.

## 2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

### 2.1 Ziel

Das Ziel der Klimagasbilanz ist es, das Treibhauspotenzial, welches mit dem Betrieb der BGA Benning verbunden ist, zu ermitteln und mit dem des deutschen Strommixes zu vergleichen. Der Bericht soll dem Betreiber der BGA belastbare Zahlen zur Verfügung stellen, die die spezifischen Verhältnisse seiner BGA berücksichtigen. Darüber hinaus lassen sich anhand der Ergebnisse Handlungsempfehlungen aussprechen, um den Betrieb der Anlage zu optimieren.

### 2.2 Untersuchungsrahmen

Abb. 1 zeigt das Prozessschema der Energiebereitstellung durch Biogas. Von der Substratbereitstellung, über die Biogasproduktion bis zur Verstromung in den BHKW und die Ausbringung der Gärprodukte werden die wesentlichen Prozesse berücksichtigt. Darüber hinaus ist die Systemgrenze der Klimagasbilanz dargestellt. Diese zeigt an, welche Prozesse nicht mehr der Bereitstellung von Strom durch Biogas zugeordnet werden (relevante Prozesse siehe Abschnitt 2.5). Zum Transport des erzeugten Stroms kann das vorhandene öffentliche Stromnetz genutzt werden (anders als z. B. Offshore-Windkraft, für die ein Stromnetz gebaut werden muss). Somit endet die Systemgrenze am Einspeisepunkt in das öffentliche Netz. Ähnlich verhält es sich bei der Abwärmenutzung: Bis zu den Verbrauchern werden die Wärmeleitungen berücksichtigt. Die Verteilungen der Abnehmer innerhalb der Gebäude werden den Verbrauchern zugeordnet, da diese ohnehin zur Wärmeverteilung vorhanden sind.

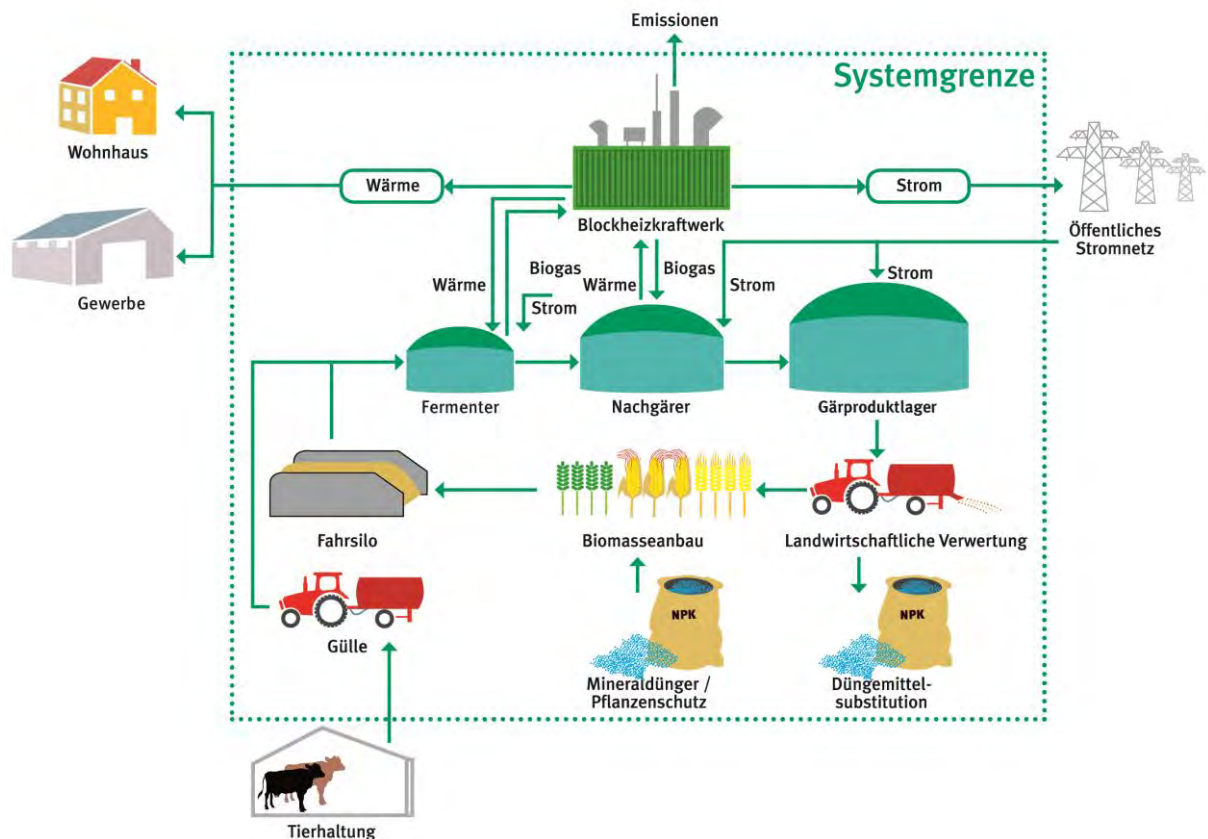


Abb. 1 Prozessschema und Systemgrenzen der BGA Benning

Sämtliche Emissionen, die durch die Tierhaltung entstehen, werden den tierischen Produkten zugerechnet, da es sich bei Gülle und Mist um Reststoffe handelt. Die Transporte der Wirtschaftsdünger zur BGA werden allerdings dem Biogasprozess zugeschrieben.

Zeitlich orientiert sich die Klimagasbilanz am Vergütungszeitraum des EEG. Sodass von einem Betrieb von 20 Jahren ausgegangen wird. Dies ist besonders bei der Berücksichtigung des Herstellungsaufwandes der BGA relevant, da sich die aus der Herstellung resultierenden Umweltauswirkungen auf die einzelnen Jahre verteilen. Für die Erstellung der Klimagasbilanz wurden die Energie- und Stoffströme aus 2015 zugrunde gelegt.

### 2.3 Funktionelle Einheit / Bezugsgröße

Das Hauptziel der BGA ist zum jetzigen Zeitpunkt die Produktion von elektrischer Energie. Wie auch bei anderen Untersuchungen von Prozessen, die der Stromerzeugung dienen, wird als funktionelle Einheit eine Kilowattstunde eingespeiste Energie ( $1 \text{ kWh}_{\text{el}}$ ) festgelegt. Auf diese Größe werden die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung bezogen.

### 2.4 Vergleichssysteme

Um die Ergebnisse der Klimagasbilanz besser einordnen zu können, werden als Vergleichssysteme die Erzeugung einer Kilowattstunde a) im deutschen *Strommix* und b) aus ausschließlich fossilen Kraftwerken (*Marginalstrom*) gewählt. 2015 lag der Anteil der regenerativen Stromerzeugung an der gesamten Stromerzeugung in Deutschland bei 29 % (7,8 % Biomasse).

Der Anteil des regenerativ erzeugten Stroms bezogen auf den gesamten Stromverbrauch in Deutschland lag bei knapp 32 %. Wie auch bei der Stromerzeugung aus Biogas wird bei dem Vergleichssystem die komplette Bereitstellungskette miteinbezogen.

## 2.5 Berücksichtigte Prozesse der Bereitstellung von Strom aus Biogas

Wie in Abschnitt 2.2 bereits beschrieben, berücksichtigt die Klimagasbilanz den gesamten Lebensweg der Bereitstellung von Strom aus Biogas. An dieser Stelle werden die relevanten Prozesse – bezogen auf den betrachteten Zeitraum – vorgestellt:

- Transport und Zwischenlagerung des Wirtschaftsdüngers
- landwirtschaftliche Produktion der Anbaubiomasse (Silomais, Grünroggen, Sommergerste, Körnermais) einschließlich Vorketten der Düngemittel, des Saatgutes und der Pflanzenschutzmittel sowie der maschinengebundenen Feldarbeiten
- Transport des Erntegutes vom Feld zum Standort der BGA
- Lagerung und Silierung der Substrate
- Herstellung und Transport der Sachaufwendungen für Silageplatte inklusive Silofolien sowie Fermenter, Nachgärer sowie Gärproduktlager inklusive Rührwerk und Pumpen, BHKW inklusive Einhausung
- Produktion des Biogases im Fermenter und Nachgärer
- Konversion des Biogases zu elektrischer und thermischer Energie
- Lagerung, Transport und Ausbringung des Gärprodukts

## 2.6 Datenquellen

Die der Klimagasbilanz zu Grunde liegenden Daten umfassen die In- und Output-Ströme der zu untersuchenden Prozesse, die zur Berechnung des Treibhauspotenzials notwendig sind. Drei wesentliche Datenquellen sind genutzt worden. Der Großteil der Daten wurde mittels Fragebogen durch den Betreiber bereitgestellt. Zur Berechnung von Emissionen aus dem Energiepflanzenanbau wurde auf Fachliteratur<sup>1</sup> zurückgegriffen. Zur Modellierung des Gesamtprozesses und Berechnung der Umweltauswirkungen wurde die Software *GaBi* der Firma thinkstep genutzt. Im Besonderen enthält diese Software Datenbanken zu Transport- sowie allgemeinen landwirtschaftlichen Prozessen, aber auch umfassende Daten zu Materialien, die für die Herstellung und den Betrieb der BGA Verwendung fanden.

## 2.7 Koppelprodukte und Gutschriften

Sollen die Ergebnisse dieser Klimagasbilanz mit anderen Systemen vergleichbar sein, ist darauf zu achten, dass es einen gleichen Gesamtnutzen gibt. Neben der Bereitstellung einer Kilowattstunde Strom, die als funktionelle Einheit definiert ist, erbringt die Biogasanlage noch weiteren Nutzen. Als Koppelprodukte fallen zum einen die Abwärme der BHKW an, zum anderen besitzt das Gärprodukt noch einen Düngewert. Diese Koppelprodukte können fossile Primärprodukte wie Erdgas/Heizöl (Wärme) und Mineraldünger (Gärprodukt) substituieren. Die Umweltauswirkungen, die bei der Bereitstellung der Primärprodukte angefallen wären, können der Biogasanlage gutgeschrieben

---

<sup>1</sup> Thünen-Report 39: Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2014 (2016); KTBL: Faustzahlen Biogas (2013)

werden. Um in der Methodik konsistent zu bleiben, werden analog zu der Erzeugung von Strom aus Biogas und den Vergleichssystemen *Strommix* und *Marginalstrom* auch bei diesen fossilen Primärprodukten die Bereitstellungsketten (Bau und Betrieb von Anlagen, Transporte, etc.) berücksichtigt. Neben den beiden genannten Koppelprodukten wird als weitere Gutschrift die Wirtschaftsdüngerbehandlung durch die Biogasanlage berücksichtigt. Gülle und Mist, die ohne Einsatz in der BGA zunächst gelagert und anschließend direkt auf Flächen ausgebracht worden wären, weisen durch die Vergärung in der BGA geringere Lageremissionen und veränderte Emissionen bei der Ausbringung auf.

### 3 Sachbilanz

#### 3.1 Energiepflanzenanbau

In der BGA werden vier Energiepflanzensubstrate eingesetzt. Maissilage, Grünroggen und Sommergerste werden auf Flächen in direkter Nähe (5 km) angebaut. Körnermais kommt als Kraftfutter zum Einsatz und stammt aus einer durchschnittlichen Entfernung von 30 km. Als fünftes Substrat werden unverarbeitete Rohkomponenten aus der Futtermittelproduktion genutzt. Diese gehen ohne Vorkette in die Bilanz ein, da es sich um Reststoffe handelt, die nicht mehr in der Futtermittelproduktion eingesetzt werden konnten. Die mit der Bereitstellung der Rohkomponenten verbundenen Umweltauswirkungen werden den verkaufsfähigen Futtermitteln zugeschrieben. Der Transport dieser Rohkomponenten hingegen wird berücksichtigt. Es wird eine Entfernung von 30 km angenommen.

In Tab. 1 sind In- und Outputs beim Energiepflanzenanbau dargestellt. Die Werte sind auf 1 t Frischmasse bezogen. Die Feldarbeit beinhaltet Pflügen, Saat mit Kreiselegge, Düngung von Kalk, Mineraldünger und Gärprodukt sowie Pflanzenschutz und Ernte mit Häcksler (soweit zutreffend).

**Tab. 1:** Gegenüberstellung der In- und Outputs für den Energiepflanzenanbau pro Hektar

		Mais-GPS	Grünroggen	Sommergerste	Körnermais
Input	Feldarbeit	1 ha	1 ha	1 ha	1 ha
	Gärprodukt	35 t	25 t	20 t	35 t
	Kalkstein Mehl	0,6 t	0 t	0 t	0,6 t
	Saatgut	20 kg	120 kg	130 kg	20 kg
	DAP-Ersatz: Calciumammoniumnitrat	40,8 kg	0 kg	0 kg	40,8 kg
	DAP-Ersatz: Triplesuperphosphat	61,3 kg	0 kg	0 kg	61,3 kg
	Pflanzenschutz Laudis	3 kg	0 kg	0 kg	3 kg
Output	Energiepflanze	45 t	25 t	15 t	15 t
	Ammoniak	35,6 kg	25,3 kg	20,2 kg	35,4 kg
	Lachgas	3,7 kg	2,7 kg	2,3 kg	3,7 kg
	Kohlenstoffdioxid	57,9 kg	0 kg	0 kg	57,9 kg

Da in der Datenbank des Softwaretools GaBi nur bestimmte Dünge- und Pflanzenschutzmittel zur Verfügung stehen, wurde anhand der Wirkung bzw. Nährstoffzusammensetzung ein Ersatzprozess angesetzt. Der Kraftstoffverbrauch für das Pflügen etc. ist in der Feldarbeit berücksichtigt. Für die

Transporte der Substrate zur BGA wurde ein Dieserverbrauch von durchschnittlich 30 l/ha angesetzt; für das Festfahren der Silage 8 l/ha.

Lachgas- und Ammoniakemissionen resultieren im Wesentlichen aus dem Mineraldünger- und Gärprodukteinsatz. CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen beim Kalken der Flächen. Landnutzungsänderungen müssen nicht berücksichtigt werden, da auf den Flächen zuvor auch Feldfrüchte angebaut wurden.

### 3.2 Bereitstellung Wirtschaftsdünger

Neben Energiepflanzen setzt die BGA auch Wirtschaftsdünger ein. Von umliegenden Betrieben werden Rindermist und Milchviehgülle angeliefert. Die durchschnittliche Transportentfernung beträgt 10 bzw. 8 km. Bevor die Wirtschaftsdünger in die BGA eingebracht werden, erfolgt eine Zwischenlagerung an der Anlage.

### 3.3 Herstellung der BGA

Um das Treibhauspotenzial, das bei der Herstellung der Biogasanlage entstanden ist, zu ermitteln, müssen sowohl alle verbauten Komponenten als auch alle verbrauchten Betriebsmittel für Transport und Montage erfasst werden. Das Treibhauspotenzial für die Herstellung der Anlage beträgt allerdings nur einen Bruchteil der Gesamtemissionen, sodass diese Klimagasbilanz nur die wesentlichen Stoffe, wie Beton, Stahl, Kunststoffe, Dämmstoffe und Holz berücksichtigt (inkl. Transporte), um den zeitlichen Aufwand an dieser Stelle gering zu halten. Damit wird die Herstellung von Behältern, Fahrsilo, BHKW (inkl. Einhausung), Wärme- und Gasleitungen sowie Aggregaten (Pumpen und Rührwerke) weitestgehend abgedeckt.

### 3.4 Betrieb der BGA

In Tab. 2 ist der jährliche Einsatz an Substraten dem Jahres-Output gegenüber gestellt. Insgesamt werden 8.288 t Energiepflanzensubstrate und 4.293 t Wirtschaftsdünger eingesetzt. Damit liegt der Anteil von Mist und Gülle an der Gesamtsubstratmenge bei 34 %.

Da die BGA Benning von zwei benachbarten BGA Biogas bezieht und in den eigenen BHKW verstromt, wurde für das fremdbezogene Biogas angenommen, dass dieses unter gleichen Rahmenbedingungen erzeugt wird, wie das der BGA Benning. Die Biogasmenge der BGA Benning ist ein theoretischer Wert, da die Gasmenge nicht mit geeichten Zählern erfasst wird. Aus diesem Grund wurde die Gasmenge über den erzeugten Strom, den elektrischen Wirkungsgrad der BHKW sowie den Methangehalt des Biogases berechnet.

Die angegebene Gesamtwärmemenge teilt sich in die Fraktionen *Prozesswärme* zur Beheizung der Behälter, *KWK-Wärme*, *Netzverluste bei der Wärmeverteilung* und *ungenutzte Abwärme der BHKW*. Der Anteil der genutzten KWK-Wärme gegenüber der Gesamtwärme liegt bei 66 %. In der Jahresbetrachtung liegt der Anteil der ungenutzten Abwärme bei ca. 12 %.

Da die diffusen Methanemissionen, die aufgrund von Undichtigkeiten an Behältern und Rohrleitungen entstehen, nicht gemessen wurden, wird ein Literaturwert nach KTBL (Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft (2016)) von 1 % der jährlichen Methanproduktion angesetzt. In der Literatur werden zum Teil auch höhere Werte von 1,8 % angegeben. Der geringere Wert ist jedoch zu wählen, da zum einen der Betreiber durch jährliche Leckagemessungen bestrebt ist, die Verluste auf ein Minimum zu begrenzen und



zum anderen sind die Gasspeicher der Anlage durchschnittlich nur zur Hälfte gefüllt, was einen geringeren Gasdruck bedingt und damit weniger Emissionen resultieren als bei einer vergleichbaren Anlage mit vollem Gasspeicher. Da die diffusen Methanemissionen jedoch einen erheblichen Einfluss auf die Kategorie Treibhauseffekt haben, wird in Abschnitt 4.1 mittels Sensitivitätsanalyse geprüft, welchen Einfluss höhere diffuse Emissionen auf die Ergebnisse hätten.

**Tab. 2:** Eingesetzte Mengen an Substrat und daraus resultierende Outputs pro Jahr

	Menge	
Input	Silomais	6.765 t
	Grünroggensilage	571 t
	Sommergerstensilage	273 t
	Kraffutter Körnermais	420 t
	Kraffutter Roggenmehl	259 t
	Rindermist	2.293 t
	Milchviehgülle	2.000 t
	Strom	480.000 kWh <sub>el</sub>
	Prozesswärme	395.603 kWh <sub>th</sub>
	Biogasbezug Nachbar-BGA	1.048.617 m <sup>3</sup>
Output	Biogas BGA Benning	2.296.383 m <sup>3</sup>
	Gärproduktmenge	10.037 t
	eingespeister Strom	8.864.880 kWh <sub>el</sub>
	Wärme gesamt	8.799.936 kWh <sub>th</sub>
	von den Abnehmern genutzte Wärme	5.842.488 kWh <sub>th</sub>
	Wärmenetzverluste	1.460.622 kWh <sub>th</sub>
	Prozesswärme für BGA	395.603 kWh <sub>th</sub>
	BHKW-Abwärme ungenutzt	1.101.223 kWh <sub>th</sub>
Diffuse Methanemissionen	9.433 kg	

### 3.5 Konversion in BHKW

Primäres Ziel des Betriebs der BGA ist die Umwandlung von Biomasse in elektrische Energie. Das in der BGA erzeugte Rohbiogas wird über ein Mikrogasnetz an insgesamt fünf BHKW verteilt und dort verstromt. Die installierte Gesamtleistung liegt bei 1.415 kW<sub>el</sub>. Das größte BHKW besitzt einen Gasmotor und hat eine Leistung von 400 kW<sub>el</sub>. Die anderen BHKW besitzen eine Leistung von 250 kW<sub>el</sub> bzw. 265 kW<sub>el</sub> und sind Zündstrahlmotoren. Zwei dieser Zündstrahler setzen fossiles Zündöl ein, die anderen beiden regenerativ erzeugten Biodiesel. Aus der Verbrennung fossilen Zündöls resultieren CO<sub>2</sub>-Emissionen, die anders als die CO<sub>2</sub>-Emissionen des regenerativen Biodiesels klimawirksam sind. Der Anteil des Zündöls an der gesamten Energiebereitstellung beträgt ca. 5 %. Davon entfallen wiederum 63 % auf fossiles Heizöl und 37 % auf regenerativen Biodiesel.

Die Emissionen in Tab. 3 stammen zum einen aus dem Protokoll der Abgasprüfung (NO<sub>2</sub>, CO, Formaldehyd) und sind zum anderen Literaturwerte (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>). Für den Methanschleup im BHKW wird ein Wert von 1 % bezogen auf die verstromte Methanmenge angesetzt.

**Tab. 3:** Gegenüberstellung der In- und Outputs bei der Verstromung des Biogases in den BHKW

	Menge	
Input	Verstromte Gasmenge	3.345.000 m <sup>3</sup>
	Menge Zündöl fossil (Heizöl)	64.000 l
	Menge Zündöl regenerativ (Biodiesel)	38.000 l
	Menge Schmieröl	3.000 l
Output	Menge Strom	8.861.880 kWh <sub>el</sub>
	Menge Wärme gesamt	8.799.936 kWh <sub>th</sub>
	CH <sub>4</sub> -Schleup im BHKW	13.227 kg
	CO <sub>2</sub> , fossil (aus Heizöl / Zündöl)	153.934 kg
	NO <sub>2</sub>	35.479 kg
	CO	1.036 kg
	Formaldehyd	259 kg

### 3.6 Äquivalenzprozesse

Äquivalenzprozesse beschreiben die in Abschnitt 2.7 erwähnten fossilen Primärprodukte, die von Koppelprodukten des Biogasprozesses verdrängt werden.

#### 3.6.1 Substitution fossiler Wärme

Die Abwärme aus der Verstromung des Biogases wird zu einem Großteil über Nahwärmenetze an Wohngebäude, Ställe, einen Gewerbebetrieb, ein Frei- und Hallenbad, Vereinsgebäude, ein Gymnasium, ein Seniorenwohnheim, eine Einrichtung für Menschen mit Behinderungen sowie an einen Kindergarten geliefert. Der Wärmenutzungsgrad liegt im Jahresschnitt netto bei 66 %. An diesen ca. 35 Übergabestellen wäre diese Wärme ohne die Bereitstellung aus Biogas fossil erzeugt worden. 42 % der Biogaswärme substituiert Wärme aus Heizöl, 58 % substituiert Wärme aus Erdgas. Die vermiedenen Emissionen, die aus der Bereitstellung der fossilen Wärme resultiert hätten, können dem Biogasprozess gutgeschrieben werden.

#### 3.6.2 Mineraldüngersubstitution

Neben Biogas erzeugt die BGA als weiteren Output vergorene Substrate, die als Gärprodukte auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Die enthaltenen Nährstoffe substituieren entsprechend ihrer Düngewirksamkeit fossil bereitgestellten Mineraldünger. Als Mineraldünger werden für Stickstoff *Calciumammoniumnitrat*, für Phosphor *Triple superphosphat* und für Kalium *Kaliumchlorid* angesetzt. Da der Großteil des anfallenden Gärprodukts auf den Flächen zum Energiepflanzenanbau eingesetzt wird, bleibt nur ein relativ geringer Anteil übrig, der auf „fremden“ Flächen (Flächen, auf denen keine Energiepflanzen für die BGA Benning angebaut werden) ausgebracht werden kann und dort fossilen Mineraldünger ersetzt. Auch wenn die Gutschrift für die Gärproduktnutzung in dieser Bilanz nur gering ausfällt, ist zu berücksichtigen, dass wesentliche

Menge des anfallenden Gärprodukts bereits auf den „eigenen“ Flächen Mineraldünger substituiert und somit den Biogasprozess gar nicht erst belastet.

### 3.6.3 Wirtschaftsdüngerbehandlung

Durch den Einsatz von Wirtschaftsdüngern in der BGA werden Emissionen vermieden, die bei der Lagerung der Gülle und des Mistes entstanden wären. Es wird angenommen, dass die Dauer der Zwischenlagerung an der BGA deutlich kürzer als die Lagerung auf dem Viehbetrieb ist. Die Methanemissionen sinken, weil der Wirtschaftsdünger viel weniger Zeit hat, um unkontrolliert Methan freizusetzen. Stattdessen entsteht das Methan im geschlossenen Fermenter, Nachgärer und Gärproduktlager. Neben der Lagerung verändert sich auch bei der Ausbringung das Emissionsverhalten, da sich die Nährstoffzusammensetzung durch den Energiepflanzenanteil im Gärprodukt verändert hat. Hier weist das Gärprodukt aufgrund des höheren Anteils an Ammonium-Stickstoff größere Ammoniak- und Lachgasemissionen auf. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass auch der Wirtschaftsdünger – analog zum Gärprodukt – einen Düngewert hat. Dieser muss dem Äquivalenzprozess *Wirtschaftsdünger* ebenfalls gutgeschrieben werden und verringert somit die Gutschrift für die BGA.

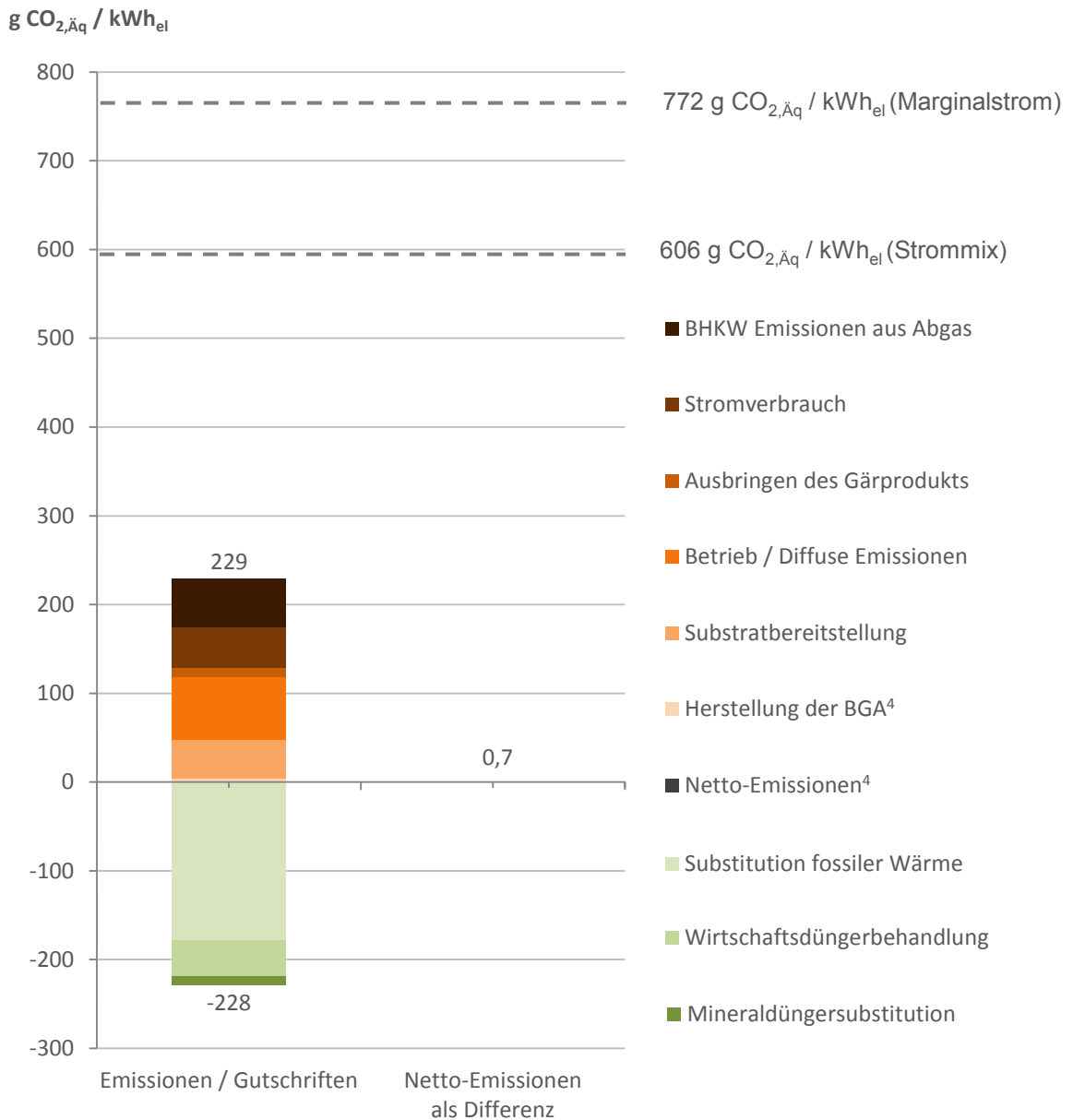
## 4 Wirkungsabschätzung – Ergebnisse

An dieser Stelle werden die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die Wirkungskategorie *Treibhauseffekt* vorgestellt. Das Treibhauspotenzial klimawirksamer Output-Stoffe wird ermittelt. Klimawirksame Gase sind u. A. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O, Lachgas). Als Treibhauspotenzial (Global Warming Potentials, GWP) dieser Gase wird die äquivalente Menge an CO<sub>2</sub> (CO<sub>2,Äq</sub>) angegeben, die den gleichen Treibhauseffekt hat wie ein Kilogramm des ins Verhältnis gesetzten Gases. Methan ist um den Faktor 25 klimawirksamer als CO<sub>2</sub>. 1 kg CH<sub>4</sub> hat deshalb ein Treibhauspotenzial von 25 kg CO<sub>2,Äq</sub>. Lachgas hat sogar ein Potenzial von 265 kg CO<sub>2,Äq</sub>. Die genannten Gase besitzen unterschiedliche Verweildauern in der Atmosphäre. Deshalb muss ein Zeitbezug angegeben werden. Üblicherweise wird eine Dauer von 100 Jahren gewählt (GWP<sub>100</sub>).

In Abb. 2 ist das Treibhauspotenzial in g CO<sub>2</sub>-Äquivalente bezogen auf eine Kilowattstunde elektrische Energie dargestellt. Oberhalb der X-Achse sind die Emissionen als gestapelte Säule differenziert nach Herkunftsprozess angegeben. Unterhalb der X-Achse werden die Gutschriften als negative Werte abgebildet. Die Netto-Emissionen, die sich aus Addition von Emissionen und Gutschriften ergeben, sind in einer separaten Säule rechts zu sehen. Zum Vergleich mit den Vergleichssystemen sind die Treibhauspotenziale des deutschen *Strommixes* (ca. 30 % EE) und des *Marginalstroms* (0 % EE) als gestrichelte Linie eingetragen. Diese betragen 606 bzw. 772 g CO<sub>2,Äq</sub>/kWh<sub>el</sub>.

Es ist gut zu erkennen, dass die BGA Benning mit einem Treibhauspotenzial von 229 g CO<sub>2,Äq</sub>/kWh<sub>el</sub> deutlich besser abschneidet als der deutsche *Strommix* und der *Marginalstrom*. Werden die Gutschriften eingerechnet, sinken die Emissionen sogar auf 0,7 g CO<sub>2,Äq</sub>/kWh<sub>el</sub> und sparen damit annähernd 100 % an Treibhausgasemissionen gegenüber dem aktuellen Strommix ein. Die Bereitstellung von Strom aus Biogas in der BGA Benning kann somit als fast klimaneutral angesehen werden. Wird die Stromproduktion eines kompletten Jahres betrachtet, kann die BGA

Benning ca. 3.500 Haushalte<sup>2</sup> mit Ökostrom versorgen. Unter Berücksichtigung der Gutschriften emittierte die BGA ca. 6.300 kg CO<sub>2,Äq</sub> pro Jahr. Die gegenüber dem Marginalstrom vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen belaufen sich auf 6.835.000 kg CO<sub>2,Äq</sub> und entsprechen den jährlichen Emissionen von ca. 2.400 Mittelklasse-PKW<sup>3</sup>.



**Abb. 2:** Ergebnisse der Wirkungskategorie *Treibhauseffekt*

Die geringen Netto-Emissionen resultieren im Wesentlichen aus der hohen Wärmenutzung und der damit verbundenen Verdrängung von Wärme aus Erdgas und Heizöl. Die

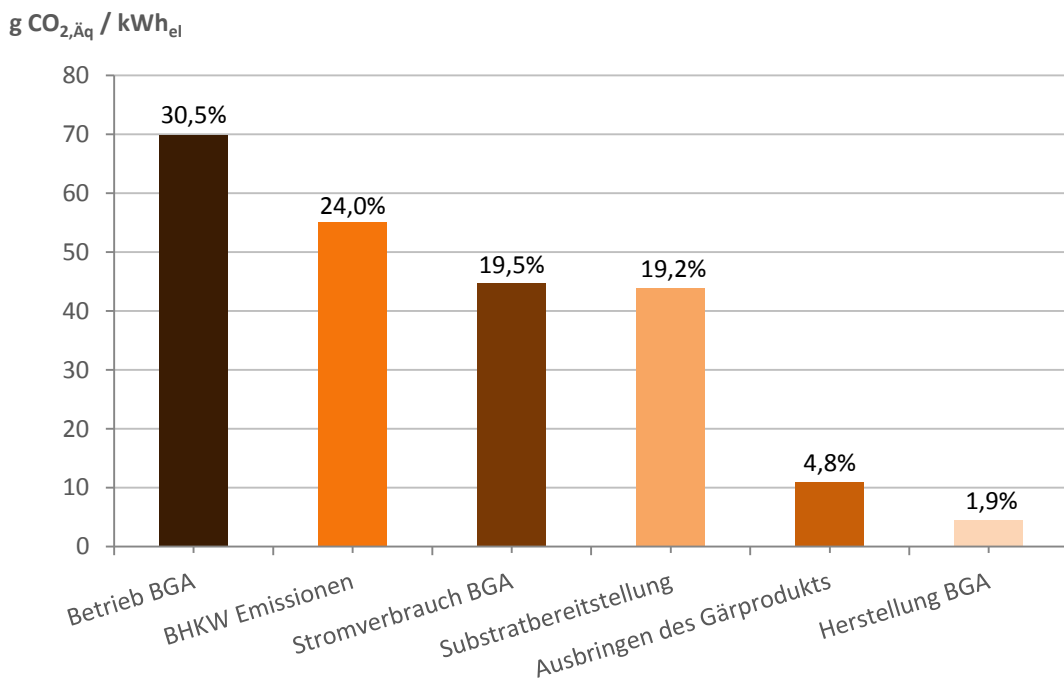
<sup>2</sup> Der Stromverbrauch eines durchschnittlichen drei-Personenhaushalts liegt bei 2.500 kWh<sub>el</sub> im Jahr

<sup>3</sup> 20.000 km/Jahr; 140 g CO<sub>2</sub>/km

<sup>4</sup> Da der Wert annähernd null ist, ist die Säule im Diagramm fast nicht zu erkennen

Mineraldüngersubstitution durch die Nutzung des anfallenden Gärprodukts als organischen Dünger fällt weniger ins Gewicht, da der Großteil bereits auf den Flächen zum Energiepflanzenanbau ausgebracht wird und somit nur ein geringer Teil zur Verfügung steht, um darüber hinaus Mineraldünger zu substituieren.

Der Betrieb der BGA (inkl. diffuser Methanemissionen) und die BHKW Emissionen haben den größten Anteil am Treibhauspotenzial der BGA. Verantwortlich für die Emissionen im Abgas des BHKW sind zum einen der Methanschluß im Motor und zum anderen der Einsatz fossilen Zündöls in den Zündstrahlmotoren. Der Stromverbrauch der Anlage für Pumpen, Rührwerke, Beleuchtung, EDV, etc. hat einen deutlich geringeren Anteil, ebenso die aus der Substratbereitstellung resultierenden Emissionen. Besonders gering fallen die Emissionen für die Ausbringung des Gärprodukts und die Herstellung der BGA aus.



**Abb. 3:** Verteilung der Emissionen in der Kategorie Treibhauseffekt auf die Prozesse

Diese Verteilung der Emissionen wird in Abb. 3 noch einmal übersichtlich dargestellt. Es wird deutlich, welcher Teilprozess den größten Einfluss auf das gesamte Treibhauspotenzial der Anlage hat. Daraus lässt sich eine Handlungsempfehlung ableiten, um den Betrieb hinsichtlich des Treibhauspotenzials zu optimieren. Den größten Anteil haben die Emissionen aus der Verstromung in den BHKW.

Die Emissionen, die dem Betrieb der BGA zugeschrieben werden, stammen aus den diffusen Methanemissionen sowie der Lagerung und dem Einbringen der Substrate durch den Radlader. Da zum Betrieb der Aggregate (Rührwerke und Pumpen) Netzstrom eingesetzt wird, ergibt sich ein Treibhauspotenzial von 44,8 g CO<sub>2,Äq</sub> / kWh<sub>el</sub> bzw. ein Anteil von 19,5 % am gesamten Treibhauspotenzial. Das Potenzial aus der Substratbereitstellung wird zum Großteil durch den Anbau von Silomais und Körnermais bestimmt, da hier neben der Gärproduktdüngung geringe Mengen Mineraldünger sowie Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden. Bei den übrigen Energiepflanzen wird zur Nährstoffversorgung ausschließlich Gärprodukt verwendet.

Abb. 4 veranschaulicht, wie die BGA Benning gegenüber anderen Strombereitstellungstechnologien abschneidet. Betrachtet man ausschließlich die Emissionen, stehen die übrigen erneuerbaren Energie deutlich besser da. Gegenüber der allgemeinen Erzeugung von Strom aus Biomasse – z.B. ggü. Holzheizkraftwerken – weist die BGA Benning ebenfalls ein höheres Treibhauspotenzial auf; allerdings sind für die Säule *Biomasse* keine Gutschriften ausgewiesen, da diese nicht bekannt sind, obwohl aufgrund von Kraftwärmekopplung selbstverständlich auch hier Gutschriften entstehen. Diese sind bereits in den Netto-Emissionen verrechnet. Gleiches gilt für den *Strommix* und den *Marginalstrom*, da es bei der fossilen Strombereitstellung ebenfalls einen KWK-Anteil gibt. Unter Berücksichtigung der Gutschriften weist die BGA-Benning allerdings ein noch niedrigeres Treibhauspotenzial auf als Strom aus Wind und Wasser. Die Darstellung in Abb. 4 vernachlässigt allerdings, dass Biogasanlagen Strom bedarfsgerecht erzeugen können. Würde man das Treibhauspotenzial der aufgeführten Erzeugungsformen auf eine **flexibel** bereitgestellte Kilowattstunde beziehen, müsste für die witterungsabhängigen Anlagen eine Speicherung berücksichtigt werden. Dadurch würden Verluste entstehen und die spezifischen Emissionen ansteigen.

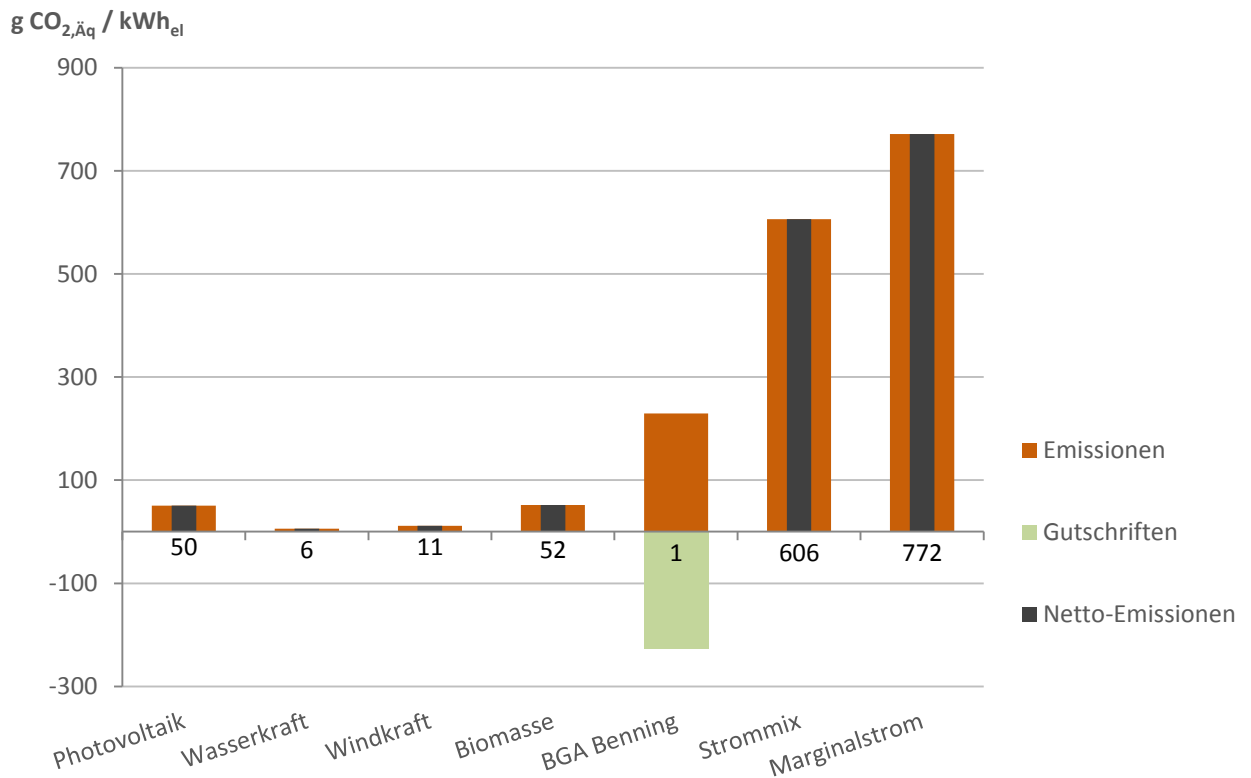


Abb. 4: Vergleich des Treibhausgaspotenzials verschiedener EE, des *Strommixes* und des *Marginalstroms*

#### 4.1 Sensitivitätsanalyse

Mittels Sensitivitätsanalyse sollen nun Prozesse mit unsicheren Eingangsgrößen noch einmal genauer betrachtet werden. Es wird geprüft, inwiefern sich kleine Veränderungen von Annahmen auf die Ergebnisse der Klimagasbilanz auswirken. Nachfolgend werden zwei Prozesse näher vorgestellt.

### 4.1.1 Diffuse Methanemissionen

Bei den diffusen Methanemissionen handelt es sich um Biogas, welches durch kleinere oder größere Undichtigkeiten in die Atmosphäre entweicht und aufgrund des hohen Treibhauspotenzials von Methan starken Einfluss auf das Gesamtpotenzial der BGA hat. Da sich das austretende Biogas quantitativ nur schwer messen lässt, wird in dieser Studie auf Literaturwerte zurückgegriffen (siehe Abschnitt 3.4). Anstatt der Emissionsrate von 1 % der erzeugten Methanmenge wird nun ein Wert von 1,8 % angesetzt. In Abb. 5 ist zu sehen, dass sich das Treibhauspotenzial um ca. 30 g CO<sub>2,Äq</sub> / kWh<sub>el</sub> vergrößern würde, wenn der größere Faktor zur Anwendung käme.

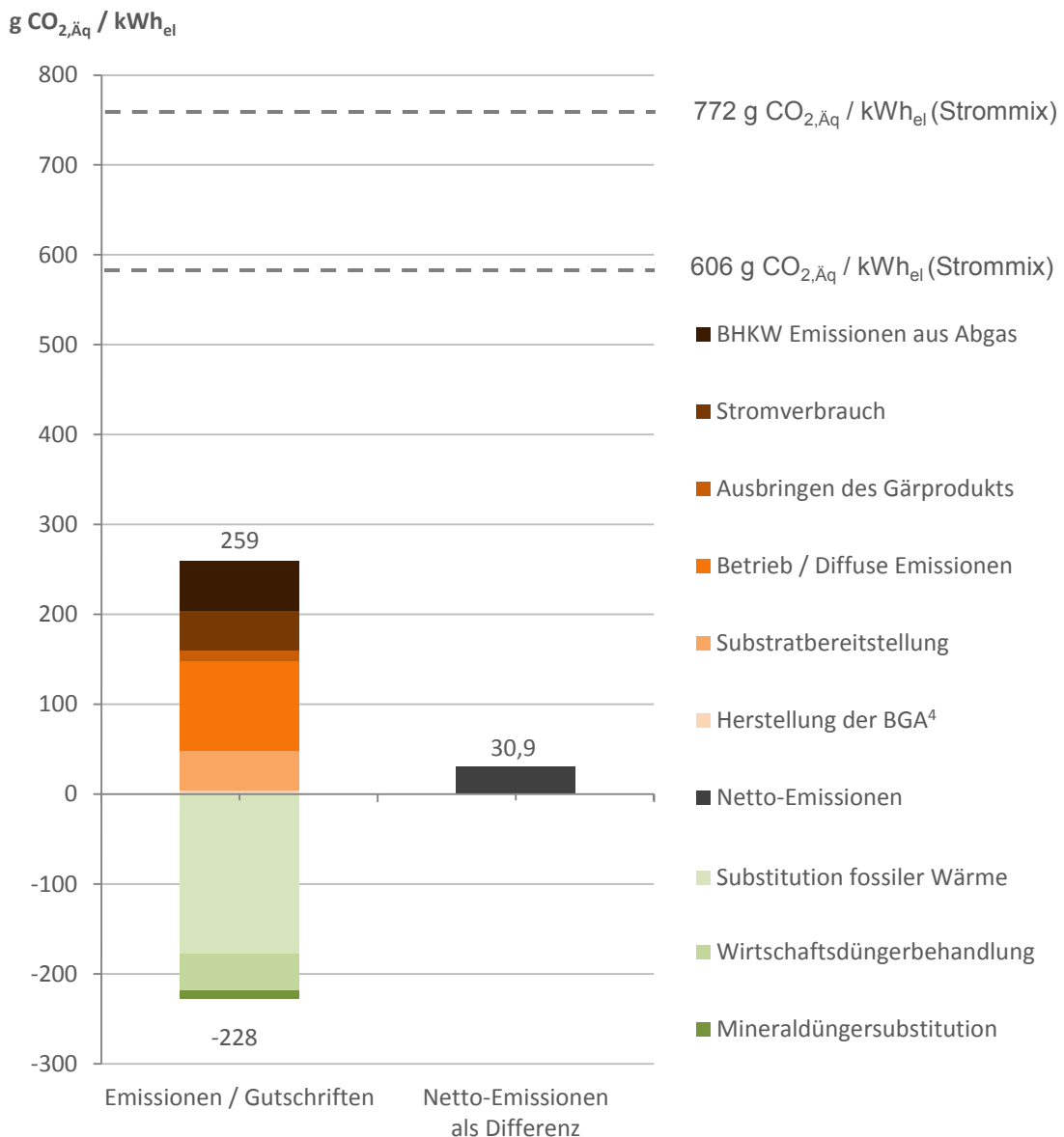
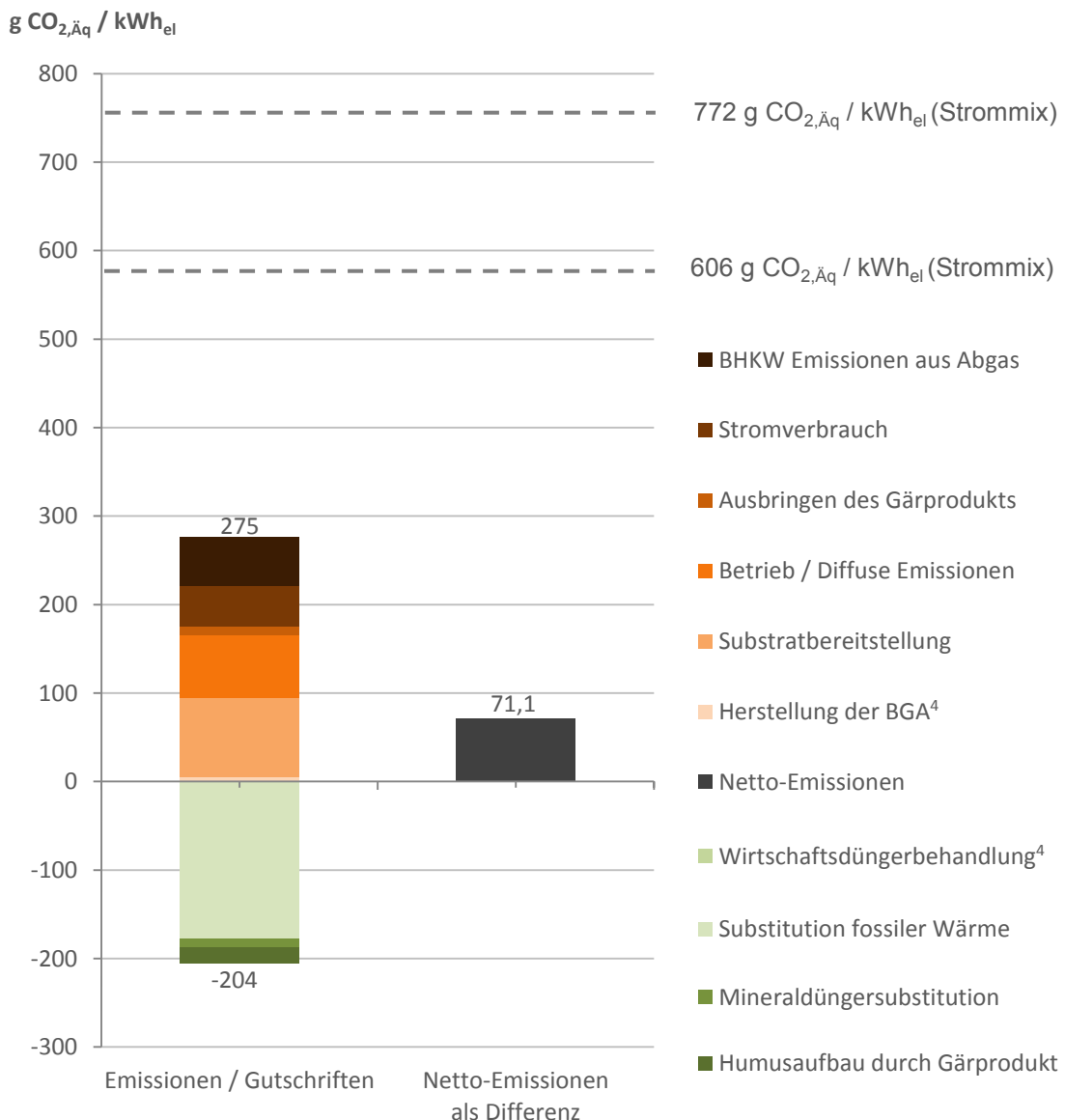


Abb. 5: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für den *Betrieb / Diffuse Emissionen*

<sup>4</sup> Da der Wert annähernd null ist, ist die Säule im Diagramm fast nicht zu erkennen

### 4.1.2 Einfluss der Humuswirkung auf die Klimagasbilanz

Die Humusbilanz spielt in der Landwirtschaft eine große Rolle. Folglich ist sie auch Bestandteil der Diskussion um Biogasanlagen und deren Nachhaltigkeit. Ohne eine ausgeglichene Humusbilanz ist eine dauerhafte Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen mit konstanten Erträgen nicht möglich. Des Weiteren werden durch den Abbau von Humus CO<sub>2</sub>- und Lachgas-Emissionen freigesetzt, die klimawirksam sind. Um eine ausgeglichene Humusbilanz zu erreichen, werden vor oder nach humuszehrenden Energiepflanzen, wie Silomais, Zwischenfrüchte angebaut. Eine vollständige, betriebsweite Humusbilanz kann allerdings mit den gesetzten Systemgrenzen dieser Klimagasbilanz nicht berücksichtigt werden, da hier ausschließlich die zur Biogasproduktion notwendigen Energiepflanzen betrachtet werden.



**Abb. 6:** Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Berücksichtigung der *Humuswirkung* in der Wirkungskategorie *Treibhauseffekt*

<sup>4</sup> Da der Wert annähernd null ist, ist die Säule im Diagramm fast nicht zu erkennen



Daraus resultiert, dass der Energiepflanzenanbau für den Biogasprozess keine ausgeglichene Humusbilanz aufweist und sich das Treibhauspotenzial für die *Substratbereitstellung* gegenüber den Ergebnissen ohne Berücksichtigung der Humusbilanz verdoppelt hat (vgl. Abb. 2 und Abb. 6).

Ein Einfluss der Humuswirkung zeigt sich auch bei den Prozessen *Humusaufbau durch Gärprodukt* und *Wirtschaftsdüngerbehandlung*. Durch die Nutzung des Gärprodukts als organischer Dünger wird Humus aufgebaut und CO<sub>2</sub> gebunden. Es ergibt sich eine Gutschrift von 17 g CO<sub>2,Äq</sub> / kWh<sub>el</sub>.

Die Gutschrift *Wirtschaftsdüngerbehandlung* hat sich soweit reduziert, dass diese nun als Emission wirkt. Allerdings beträgt der Wert nur 0,4 g CO<sub>2,Äq</sub> / kWh<sub>el</sub> und ist deshalb in der Grafik nur schwer zu erkennen. Die Verminderung der Gutschrift für die *Wirtschaftsdüngerbehandlung* ergibt sich dadurch, dass Gülle und Mist Humus bildend wirken und dies in dem Prozess berücksichtigt werden muss. Diese entgangene Möglichkeit, Humus direkt aus den im Biogasprozess eingesetzten Wirtschaftsdüngern zu bilden, wiegt nun stärker als die vermiedenen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Lagerung und Ausbringung. Das Humusbildungspotenzial geht allerdings nicht verloren, sondern findet sich im Gärprodukt wieder.

Das gesamte Treibhauspotenzial der Verstromung von Biogas steigt unter Berücksichtigung der Humuswirkung um gut 70 g CO<sub>2,Äq</sub> / kWh<sub>el</sub> an, liegt aber weiterhin deutlich unterhalb des Potenzials vom *Strommix* und *Marginalstrom*.

Auch wenn dieser Betriebszweig (Biogasanlage) einen Humusabbau zur Folge hat, heißt dies nicht, dass der Gesamtbetrieb nicht nachhaltig bewirtschaftet wird. Andere Betriebszweige sorgen wiederum für einen Humusaufbau, indem Zwischenfrüchte angebaut werden. Betrachtet man mehrere Jahre, rotieren die Energiepflanzenflächen, was ebenfalls zum Ausgleich der Humusbilanz beiträgt. Im Durchschnitt aller Zulieferbetriebe der BGA Benning liegt der Energiepflanzenanteil in der Fruchtfolge bei ca. 30 %.

## 4.2 Handlungsempfehlung

Um die bereits geringen Umweltauswirkungen, die durch den Betrieb der BGA Benning ausgehen, weiter zu reduzieren, werden drei Möglichkeiten diskutiert.

### 4.2.1 Erhöhung des Reststoffanteils

Eine Substitution von Silomais durch Gülle oder Mist ist theoretisch denkbar. Allerdings müssten anstatt einer Tonne Silomais ca. 7 t Gülle bzw. ca. 3 t Mist eingesetzt werden, um die erzeugte Biogasmenge konstant halten zu können. In der Leistungsklasse von über 1 MW<sub>el</sub> wären enorme bauliche Veränderungen notwendig, um das erforderliche Behältervolumen bereitzustellen.

Ohne bauliche Veränderungen würden hingegen die anderen beiden Optionen auskommen.

### 4.2.2 Ausbau der Wärmenutzung

Eine Steigerung des Nutzungsgrads der Abwärme aus den BHKW würde zu einer Zunahme der Gutschriften aus der Substitution fossiler Wärme führen. Die Erzeugung müsste verstärkt zu Zeiten erfolgen, zu denen die Wärme benötigt wird. Sollten die Kapazitäten bereits ausgeschöpft sein, müssten BHKW-Motoren durch leistungsstärkere ersetzt oder ergänzt werden, um Strom- und Wärmeerzeugung weiter bedarfsgerecht zu flexibilisieren.

Die Steigerung des Wärmenutzungsgrades von 66 % auf 75 % würde eine Reduktion der Netto-Emissionen um ca. 22 g CO<sub>2,Äq</sub> / kWh<sub>el</sub> bewirken. Dabei ist der höhere Aufwand bei der Herstellung der Anlage (größeres BHKW, zusätzliche Wärmeleitung) berücksichtigt. Die Substitution fossiler Wärme überwiegt jedoch deutlich (Abb. 7).

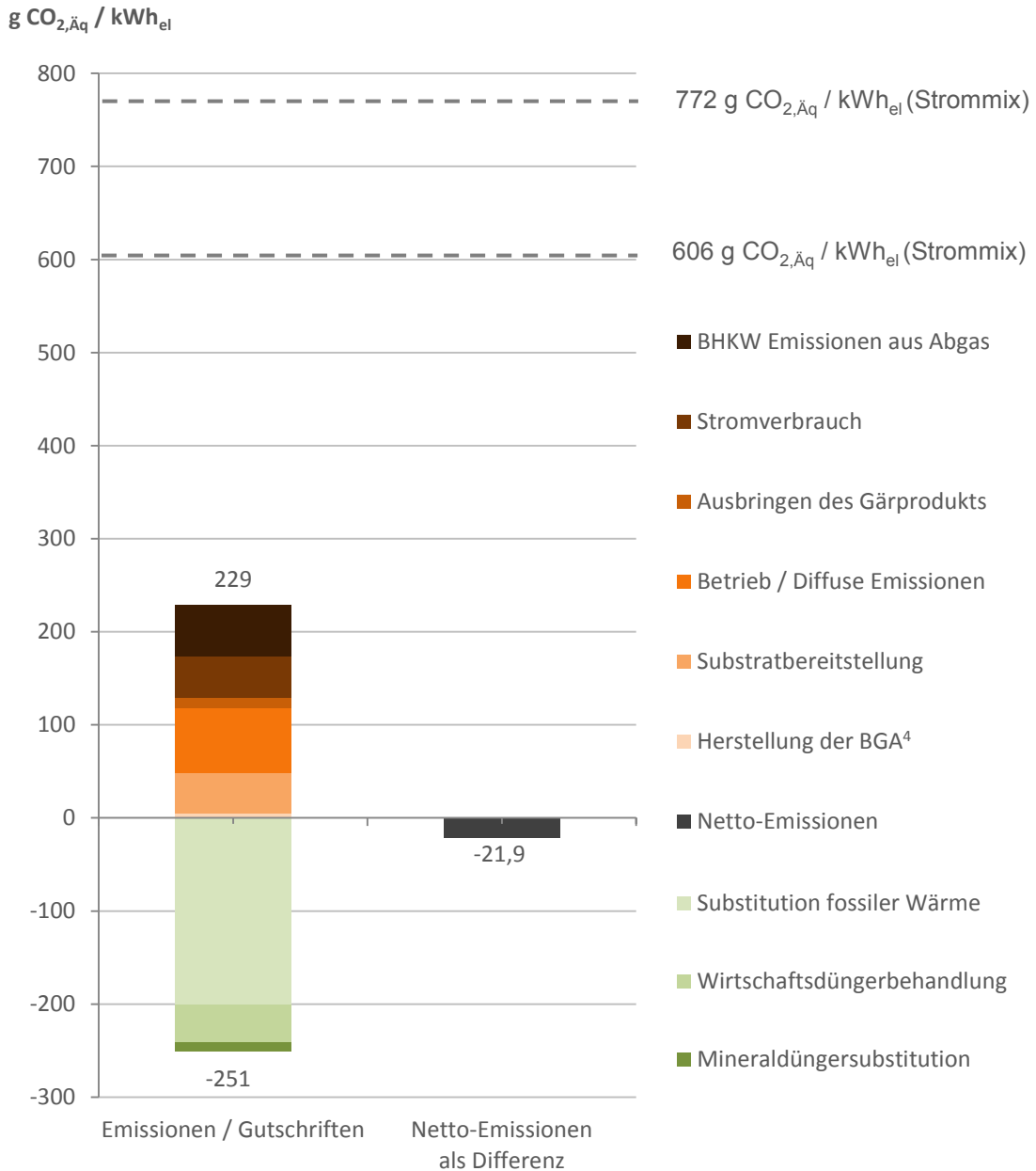
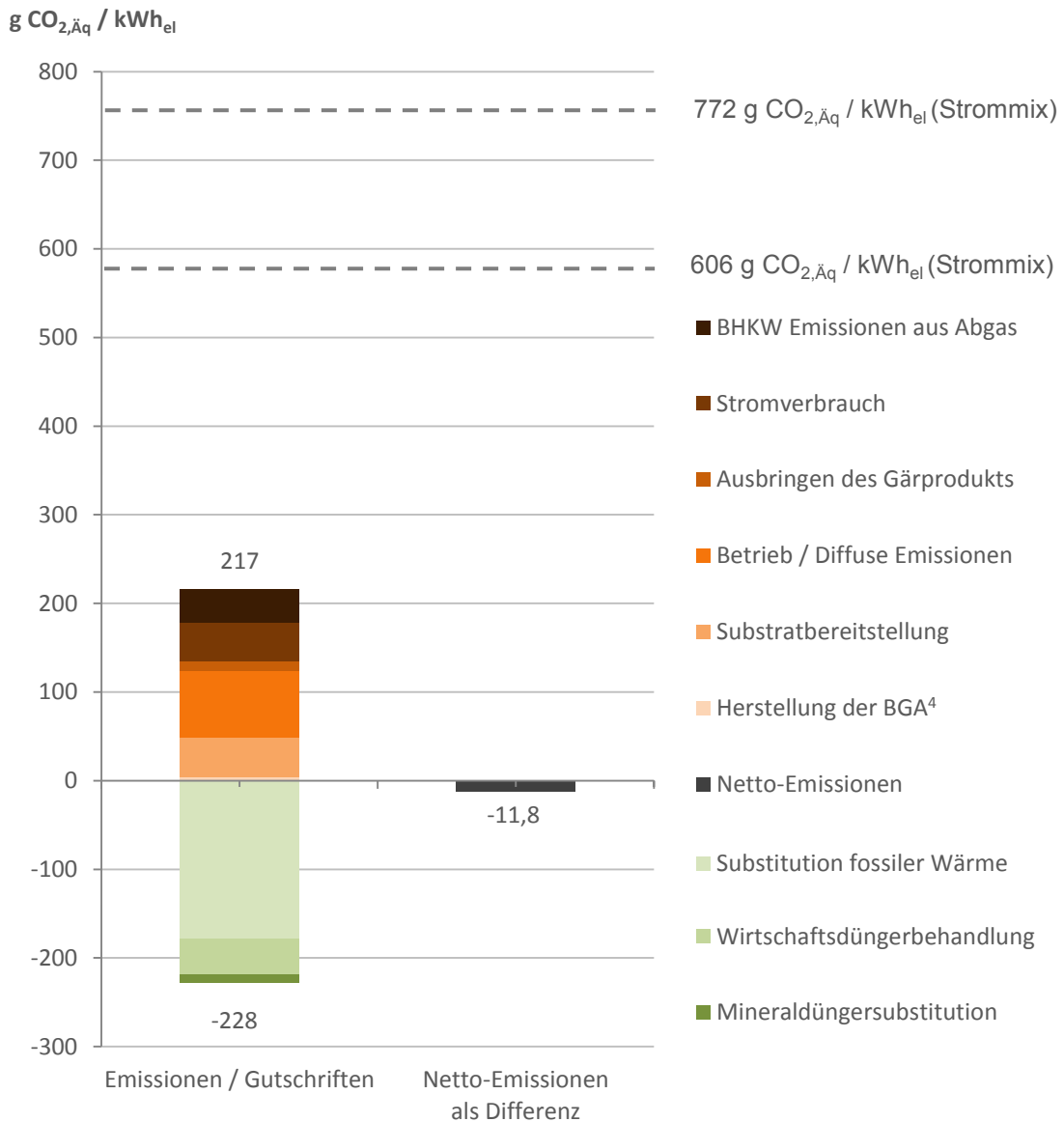


Abb. 7: Ergebnisse der BGA Benning bei Erhöhung des Wärmenutzungsgrades auf 75 %

<sup>4</sup> Da der Wert annähernd null ist, ist die Säule im Diagramm fast nicht zu erkennen

### 4.2.3 Nutzung von regenerativem Zündöl in allen BHKW

Die dritte Möglichkeit, das Treibhauspotenzial der BGA zu senken, besteht in der Nutzung von regenerativem Zündöl auch in den beiden anderen Zündstrahlmotoren, in denen bisher Heizöl eingesetzt wird. Die Umstellung hätte sogar eine Reduktion der Netto-Emissionen auf einen negativen Wert von  $-11,8 \text{ g CO}_{2,\ddot{A}q} / \text{kWh}_{el}$  zur Folge wie Abb. 8 zeigt. Alternativ bietet sich langfristig die Möglichkeit, die älteren Zündstrahlmotoren durch Gas-Otto-Motoren zu ersetzen.



**Abb. 8:** Ergebnisse der BGA Benning mit Nutzung regenerativen Zündöls

Die beiden zuletzt vorgestellten Handlungsempfehlungen zeigen, dass es immer noch Verbesserungspotenzial für die BGA Benning gibt, obwohl diese bereits mit einem hohen ökologischen Standard betrieben wird.

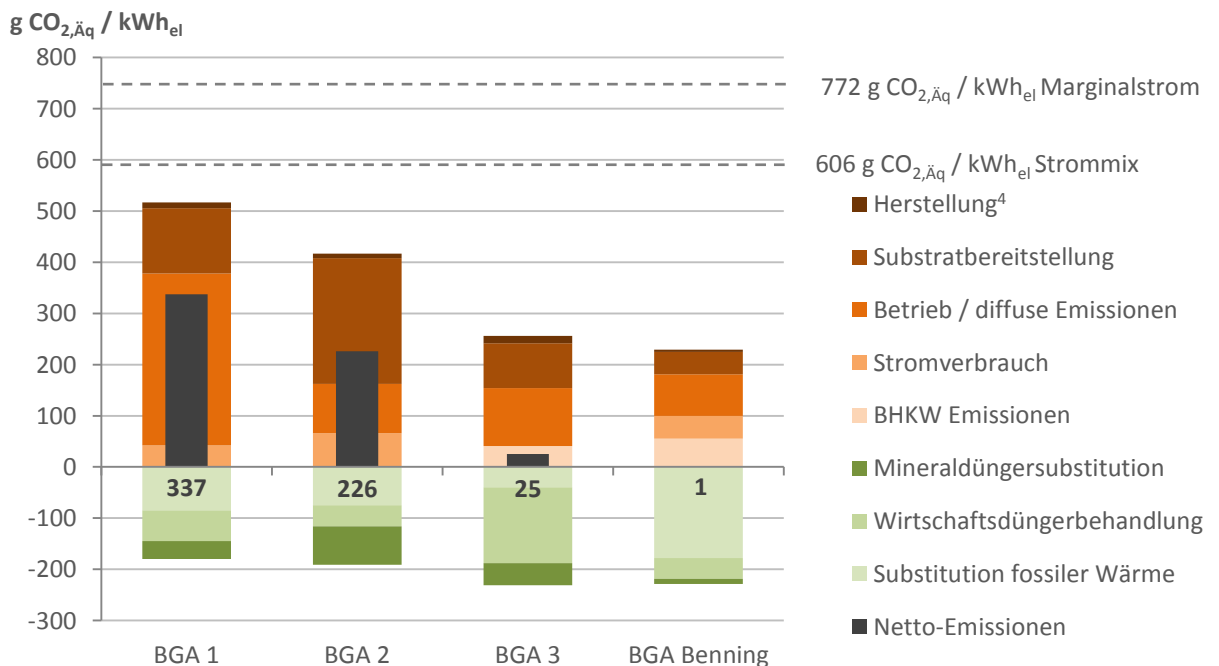
<sup>4</sup> Da der Wert annähernd null ist, ist die Säule im Diagramm fast nicht zu erkennen

## 5 Benchmarking

Die Ergebnisse der Klimagasbilanz zeigen, dass die BGA Benning deutlich besser abschneidet als die Vergleichssysteme *Strommix Deutschland* und *Marginalstrom*. Dies liegt vor allem darin begründet, dass der Großteil der Energie, der letztendlich als Kilowattstunde elektrische Energie vorliegt, beim Wachstum der Energiepflanzen entstanden ist und somit klimaneutral bereitgestellt wird.

Um die Ergebnisse der Ökobilanz besser einordnen zu können, bietet sich ein Vergleich mit anderen Biogasanlagen an. In Abb. 9 sind neben dem Treibhauspotenzial der BGA Benning drei weitere BGA mit ihrem Beitrag zum Treibhauseffekt dargestellt. Die Ergebnisse der weiteren BGA stammen aus einer Studie der Georg-August-Universität Göttingen aus dem Jahr 2012 (Ökobilanzielle Bewertung von Biogasanlagen unter Berücksichtigung der niedersächsischen Verhältnisse) und repräsentieren drei unterschiedliche NawaRo-BGA in Niedersachsen. Diese lassen sich wie folgt charakterisieren:

- **BGA 1:** Baujahr: 2006, Leistung: 526 kW<sub>el</sub>, WD-Anteil: 43 %, Silomaisanteil: 55 %, Gärproduktlager offen, Verweilzeit: 120 Tage, Gas-Otto-Motor, Wärmenutzung: 26 %
- **BGA 2:** Baujahr: 2005, Leistung: 537 kW<sub>el</sub>, WD-Anteil: 34 %, Grassilage: 61 %, Gärproduktlager gasdicht, Verweilzeit: 77 Tage, Gas-Otto-Motor, Wärmenutzung: 28 %
- **BGA 3:** Baujahr: 2006, Leistung: 530 kW<sub>el</sub>, WD-Anteil: 81 %, Silomaisanteil: 18 %, Gärproduktlager 1 gasdicht / Gärproduktlager 2 offen, Verweilzeit: 82 Tage, Zündstrahlmotor, Wärmenutzung: 21 %



**Abb. 9:** Vergleich der BGA Benning mit weiteren BGA in der Wirkungskategorie *Treibhauseffekt*

<sup>4</sup> Da der Wert annähernd null ist, ist die Säule im Diagramm fast nicht zu erkennen

Die BGA Benning unterscheidet sich im Wesentlichen durch die höhere Wärmenutzung von 66 % und die damit verbundenen Gutschriften sowie durch die Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes beim Energiepflanzenanbau von den anderen BGA. Des Weiteren beträgt die installierte Leistung fast das Dreifache gegenüber den anderen BGA, was zu spezifisch geringeren Aufwendungen für die Herstellung führt.

Vergleicht man BGA 3 und BGA Benning miteinander, ist gut zu erkennen, dass sich beide Anlagen nur um ca. 20 g CO<sub>2,Äq</sub> unterscheiden, obwohl hinter dem Betrieb der Anlage unterschiedliche Konzepte stehen. Positiv zu sehen ist, dass BGA 3 überwiegend Gülle einsetzt und den erzeugten Strom direkt in der Anlage nutzt, um elektrische Aggregate zu betreiben. Auf Grund des hohen Gülleanteils – und dem damit verbundenen hohen Durchsatz an Substrat – kann jedoch nur ein geringer Anteil Wärme zur Beheizung von Gebäuden eingesetzt werden, da der Großteil als Prozesswärme zur Behälterbeheizung eingesetzt werden muss.

Anhand BGA 1 ist deutlich zu sehen, welchen Einfluss ein offenes Gärproduktlager auf die diffusen Methanemissionen hat. Das Treibhauspotenzial, das dem Betrieb der Anlage zugeordnet werden kann, beträgt gegenüber den anderen Anlagen mehr als Dreifache.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse dieses Berichtes können weitestgehend als Grundlage für eine Zertifizierung, z. B. für den Einstieg in den Markt mit Emissionszertifikaten, genutzt werden.