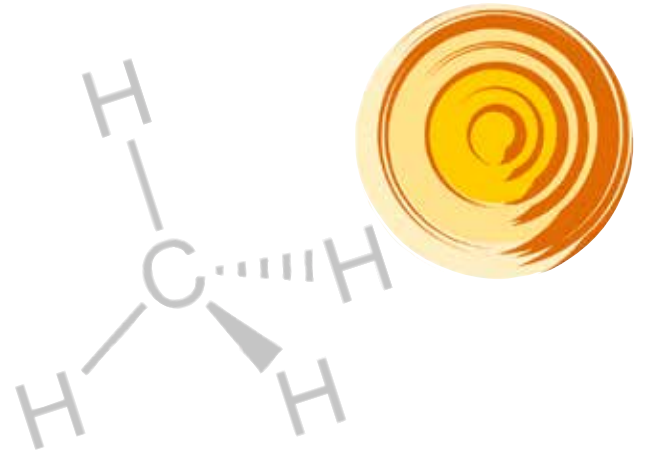




Biogas

Erneuerbare Energie aus Biomasse



Klima- und Ressourcenschutz

Verfahren der Biogasherstellung

Substrate

Nutzung von Biogas

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Geschichte und Entwicklung der Biogasherstellung	4
2.1	Gründe für den Betrieb einer Biogasanlage	5
3.	Die Herstellung von Biogas	7
3.1	Vier Phasen der Vergärung	7
3.2	Steuerung des Gärungsprozesses	8
3.3	Funktionsweise einer landwirtschaftlichen Biogasanlage	9
4.	Substrate für eine Biogasanlage	12
4.1	Warum können Pflanzen Energie liefern?	12
4.2	Methanausbeute verschiedener nachwachsender Rohstoffe	15
4.3	Methanausbeute verschiedener Wirtschaftsdünger	15
4.4	Methanausbeute von Bioabfällen	17
4.5	Wieviel Substrat benötigt eine Biogasanlage?	18
5.	Gärrestverwertung	21
5.1	Kreislaufwirtschaft bei Biogasanlagen	22
6.	So wird Biogas genutzt	24
6.1	Nutzung durch Kraft-Wärme-Kopplung	24
6.2	Einspeisung in das Erdgasnetz	25
6.3	Treibstoff für Kraftfahrzeuge	25
	Exkurs: Kilowattstunden und Stromverbrauch Definition, Stromverbrauch der Haushalte, Verkauf von Strom einer Biogasanlage, Strommix in Deutschland, CO ₂ -Emissionen Stromerzeugung in Deutschland	26
7.	Klimarelevante Aspekte	30
7.1	Emissionen für die Erzeugung einer kWhel durch Biogas - Anfall und Vermeidung von Treibhausgasen - Ergebnisse der Anlagevarianten	30
8.	Schlagzeilen: Biogas im Fakten-Check	34
	Glossar	38
	Literaturverzeichnis, Quellenangaben und Links	39
	Impressum, Bildnachweis	41
	Poster (DIN A1):	
	• Energiepflanzen für die Biogasherstellung	
	• Da steckt Energie drin! Substrate für die Biogasherstellung	
	• Energie aus Biogas	

1. Einleitung

Energiegewinnung - eine große Herausforderung

In Anbetracht der kontinuierlich ansteigenden Erderwärmung und den damit verbundenen aktuellen und prognostizierten negativen Auswirkungen verpflichtete sich Deutschland gemeinsam mit anderen teilnehmenden Ländern die Klimaziele des Kyoto-Protokolls (1997; 2005 Inkrafttreten) zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen zu erfüllen.

Konkret setzte Deutschland sich die Ziele, die Treibhausgasemissionen bezogen auf das Basisjahr 1990 bis zum Jahr 2012 um 21% und bis zum Jahr 2020 um 40% zu senken.

Im Pariser Klimaabkommen (2015) einigten sich 195 Länder rechtsverbindlich die Erderwärmung zukünftig auf deutlich unter 2 Grad Celsius zu begrenzen. Konkretisiert werden die Ziele und Maßnahmen in nationalen Klimaschutzplänen. So auch in Deutschland, das damit über das 2030er Zwischenziel von 55% Treibhausgasreduzierung bis 2050 weitgehende Treibhausgasneutralität erreichen will. Für den Energiesektor bedeutet dies eine Reduzierung der klimarelevanten Emissionen um 61-62% bis 2030.

Nach der Nuklearkatastrophe von Fukushima in 2011 wurde der Ausstieg aus der Atomenergie bis 2022 beschlossen. Die Versorgungssicherheit muss zudem vor dem Hintergrund steigender Bevölkerungszahlen und steigendem Stromverbrauchs gesichert werden, was den Ausbau der Erneuerbaren Energien dringlich macht. In der Gesellschaft rücken die Probleme der konventionellen Energieversorgung mit fossilen und atomaren Energien stärker ins Bewusstsein (z.B. Fridays for Future). Die Nachfrage z.B. nach „Grünem Strom“ aus regenerativen Quellen steigt. Auch gehen fossile Energieträger mit der Zeit zur Neige, sodass für zukünftige Generationen die Gewinnung ungleich schwerer sein wird und die Rohstoffpreise auf lange Sicht steigen werden.

Diese Tatsachen zeigen, wie wichtig erneuerbare Energien aus Biomasse, Wind und Sonne sind und langfristig sein werden. Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Jahre 2000 wurden Anreize geschaffen, um die Stromgewinnung aus regenerativen Energiequellen auszubauen.

Eine wichtige und zukunftsfähige Technologie ist die Energie- bzw. Gaserzeugung aus Biomasse. Die Biogaserzeugung hat vor allem seit Inkrafttreten des novellierten EEG im Jahr 2004 einen enormen Aufschwung in Deutschland erlebt. Insbesondere für Landwirte und Landwirtinnen hat sich dadurch ein neuer Erwerbszweig entwickelt. Ein Vorteil für die Anlagenbetreibenden ist, dass durch das Gesetz feste Vergütungssätze für einen Zeitraum von 20 Jahren gezahlt werden, was im Gegensatz zu schwankenden und oft niedrigen Preisen für landwirtschaftliche Erzeugnisse wirtschaftlich überzeugend klingt. So ist die Biogaserzeugung als umweltfreundliche Alternative zu fossilen Energieträgern eine zusätzliche Einnahmequelle in der Landwirtschaft.



dave51 - stock.adobe.com



Hardy - stock.adobe.com



rupenkamp - stock.adobe.com

2. Geschichte und Entwicklung der Biogasherstellung

Bereits im Jahre 1778 entdeckte der italienische Physiker Volta, dass Methan ein Bestandteil der „brennbaren Luft“ aus Sümpfen ist. Erste Biogasanlagen wurden Mitte des 19. Jahrhunderts in Asien errichtet, das entstehende Biogas aus den kleinen Fermentern wurde jedoch ausschließlich für den Eigenbedarf der Haushalte genutzt. In Europa nutzte man Biogas erstmals Ende des 19. Jahrhunderts in England, in dem man Klärgas aus luftdichten Absetzbecken für die Straßenbeleuchtung verwendete (Linke, Bernd; 2006, S.7).

In Deutschland gewann die Biogastechnologie während der Ölkrise in den 70er Jahren an Bedeutung, die Technologie wurde jedoch erst in den 90er Jahren in einem nennenswerten Umfang zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt (FNR; 2002, S.208).

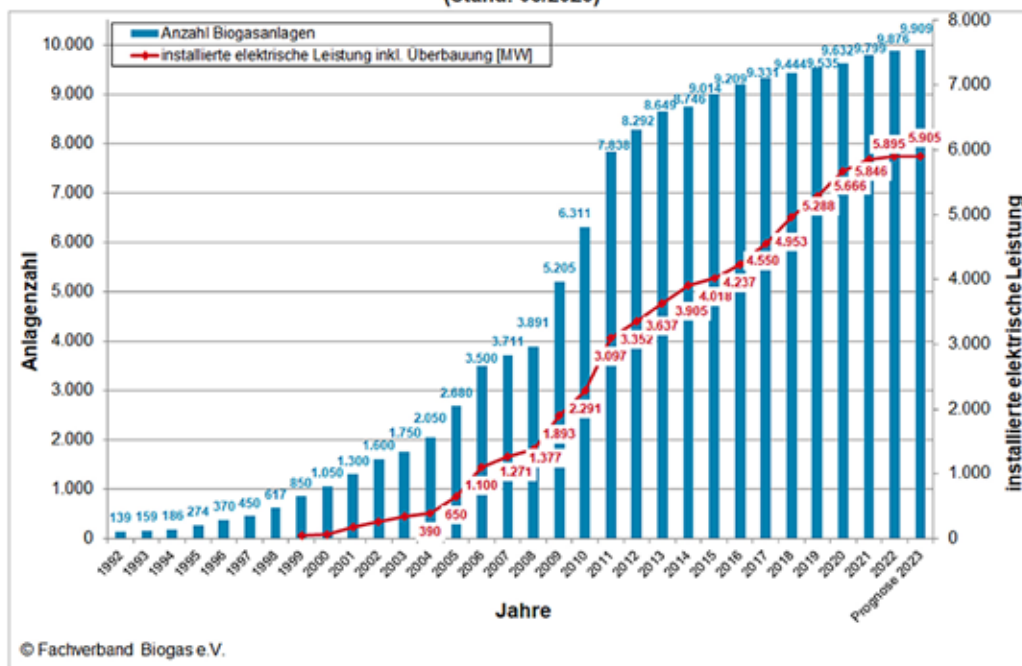
Die Biogasbranche erfuhr einen großen Aufschwung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2004 und insbesondere durch das EEG 2009. Diese Gesetze führten dazu, dass Ende des Jahres 2011 bereits etwa 7.838 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von 3.079 Megawatt an das deutsche Stromnetz angeschlossen waren.

Im Jahr 2022 waren in Deutschland ca. 9.876 Biogasanlagen mit einer Leistung von etwa 5.900 Megawatt installiert. Damit werden nach dem Fachverband Biogas rechnerisch ca. 10 Mio. Haushalte mit Strom versorgt und etwa 23 Mio. Tonnen CO₂ eingespart.

Zukünftig werden immer mehr Biogasanlagen aus der EEG-Vergütung herausfallen, so dass für diese Anlagen individuelle Wirtschaftskonzepte entwickelt werden müssen.



Entwicklung der Anzahl Biogasanlagen und der gesamten installierten elektrischen Leistung in Megawatt [MW] in Deutschland (Stand: 08/2023)



[https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/23-09-25_Biogas_Branchenzahlen-2022_Prognose-2023.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/23-09-25_Biogas_Branchenzahlen-2022_Prognose-2023.pdf)

Bezogen auf die einzelnen Bundesländer befinden sich in Bayern mit Abstand die meisten Anlagen (ca. 2.700). Hessen gehört aufgrund seiner landwirtschaftlichen Struktur mit ca. 240 Anlagen zu den Bundesländern mit der geringsten Anzahl an Biogasanlage.

2.1 Gründe für den Betrieb einer Biogasanlage

Es gibt mehrere Gründe, weshalb Landwirtinnen und Landwirte sich für den Bau und den Betrieb einer Biogasanlage entscheiden.

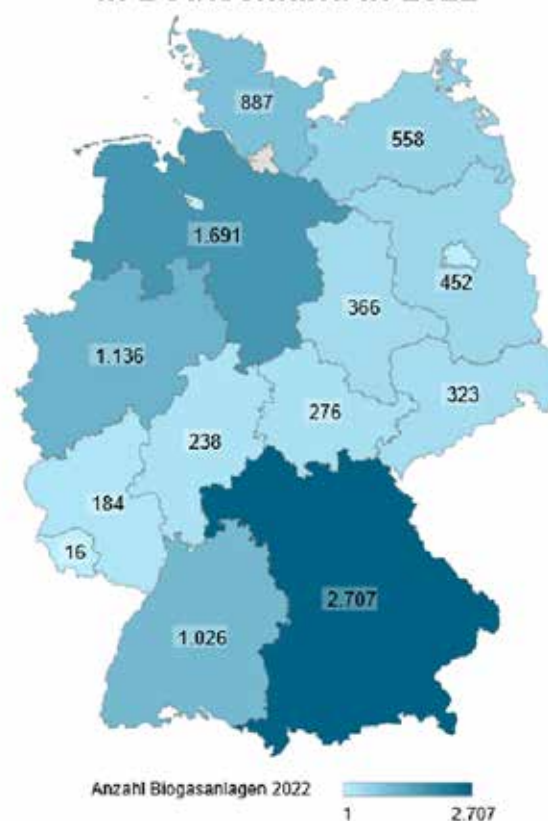
Biogasanlagen können zur Erreichung der Klimaschutzziele beitragen und stellen eine sinnvolle Ergänzung zu Sonnen- und Windenergie dar, da Biomasse speicherbar ist. Außerdem können sie zur Verringerung von Treibhausgasemissionen beitragen, besonders Methanemissionen.

Betriebswirtschaftlich betrachtet bietet eine Biogasanlage Landwirtinnen und Landwirten ein zusätzliches, gesichertes Einkommen, was mit Hilfe von ohnehin anfallenden Reststoffen wie Gülle und Mist erzielt werden kann. Landwirtschaftliche Produkte unterliegen ständig schwankenden Marktpreisen. Darüber hinaus sind die Preise für beispielsweise Milch, Getreide und Schweinefleisch so niedrig, dass teilweise nicht mehr kostendeckend produziert werden kann.

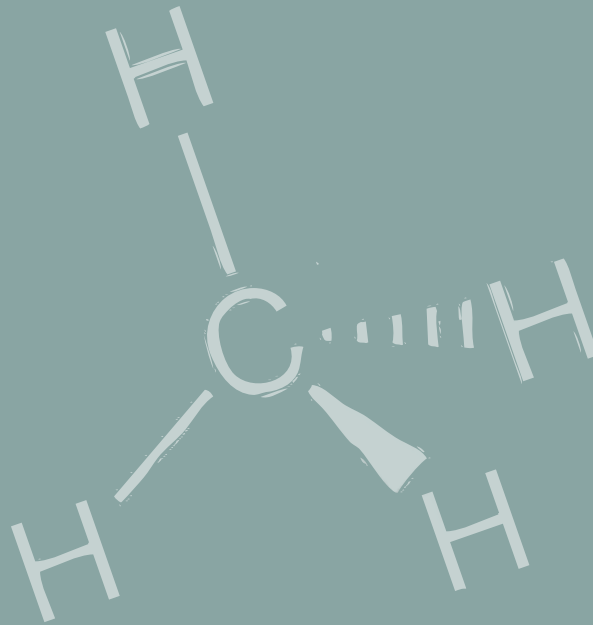
So war die Erzeugung von Biogas für viele landwirtschaftliche Betriebe eine lukrative Ergänzung zur herkömmlichen Landwirtschaft. Denn durch die Erneuerbaren Energien Gesetze (kurz EEG) wurden die Strombetreiber dazu verpflichtet, den Strom zu einer verbindlichen, 20-jährigen festen Vergütung abzunehmen. Zu beachten ist jedoch, dass für den Betrieb einer Biogasanlage zusätzlicher Arbeitsaufwand notwendig ist und es auch einige Anlagen gibt, die nicht kostendeckend arbeiten.

Eine Biogasanlage kann also nicht nur ein Gewinn für den Umwelt- und Klimaschutz sein, die Energieversorgung beim Ausstieg aus Kohle und Kernkraft sichern, sondern auch ein zusätzliches Standbein für landwirtschaftliche Betriebe darstellen.

Verteilung der Biogasanlagen in Deutschland in 2022



3. Die Herstellung von Biogas



3. Die Herstellung von Biogas

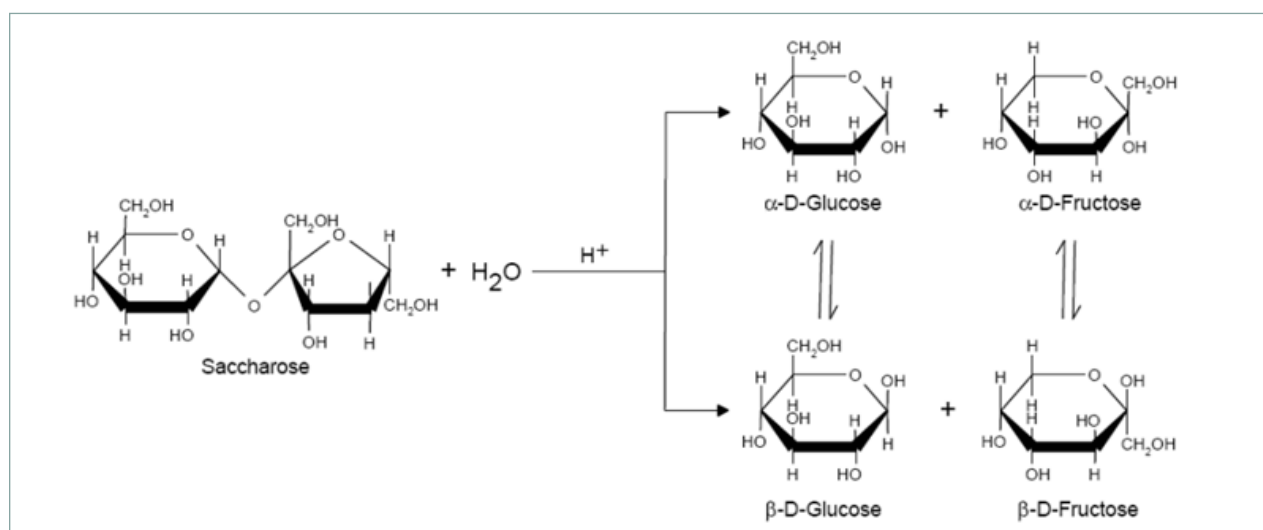
Biogas entsteht aus organischer Masse in einem biologischen Prozess, der unter Ausschluss von Sauerstoff stattfindet (anaerobe Vergärung). Dieser Vorgang erfolgt z.B. auch in Pansen von Wiederkäuern, in Mooren oder Güllegruben. Dabei bauen Bakterien das Material ab und setzen Gas als Stoffwechselendprodukt frei. Der Prozessverlauf der anaeroben Vergärung, d.h. der Entstehungsprozess des Biogases, kann in vier Stufen oder Phasen unterteilt werden:

3.1 Vier Phasen der Vergärung

1. Stufe: Hydrolyse

Hydrolyse nennt man die Spaltung einer chemischen Verbindung durch die Reaktion mit Wasser. Hydrolytische Bakterien setzen Enzyme frei, die das Material auf biochemische Weise zersetzen (wie bei der Verdauung von Zucker im Darm).

Komplexe Verbindungen des Ausgangsmaterials werden in einfachere Verbindungen zerlegt: Fette → Fettsäuren; Eiweiße → Aminosäuren; Kohlenhydrate → Einfachzucker. (Schattauer, Weiland; 2009, S.25)



2. Stufe: Acidogenese (Versäuerungsphase)

In dieser säurebildenden Phase werden die gelösten Stoffe der Hydrolyse von den Bakterien zu organischen Säuren (Butter-, Essig- und Propionsäure), Wasserstoff, Alkoholen, Aldehyden, Kohlenstoffdioxid und Gasen wie Schwefelwasserstoff und Ammoniak abgebaut.

Dieser Prozess erfolgt solange, bis die Bakterien von ihren Abbauprodukten in ihrem Abbauprozess durch den niedrigen pH-Wert gehemmt werden. Die Bakterien in der Hydrolyse und Acidogenese können sowohl in Umgebungen mit als auch ohne Sauerstoff leben. (Karpenstein-Machan; 2005, S.25)

3. Stufe: Acetogenese (Essigsäurebildung)

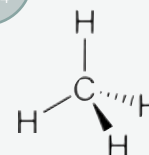
Die Produkte der 2. Stufe werden u.a. zu Essigsäure (CH₃COOH), Kohlendioxid (CO₂) und Wasserstoff (H₂) umgewandelt. (Schattauer, Weiland; 2009, S.25)

4. Stufe: Methanogenese (Methanbildung)

Methanogene Bakterien setzen Kohlendioxid, Essigsäure und Wasserstoff zu Methan um.

Methan - ein Kohlenwasserstoff

Methan-Moleküle bestehen nur aus Kohlenstoff-Atomen und Wasserstoff-Atomen. Allgemein bezeichnet man diese Verbindungen als Kohlenwasserstoffe. Methan ist der einfachste Kohlenwasserstoff (Alkan) mit der Molekülformel CH₄.



Die Zusammensetzung des Biogases hängt stark von den eingesetzten Substraten ab.

Im Allgemeinen besteht es etwa:

- zu 50-75 % aus Methan,
- zu 30-40 % aus Kohlendioxid,
- in geringen Mengen aus Wasser, Schwefelwasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Ammoniak und Wasserstoff, deren Anteil gewöhnlich unter 2 % liegt.

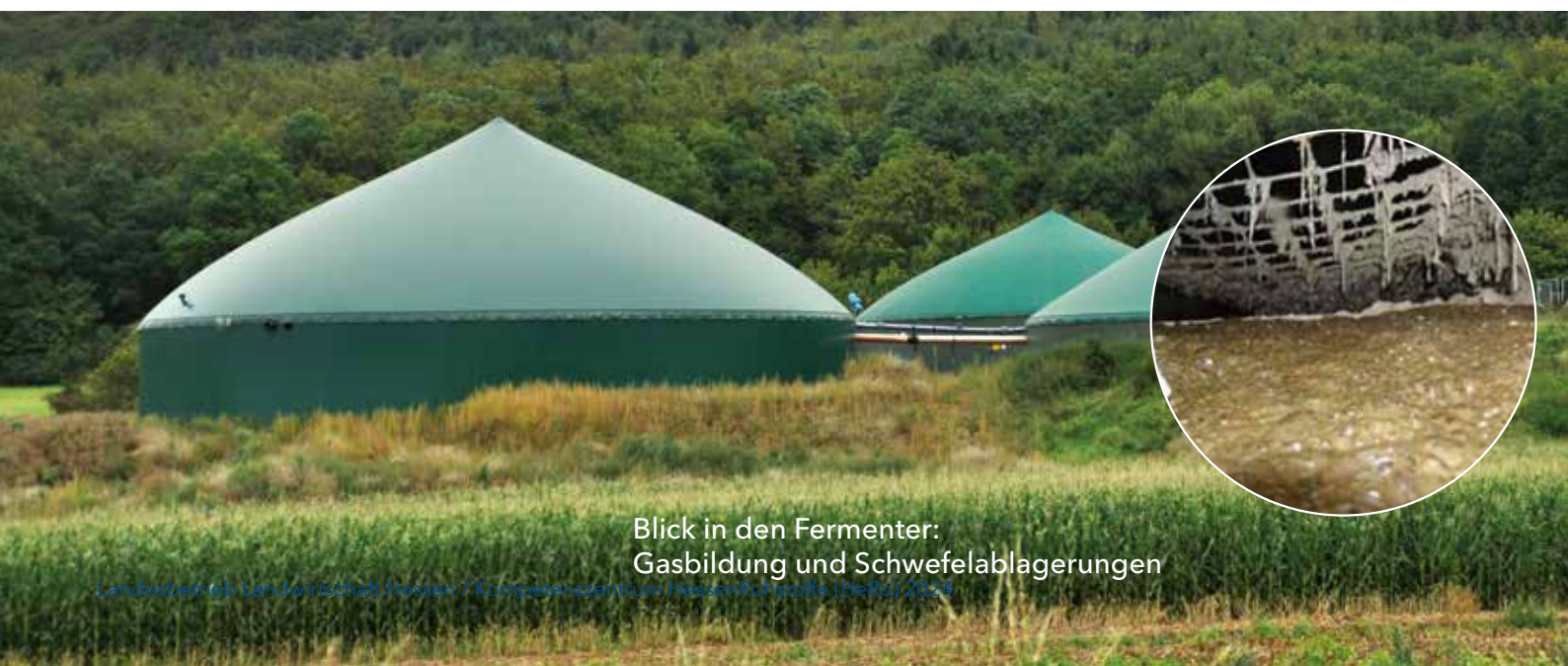
(Faustzahlen Biogas, KTBL)

Zum Vergleich: → Erdgas hat einen Methananteil von bis zu 98%. Je höher der Methananteil, desto höher ist der Brennwert.

3.2 Steuerung des Gärungsprozesses

Damit sich die Bakterien 'wohlfühlen', d.h. ihre Arbeit erledigen und viel Biogas erzeugen, wird in der Regel regelmäßig 'gefüttert', also neue Biomasse zugeführt, umgerührt und geheizt. Es darf aber auch nicht zu viel Substrat zugefüttert werden, da sonst durch die schnell arbeitenden Bakterien der Hydrolyse und Acidogenese zu viel Säure produziert wird, die von den langsamer arbeitenden Bakterien der Methanogenese nicht rechtzeitig abgebaut werden kann. Im ungünstigsten Fall kommt der gesamte Prozess zum Erliegen, da das Milieu für die Bakterien zu sauer geworden ist.

Anlagenbetreibende prüfen regelmäßig verschiedene für die Biogasentstehung bedeutende Parameter wie pH-Wert, Temperatur, produzierte Gasmenge und -zusammensetzung etc. Treten Unregelmäßigkeiten auf, erfolgt eine Analyse des Fermenterinhalt und ein Gegensteuern.



Blick in den Fermenter:
Gasbildung und Schwefelablagerungen

3.3 Funktionsweise einer landwirtschaftlichen Biogasanlage

Wenn Gülle vergoren werden soll, wird diese mit Hilfe von Pumpen aus dem Stall zunächst in einen Sammelbehälter – auch Vorgrube genannt – eingebracht. Pflanzliche Substrate werden mehrmals täglich über spezielle Eintragungssysteme mittels Förderschnecken in den Fermenter gefüllt. Die gleiche Menge, die dem Fermenter an frischem Substrat zugeführt wird, fließt an vergorenem Material in den Nachgärbehälter ab. Dort geht der Prozess weiter, bis annähernd alles Substrat umgesetzt ist.

Das Gärsubstrat wird mit Hilfe von Rührwerken ständig gemischt und durch Wand-/Bodenheizung auf eine Temperatur von 35–40 °C gebracht. Nachdem die Biogasbildung im Nachgärer abgeschlossen ist, folgt die Lagerung im Gärrestlager. Der Prozess, den die Substrate vom Eintragungssystem bis zum Gärrestlager durchlaufen, dauert etwa 150 Tage.

Das erzeugte Biogas wird in der Haube des Fermenters gespeichert. Über dieser Gashaube befindet sich eine weitere Haube, welche als Dach von außen zu erkennen ist. Die Spannung dieses Daches kommt jedoch nicht von dem erzeugten Gas, sondern wird von ein oder zwei Gebläsemotoren erzeugt, die die Haube permanent mit Luft befüllen.

Wie in der Grafik auf der folgenden Seite zu erkennen ist, wird in der Regel eine Holzkonstruktion als Fermenterdecke genutzt. Dies bietet den Vorteil, dass sich der bei der Gasproduktion entstandene Schwefel an den Holzbalken absetzt und mit der Zeit wieder in den Fermenter fällt. Schwefel schädigt bei der Verbrennung die Motoren im Blockheizkraftwerk. Damit das nicht passiert, wird das Gas zur weiteren Reduktion des Schwefels durch einen Kohlefilter geleitet. Das unter der Haube angesammelte Biogas wird zunächst entfeuchtet und dann über eine Gasleitung dem Blockheizkraftwerk zugeführt, welches Strom und Wärme erzeugt.



Abgedecktes Silolager



Direkte Befüllung des Fermenters mit festem Substrat



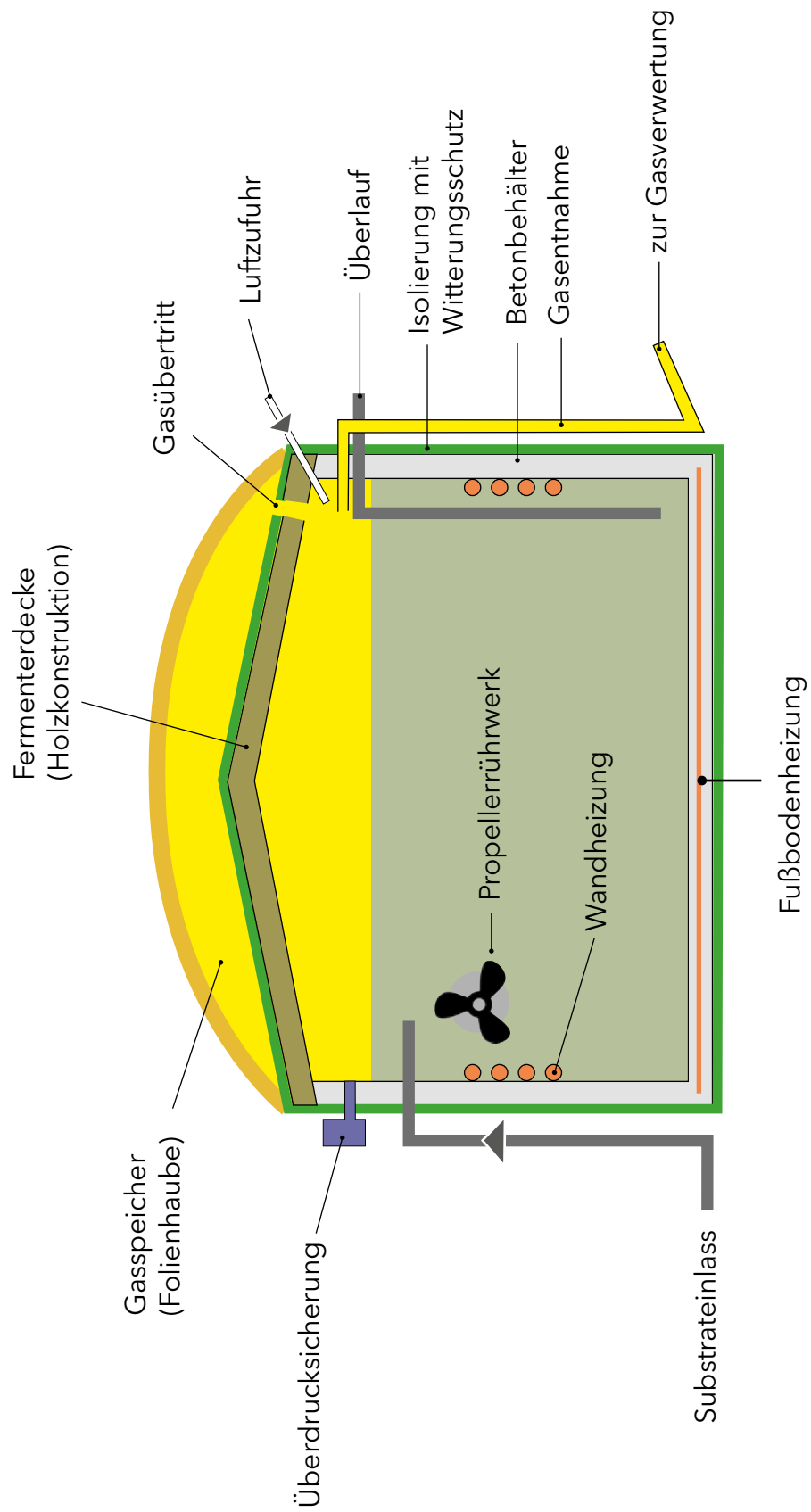
Fermenter: Kernstück der Biogasanlage



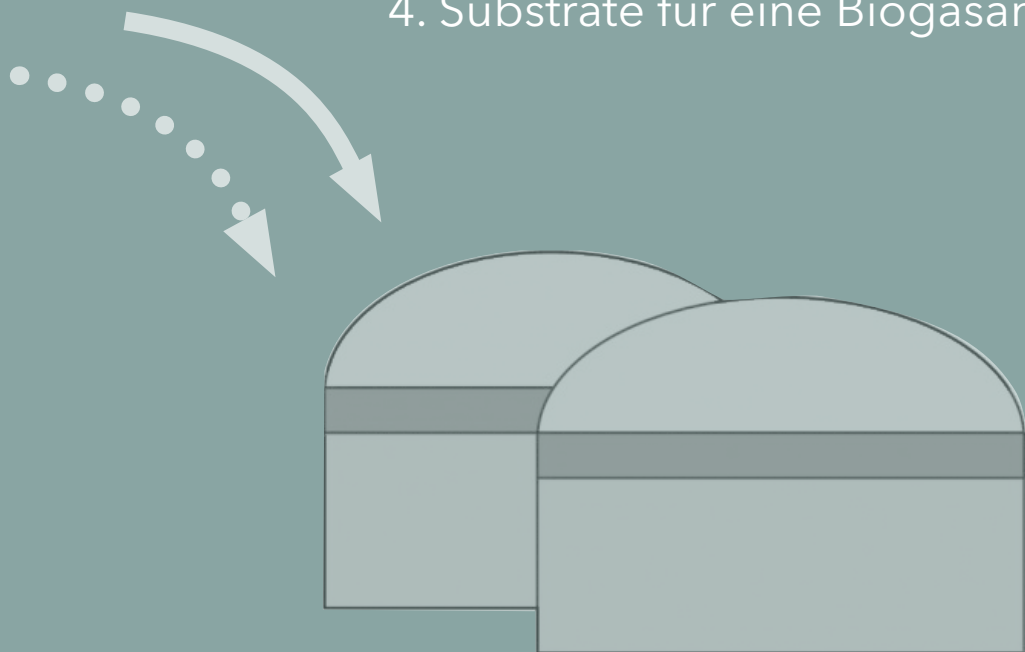
Gärrestlager



Stehender Fermenter (Rührkessel)



4. Substrate für eine Biogasanlage



4. Substrate für eine Biogasanlage

Ein klassischer landwirtschaftlicher Betrieb mit Milchvieh baut auf seinen Grünland- und Ackerflächen Futter für die Tiere an. Sie liefern das Substrat für den Betrieb einer Biogasanlage, nämlich Gülle und Mist. Neben der tierischen Biomasse fügt man zur Steigerung des Biogasertrags dem Fermenter nachwachsende Rohstoffe als Silage bei (z.B. die Energiepflanze Mais). Weitere Ausgangsstoffe zur Biogasgewinnung können Bioabfälle wie Speisereste und Grünschnitt, Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion, etc. sein. Die Biogasanlage muss für den Einsatz der vorgesehenen Substrate genehmigt sein.

Silage

Energiepflanzen wie z.B. Mais, Getreide, Zuckerrüben oder Wildpflanzenmischungen werden speziell für den Einsatz in Biogasanlagen angebaut. Die Pflanzen werden geerntet und zu Silage verdichtet in einem eigenen Silo gelagert.

Damit die wertvolle Energie in der Grünmasse über das Jahr nicht verloren geht, wird die Silage luftdicht abgedeckt. Es setzt eine Milchsäuregärung ein, die den Restzucker in den Pflanzen zu Milchsäure umsetzt und dadurch das Material säuert. Die Milchsäuregärung senkt den pH-Wert und wirkt so konservierend; dies nutzt man auch für die Konservierung von Futtermitteln in der Milchviehhaltung und für verschiedene Lebensmittel wie Sauerkraut oder Salami.

Ist dieser Vergärungsprozess nach etwa sechs Wochen abgeschlossen, kann die Silage verwendet werden und ist haltbar für mehr als ein Jahr.



Silolager:
verdichtet und abgedeckt

4.1 Warum können Pflanzen Energie liefern?

Biomasse ist gespeicherte Sonnenenergie. Als Biomasse werden alle durch Pflanzen und Tiere erzeugten organischen Substanzen bezeichnet (nachwachsende Rohstoffe und organischer Abfall).

Fast alle Pflanzen betreiben Fotosynthese. Ohne diesen Prozess wäre kaum Leben auf unserem Planeten möglich. Die Fotosynthese findet im Blattgrün (Chlorophyll) der Pflanzen statt. Hier wird aus der Luft aufgenommenes CO_2 mit Hilfe der energiereichen Sonnenstrahlung in Zuckermoleküle umgewandelt. Mit diesen Zuckermolekülen, in denen die Energie der Sonne chemisch gebunden ist, kann die Pflanze wachsen und ihre Biomasse aufbauen, die dann als Substrat in der Biogasanlage vergoren wird.

Von dieser gespeicherten Sonnenergie profitieren Mensch und Tier natürlich auch in Form von pflanzlichen Nahrungs- bzw. Futtermitteln. Allerdings wird dabei der Biomasse über die Verdauung nicht alle Energie entzogen. Ein Teil der Energie wird unverbraucht mit Kot und Harn wieder ausgeschieden. Die Bakterien in der Biogasanlage verdauen einen weiteren Teil dieser gebundenen Energie und setzen dabei das gewünschte Biogas als „Abfallprodukt“ frei.

Mit der Verbrennung im Blockheizkraftwerk wird die chemisch gebundene Sonnenenergie dann in thermische und elektrische Energie umgewandelt.

Schema der Fotosynthese

Kohlendioxid (CO₂) Wasser (H₂O)

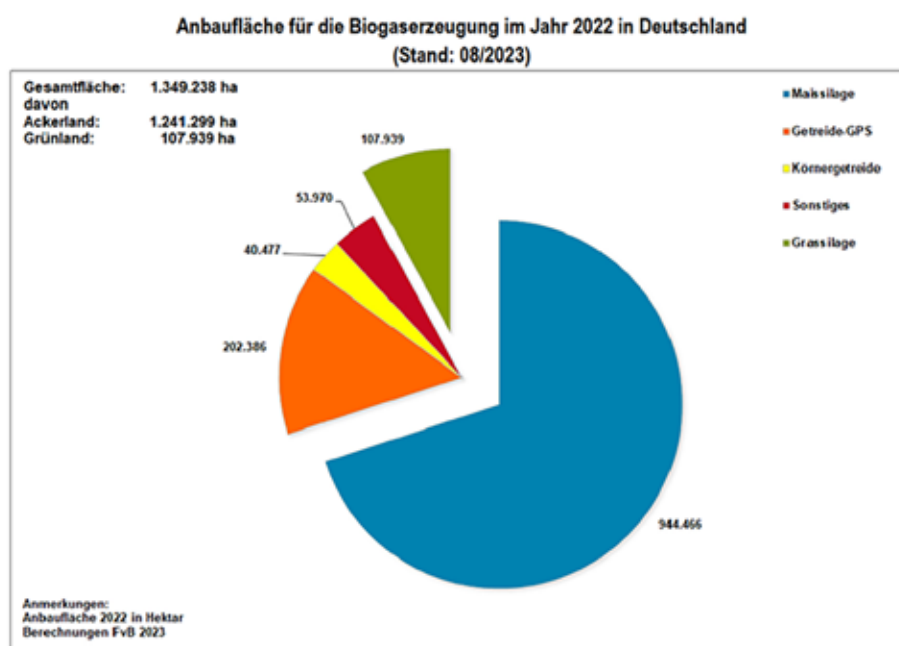
Zucker (C₆H₁₂O₆) Sauerstoff (O₂)

Biomasse
= gespeicherte Sonnenenergie

Als Biomasse werden organische Substanzen wie Pflanzen sowie pflanzliche und tierische Reststoffe bezeichnet. CO₂ wird photosynthetisch aufgenommen und in Form energiereicher Kohlenhydrate gespeichert (CO₂-Speicher).

Deutschland verfügt über rund 16,5 Mio. Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche. Davon werden ca. 1,35 Mio. Hektar für den Anbau von Energiepflanzen zur Biogasherstellung genutzt (Quelle: Fachverband Biogas e. V.).

Auf etwa 8,18 % der Ackerfläche Deutschlands wird Silomais für die Biogaserzeugung angebaut, da dieser pro Hektar die höchste Methanausbeute liefert und somit das kostengünstigste Biogassubstrat vom Acker darstellt. Bezogen auf die Anbaufläche für die Biogaserzeugung liegt der Anteil von Mais bei ca. 70 %, wie in der folgenden Grafik dargestellt:



Eine relativ neue Kultur für die Biogaserzeugung ist die Durchwachsene Silphie. Die gelbblühende Pflanze stammt aus den USA, Kanada und Russland. Die Besonderheit ist, dass diese Pflanze, einmal gesät, ab dem 2. Jahr über mehrere Jahre hinweg geerntet werden kann, da sie in den folgenden Vegetationsperioden erneut austreibt bis zu einer Wuchshöhe von 2-3 Metern. So entfallen die jährlichen Maschineneinsätze für Bodenbearbeitung und Aussaat.

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Bestände über viele Wochen in einer eher blütenarmen Zeit blühen (Blütezeit: Juli bis September) und somit für Bienen und weitere Insekten ein Nektar- und Pollenangebot liefern. Auf guten Standorten können Methanerträge erzielt werden, die etwa 15-20 % unter dem von Silomais liegen.

Die Durchwachsene Silphie ist bei Bienen sehr beliebt.










Durchwachsene Silphie im blühenden Bestand und als Blattrosette



4.2 Methanausbeuten verschiedener nachwachsender Rohstoffe

Die Tabelle zeigt, dass beispielsweise von einem Hektar Mais so viel Biogas bzw. Methan gewonnen werden kann, um damit ca. 4,5 Haushalte mit Strom zu versorgen. Durch die zusätzliche Nutzung der Abwärme des Blockheizkraftwerkes damit zusätzlich ca. 2 Haushalte mit Wärme.

	Methanausbeute BHKW-Wirkungsgrad	Mittelwerte	Anzahl versorgter Haushalte	
			mit Strom	mit Wärme
 1 ha Silomais (40-60 t FM**)	3.956-5.934 Nm ³ Methan ≈ 14.985-22.477 kWh _{el} /ha*	4.945 Nm ³ Methan ≈ 18.731 kWh _{el} /ha*	4,68	2,07
 1 ha Zuckerrüben (55-75 t FM**)	3.523-4.803 Nm ³ Methan ≈ 13.343-18.195 kWh _{el} /ha*	4.163 Nm ³ Methan ≈ 15.769 kWh _{el} /ha*	3,94	1,75
 1 ha Getreide-GPS (30-50 t FM**)	2.884-4.807 Nm ³ Methan ≈ 10.926-18.210 kWh _{el} /ha*	3.845,5 Nm ³ Methan ≈ 14.568 kWh _{el} /ha*	3,64	1,61
 1 ha Durchwachsene Silphie (45-60 t FM**)	2.871-3.828 Nm ³ Methan ≈ 10.874-14.499 kWh _{el} /ha*	3.349,5 Nm ³ Methan ≈ 12.686,5 kWh _{el} /ha*	3,17	1,41
 1 ha Sudangras/Sorghum (38-58 t FM**)	2.392-3.759 Nm ³ Methan ≈ 9.061-14.238 kWh _{el} /ha*	3.075,5 Nm ³ Methan ≈ 11.649,5 kWh _{el} /ha*	2,91	1,29
 1 ha Grünland (23-43 t FM)	2.001-3.808 Nm ³ Methan ≈ 7.579-14.424 kWh _{el} /ha*	2.904,5 Nm ³ Methan ≈ 11.001,5 kWh _{el} /ha*	2,75	1,22
 1 ha Getreidekorn Roggen (4,3-6,8 t FM**)	1.390-2.179 Nm ³ Methan ≈ 5.264-8.255 kWh _{el} /ha*	1.784,5 Nm ³ Methan ≈ 6.759,5 kWh _{el} /ha*	1,69	0,75





Quellen: Biomasse-Verordnung (2012), Faustzahlen Biogas (KTBL, 2013), Leitfaden Biogasaufbereitung und -einspeisung (FNR, 2014), Stromerzeugung aus Biomasse (DBFZ, 2014)

* BHKW-Wirkungsgrad 38 %el. 62 % thermisch

** 12 % Siliverluste berücksichtigt, bei Zuckerrüben 15 % (Lagune), bei Getreidekorn Roggen 1,4 %

*** Nach dem Statistischen Bundesamt beträgt die durchschnittliche Wohnfläche je Wohnung 91,8 m². Pro m² werden jährlich 13 Liter Heizöl zum Heizen benötigt. Also insgesamt 1.193,4 Liter Heizöl/Wohnung. Der Heizwert von Heizöl und Methan ist identisch, doch aufgrund der Wirkungsgradverluste des BHKW muss der Wert ungefähr durch 2 dividiert werden.

4.3 Methanausbeute verschiedener Wirtschaftsdünger

	Milchkuh (17m ³ Gülle/Tierplatz u. Jahr)	289 Nm ³ Methan ≈ 1.095 kWh _{el}
	Mastschwein (1,6 m ³ Gülle/Tier u. Jahr)	19 Nm ³ Methan ≈ 73 kWh _{el}
	Mastrind (2,8 t Festmist/Tierplatz u. Jahr)	185 Nm ³ Methan ≈ 562 kWh _{el}
	Reitpferd (11,1 t Festmist/Tierplatz u. Jahr)	388 Nm ³ Methan ≈ 1.472 kWh _{el}
	Legehennen (2 m ³ Rottemist/100 Tierplätze u. Jahr)	164 Nm ³ Methan ≈ 621 kWh _{el}

Neben nachwachsenden Rohstoffen sind Wirtschaftsdünger in den meisten Biogasanlagen ein Hauptbestandteil. Die dortigen Methanerträge sind der Tabelle links zu entnehmen.



Mit der Gülle von 4 Milchkuhen kann man so viel Biogas erzeugen, um einen 4 Personenhaushalt ein Jahr mit Strom zu versorgen.

Quelle: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>



Energiepflanzen zur Biogaserzeugung



Grundlage der Angaben:

- Quelle: IFR
- Bei Ertrag 100 % Steuerverlust berücksichtigt, bei Zuckerrüben 75 % (Bogner), bei Getreidekörnern 100 %
- Methanertrag ist ein Mittelwert
- Anzahl Versorgung Haushalte Strom: Angebotsmenge wird wie 4 Personenhaushalt mit einem jährlichen Verbrauch von 4.000 kWh, Berechnung erfolgt für aufgrund EN609 Wirkungsgrad von 38 %
- Anzahl Versorgung Haushalte Wärme: Ausgehend von einem statistischen Mittelwert, der durchschnittlich 1.191,4 Liter Heizöl pro Wohnung verbräut liegt

Weitere Informationen zum Thema:



FM = Frischmasse (Masse der nach geernteter und gewaschener Pflanze)
 Ha = Hektar
 Nm³ = Normkubikmeter (Volumeninhalt zum Vergleich von Gasemengen, die bei unterschiedlichen Drücken und Temperaturen vorliegen)



→ Poster in DIN A1-Format ist Bestandteil des Handbuches in der Print-Version und kann auch separat gegen Portogebühren bestellt werden über: hero.bs@llh.hessen.de
 Alle Poster zum Thema Biogas: <https://llh.hessen.de/umwelt/biorohstoffnutzung/umweltbildung/bildungsmaterialien/>

4.4 Methanausbeute von Bioabfällen

Auch Bioabfälle sind geeignet für die Erzeugung von Biogas. Für die Vergärung in einer Biogasanlage werden vor allem

- Bioabfall aus Haushalten und Gewerbe,
- Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung,
- Speiseabfälle aus Kantinen und Restaurants,
- Grünschnitt und Gartenabfälle aus Parks und Gärten verwendet.

Holzige Abfälle sind aufgrund des hohen Anteils an Lignin nicht für die Vergärung geeignet. Sie werden entweder im Biomasseheizkraftwerk energetisch verwertet oder werden kompostiert zur Herstellung von Qualitätskomposten.

Wie bei den anderen bereits dargestellten Substraten wird auch der hier anfallende Gärrest als Dünger in der Landwirtschaft verwendet.

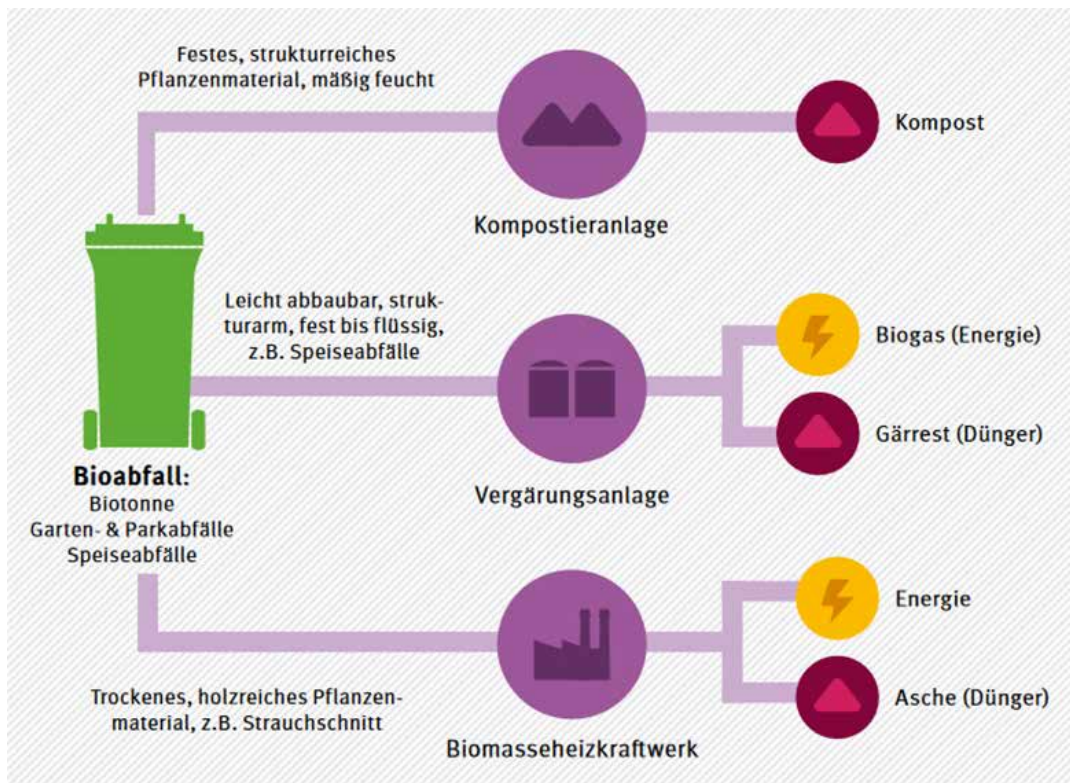
Da die Zusammensetzung von Bioabfällen und Speiseresten je nach Herkunft bzw. Zusammensetzung sehr unterschiedlich ist, sei hier beispielhaft der Biogasertrag einiger Stoffe angegeben:

Substrat	Biogasertrag m ³ /t FM	Methangehalt Vol.-%
Bioabfall (40% TM)	123,0	60,0
Speisereste (16% TM)	94,7	60,0
Altbrot (65% TM)	497,2	53,0
Obsttrester (22% TM)	112,1	52,0

Quelle: KTBL, Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas, <https://daten.ktbl.de/> / 20.05.2020



Schematische Darstellung der Verwertungswege von Bioabfall



Quelle: Bundesumweltamt, www.umweltbundesamt.de / 05.05.2020

4.5 Wieviel Substrat benötigt eine Biogasanlage?

Der Einsatz und die Menge von Substraten für eine Biogasanlage ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Zuallererst natürlich von der Größe der Anlage - je größer die Anlage, desto mehr Substrate werden benötigt. Ein weiterer Punkt ist die Verfügbarkeit der Substrate. Sinkt z.B. die Anzahl an Tieren und damit Gülle bzw. Mist, steigt der Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen.

Seit 2012 spielen Gülle-Kleinanlagen bei Neuanlagen die wichtigste Rolle. Dort muss Gülle zu mindestens 80 Masse-% eingesetzt werden. Ergänzend können nachwachsende Rohstoffe und andere Biomasse eingesetzt werden. Gülle-Kleinanlagen passen sehr gut zu landwirtschaftlichen Betrieben mit größerer Milchviehhaltung.



Silagelager neben einer Biogasanlage



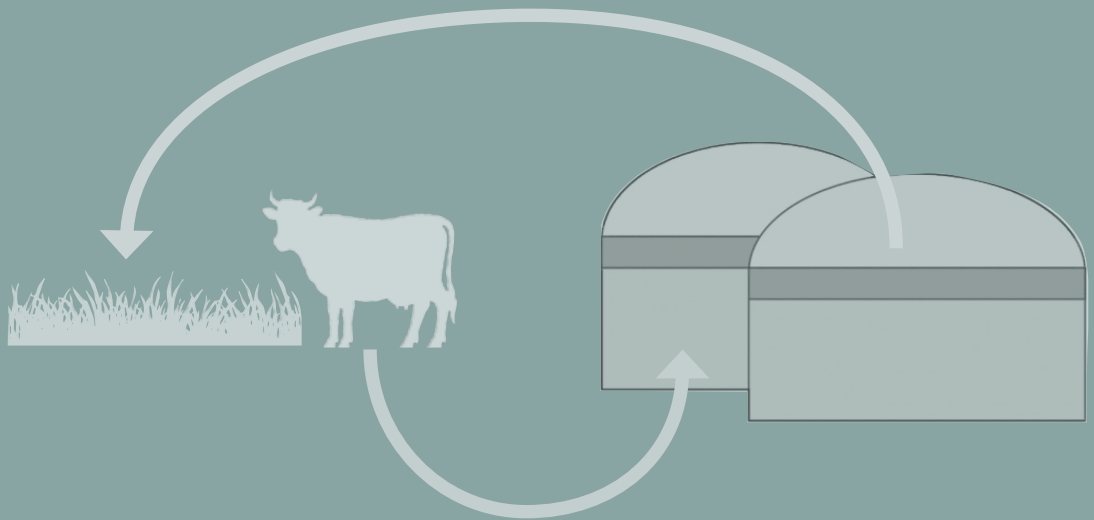
Da steckt Energie drin!

Substrate für die Biogaserzeugung



→ Poster in DIN A1-Format ist Bestandteil des Handbuches in der Print-Version und kann auch separat gegen Portogebühren bestellt werden über: hero.bs@llh.hessen.de
Alle Poster zum Thema Biogas: <https://llh.hessen.de/umwelt/biorohstoffnutzung/umweltbildung/bildungsmaterialien/>

5. Gärrestverwertung



5. Gärrestverwertung

Nach Abschluss der Methanbildung bleibt als Restsubstrat ein wässriges Gemisch von nicht vollständig abgebauten organischen Substanzen (z.B. Lignin, Zellulose) und anorganischen Substanzen (z.B. Sand und mineralisierte Nährstoffe) übrig. Dieses Restsubstrat wird als Gärrest bezeichnet.

Die Verwendung des Gärrests als Dünger auf die substrat- oder futterliefernden Flächen führt zu einem geschlossenen Nährstoffkreislauf. Gärreste aus der Landwirtschaft werden unter Beachtung der Düngeverordnung eingesetzt. Werden Bioabfälle in der Biogasanlage vergoren, unterliegt dies zusätzlich der Bioabfallverordnung.

Gärrest als landwirtschaftlicher Dünger hat viele Pluspunkte

Gärreste können nicht einheitlich betrachtet bzw. beurteilt werden, da die düngerelevanten Inhaltstoffe von den vergorenen Substraten und der angewandten Technik abhängen. Detaillierte Aussagen sind nur durch eine jeweilige Analyse möglich.

Dennoch lässt sich für die häufigen Gülle-/Nawaro-Biogasanlagen tendenziell folgendes festhalten:

- Im Vergleich zu Mist und Gülle enthält der Gärrest mehr mineralisierten und damit direkt pflanzenverfügbaren Stickstoff – den wichtigsten Pflanzennährstoff.
- Im Umkehrschluss ist der Kohlenstoffgehalt reduziert. Gärreste weisen damit ein recht enges C:N-Verhältnis auf. Gegenüber Mist haben sie damit eine geringere Humuswirkung. Im Vergleich zur Gülle bleibt es trotzdem ähnlich, da die verbliebenen C-Verbindungen sehr stabil sind und nach dem Ausbringen nur langsam abgebaut werden.
- Mit der höheren Mineralisierung der N-Verbindungen steigt die Gefahr der N-Verluste über Ammoniak während der Ausbringung. Über pH-Wert, Wetter und Ausbringungstechnik kann hier gegengesteuert werden.
- Da der Gärrest recht dünnflüssig ist, haftet er weniger an den Pflanzen, was Verätzungsschäden verringert. Er dringt zudem schneller in den Boden ein.
- Die geruchliche Belastung bei der Ausbringung von Gärresten auf landwirtschaftliche Flächen ist im Vergleich zur Gülle geringer.
- Der Biogasprozess hat vielfach eine hygienisierende Wirkung. Verschiedene pathogene Keime/Parasiten werden abgetötet oder reduziert. Pilzsporen wie auch andere pflanzliche Krankheitserreger werden verringert, Unkrautsamen überleben kaum.
- Gärreste sind in Ackerbauregionen begehrt. Dafür müssen die enthaltenen Nährstoffe zu Düngemitteln aufbereitet werden. Landwirtschaftliche Biogasanlagen werden in diesem Zusammenhang zu Nährstoffdrehkreisen. Sie nehmen von viehhaltenden Betrieben Mist und Gülle auf und veredeln diese Reststoffe zu wertvollen Düngemitteln.



Bodennahe Ausbringung von Gärrest
Foto: © Agrarservice Medelby GmbH

5.1 Kreislaufwirtschaft bei Biogasanlagen

Biogasanlagen lassen sich ideal in den Kreislauf der Landwirtschaft integrieren.

Die Exkremente der Nutztiere können vergoren werden, bevor diese wieder auf die Flächen als Dünger ausgebracht werden, auf denen wiederum das Futter für die Tiere angebaut wird. Ebenso können damit Anbauflächen für Energiepflanzen wie Mais gedüngt werden, welcher ausschließlich zur Biogasproduktion angebaut wird.

Auch für ökologisch wirtschaftende Ackerbaubetriebe kann sich der Betrieb oder die Zusammenarbeit mit einer Biogasanlage positiv darstellen. Der Anbau von Klee gras spielt in ökologisch wirtschaftenden Betrieben eine bedeutende Rolle: Als Leguminosenart fixiert es Stickstoff im Boden, trägt zur Humusreproduktion bei, fördert bei regelmäßigem Schnitt das Bodenleben, reduziert die Verunkrautung und steigert die Erträge in den Folgefrüchten. Diese Vorteile kommen dann voll zum Tragen, wenn es geschnitten, abgefahren und als Futter verwendet wird. Verbleibt es als Mulch auf der Fläche, kommt es zu einer Senkung der Stickstofffixierung und Erhöhung von Lachgasemissionen. Deshalb ist die sinnvolle Verwertung innerhalb einer Kreislaufwirtschaft für Betriebe ohne Tierhaltung schwierig. Einzelbetrieblich muss geprüft werden, unter welchen Voraussetzungen der Verkauf von Klee gras für die Vergärung in einer Biogasanlage eine sinnvolle Variante darstellen kann. Damit übernehme in viehlosen ökologischen Ackerbaubetrieben die Biogasanlage die grasverwertende Rolle der Kühe.

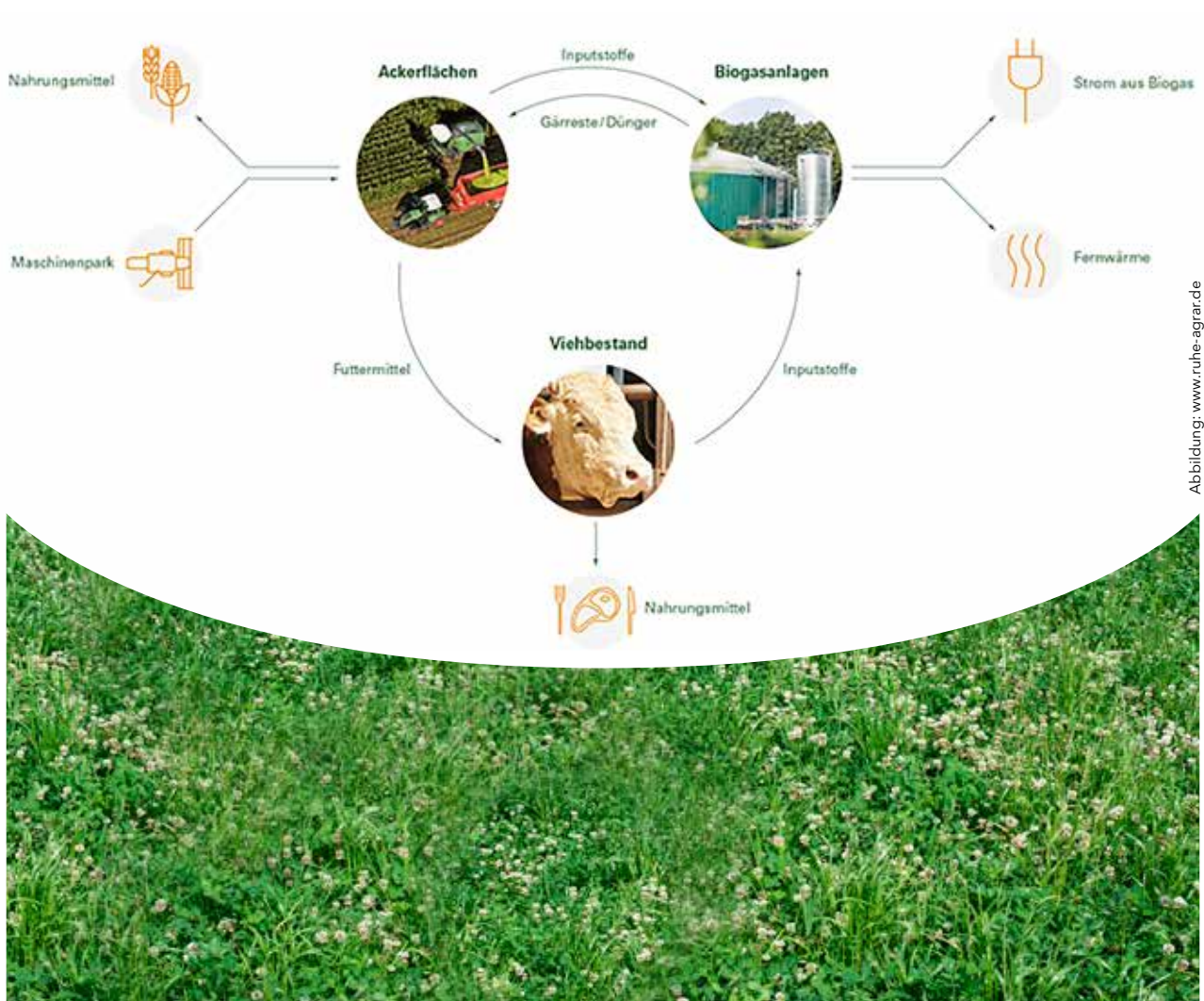
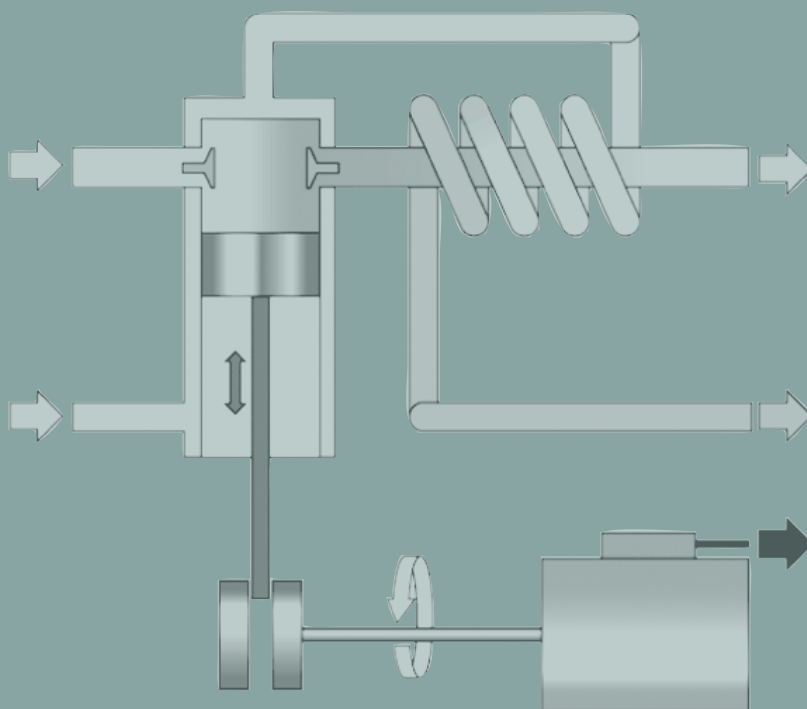


Abbildung: www.ruhe-agrar.de

Klee gras

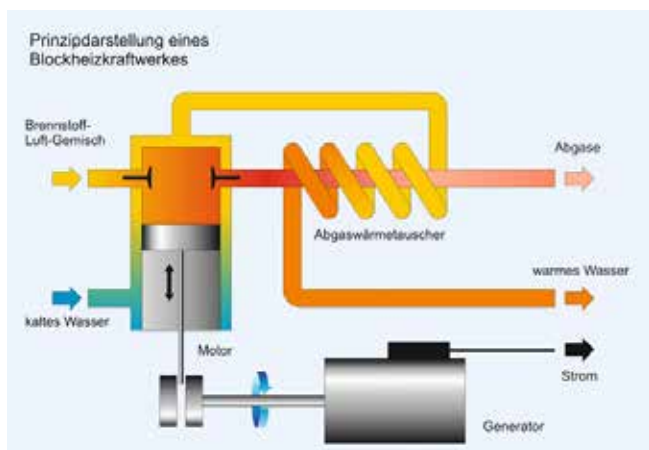
6. So wird Biogas genutzt



6. So wird Biogas genutzt

6.1 Nutzung durch Kraft-Wärme-Kopplung

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator zur Erzeugung von Strom antreibt. Die Abwärme des Verbrennungsmotors aus der Kühlung und dem Abgas wird zur Beheizung des Fermenters und wenn möglich für Gebäude, Wohnhäuser, Gewächshäuser oder andere Betriebsstätten genutzt.



Verbrennung von Methan: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Wärme}$

Kinetische Energie

Auch Bewegungsenergie genannt von griechisch *kinesis* = Bewegung

Thermische Energie

Ist die Energie, die in einem Stoff aufgrund der Anordnung und Bewegung der Atome oder Moleküle gespeichert ist. Umgangssprachlich auch als Wärmeenergie bezeichnet.

Thermische Energie wird zum Teil (ca. 55%) in kinetische Energie umgewandelt, die den Generator über eine Antriebswelle antreibt. Durch elektromagnetische Induktion wird im Generator die kinetische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Die im Biogas enthaltene Energie kann zu etwa 40 % in elektrische Energie umgewandelt werden.

Ein Dynamo am Fahrradreifen hat die gleiche Aufgabe wie ein Generator, er nimmt Bewegungsenergie auf und wandelt sie in elektrische Energie um. Diese wird zur Fahrradlampe geleitet und sorgt dafür, dass das Licht brennt.

Eine Maßeinheit für elektrische Energie ist die Kilowattstunde, die am Ende des Kapitels 6 im Exkurs erläutert wird.

6.2 Einspeisung in das Erdgasnetz

Erdgas hat je nach Fundstätte eine unterschiedliche Zusammensetzung. So variiert beispielsweise der Methangehalt zwischen 85% und 98% und der Anteil an (störendem) Kohlenstoffdioxid und Schwefelwasserstoff ist unterschiedlich. Deshalb wird Erdgas vor der Einspeisung in das Erdgasnetz qualitativ aufbereitet.

Auch Biogas kann - neben der Nutzung durch die Kraft-Wärme-Kopplung - in das Erdgasnetz eingespeist werden. Das Biogas muss hierfür speziell aufbereitet werden, damit es der Erdgasqualität entspricht. (Vergleiche Zusammensetzung Biogas, Seite 8)

6.3 Treibstoff für Kraftfahrzeuge

Bei Fahrzeugen, die Biogas als Treibstoff nutzen können, handelt es sich in der Regel um Erdgasfahrzeuge. Man unterscheidet hierbei zwischen monovalenter und bivalenter Betriebsweise. Monovalente Fahrzeuge werden ausschließlich mit Gas betrieben, während bivalente Fahrzeuge mit Gas oder Benzin angetrieben werden. Das Biogas muss für eine ausreichende Reichweite auf etwa 200 bar komprimiert werden, bevor es in Druckgasbehältern im Heck des Fahrzeuges gelagert wird.

Zur Aufbereitung müssen korrosiv wirkende Stoffe wie Schwefelwasserstoff und der Wasserdampf aus dem Biogas entfernt werden. Die Aufbereitung des Gases auf Erdgasqualität ist zu empfehlen. In Deutschland werden nur wenige Fahrzeuge mit Biogas betrieben, lediglich in der Schweiz und in Schweden wird Biogas schon seit längerer Zeit als Treibstoff für Busse und Lkws eingesetzt.

by-studio - stock.adobe.com



Erdgasnutzung am Küchenherd



Betankung Erdgasfahrzeug

DaniRodri - stock.adobe.com

Exkurs: Kilowattstunden und Stromverbrauch

Definition Kilowattstunde (kWh):

Die Kilowattstunde (kWh) ist eine Maßeinheit für Energie, die auch als elektrische Arbeit bezeichnet wird.

Eine Kilowattstunde entspricht der Menge an Energie, die eine Maschine mit einer Leistung von einem Kilowatt (1 kW = 1.000 Watt) innerhalb einer Stunde produziert oder benötigt.

Je länger also ein elektrisches Gerät läuft, desto mehr Arbeit oder Kilowattstunden (kWh) verbraucht es.

Formel:

Leistung (Watt) x Zeit (Stunden) = Energieverbrauch in Wattstunden (Wh),
dieser geteilt durch 1000 = Verbrauch in Kilowattstunden (kWh)



Die Leistung und der Verbrauch von Elektrogeräten, die mit einem Stecker an eine Steckdose angeschlossen sind, lassen sich mit Strommessgeräten ermitteln. Geräte, die direkt ohne Stecker ans Stromnetz angeschlossen sind (z.B. Elektroherd, Elektroheizungsanlagen, Deckenlampen) können damit nicht überprüft werden.

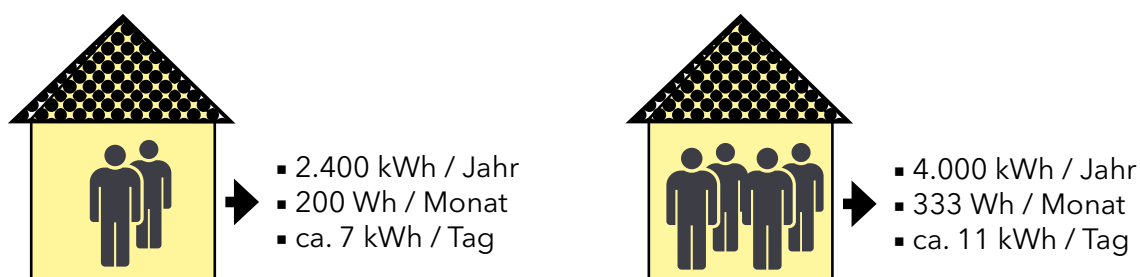
Was kann man mit einer Kilowattstunde Strom machen?

- 20 Tage lang den Fernseher in Stand-by-Betrieb lassen
- Zehn Stunden lang mit einer 100-W-Glühlampe einen Raum beleuchten
- 50 Stunden lang mit einer 20 Watt Energiesparlampe einen Raum beleuchten
- Drei Tage lang einen Kühlschrank der Effizienzklasse A++ nutzen
- Zwölf Stunden lang einen Kühlschrank der Effizienzklasse A nutzen
- Eine halbe Stunde Haare föhnen (Föhn mit 2000 Watt)
- 25 Minuten staubsaugen (Staubsauger 2400 Watt)
- 7 Stunden Fernsehen (TV Gerät 140 Watt)
- 5 Stunden am Computer arbeiten (Computer 200 Watt)

1 kWh?

Quellen: <https://www.e-wie-einfach.de/faq/faqs/was-bedeutet-kilowattstunde-kwh>
<https://swe-emmendingen.de/2011/08/10/wieviel-ist-eine-kilowattstunde/>

Wie viel Strom verbrauchen ein 2-Personen-Haushalt und ein 4-Personen-Haushalt durchschnittlich im Jahr?



Was kostete 1 kWh Strom 2023?

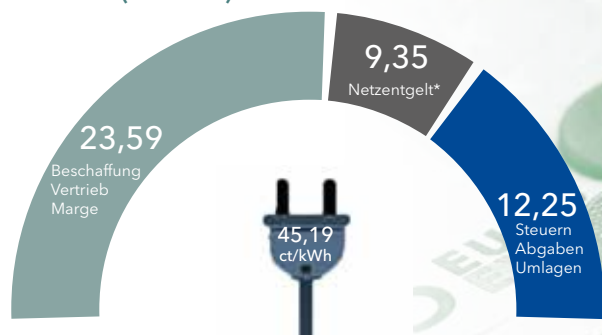
Der Preis für eine Kilowattstunde lag 2023 in Deutschland bei etwa 45,19 Cent.

Zum Vergleich: Im Jahr 2000 waren es nur rund 14 Cent.

Somit kostete eine halbe Stunde Föhnen (mit einem 2000 Watt Föhn) ca. 45,19 Cent.

Wie setzt sich der Strompreis zusammen?

Durchschnittlicher Haushaltskundenpreis Strom 2023 (ct/kWh)



*Netzentgelte inkl. Entgelt für Messstellenbetrieb

Quelle: www.bundesnetzagentur.de

Produktion und Verkauf von Strom einer Biogasanlage

Wenn es um die Größe einer Biogasanlage geht, ist häufig die Rede von einer 200 kW- oder 500 kW-Anlage - doch was bedeutet das eigentlich?

Eine 200 kW Anlage kann in einer Stunde 200 kWh Strom erzeugen. Die üblichen Betriebsstunden einer Biogasanlage, die in Dauerleistung betrieben wird, liegen zwischen 7.500 bis 8.500 Stunden pro Jahr. Anlagen, deren Betriebsweise flexibel der Stromerzeugung aus anderen Erneuerbaren Energien angepasst ist, erzielen weitaus geringere Betriebsstunden. Sie können dann arbeiten, wenn Strom aus Wind- und Sonnenenergie nicht verfügbar ist. Für den erzeugten Strom bekommen Anlagenbetreiber nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eine auf 20 Jahre feste Vergütung.

Strommix Deutschland: Anteil Ökostrom steigt

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in Deutschland ist in 2023 gestiegen und betrug 55 %.

Damit lieferten Ökostrom-Anlagen im Jahr 2023 rund 251,2 Terawattstunden Strom (Mrd. kWh).

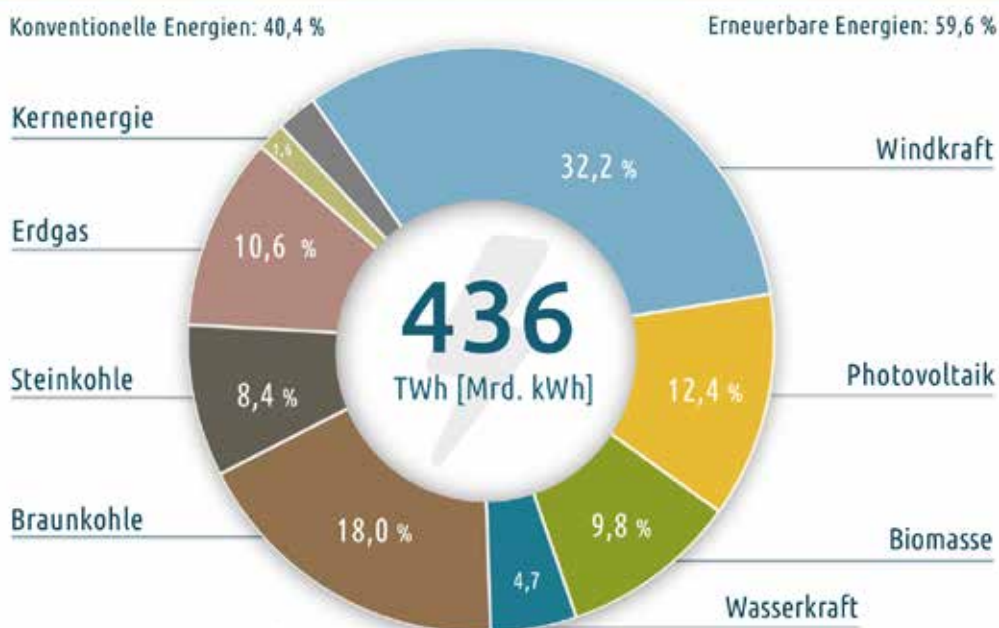
Aktuelle Stromerzeugung Deutschland – Strommix 2023

Energieträger	in TWh = Mrd. kWh
Braunkohle	77,5 TWh
Steinkohle	36,1 TWh
Kernenergie	6,7 TWh
Erdgas	45,8 TWh
Andere	9,6 TWh
Erneuerbare	260 TWh
davon sind	
Windenergie	138,6 TWh
Photovoltaik	53,5 TWh
Biomasse	42,2 TWh
Wasserkraft	20,4 TWh
Andere	5,2 TWh
Stromerzeugung ges.	436 TWh

Quelle: Fraunhofer ISE, Stand 01.01.2024

DER STROMMIX IN DEUTSCHLAND 2023

Anteil der Energieträger an der Stromerzeugung [netto]



Es wird die Nettoproduktion aller Kraftwerke dargestellt.

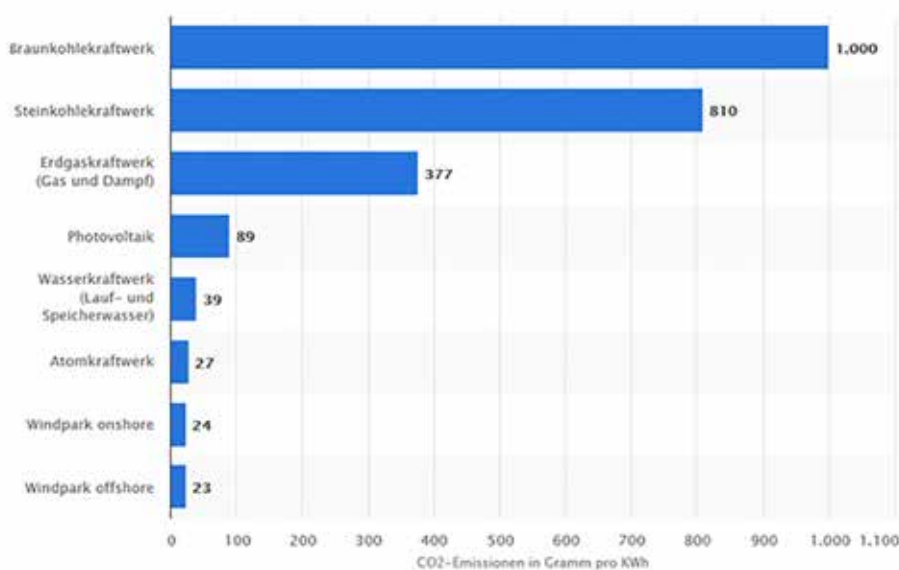
Daten: Fraunhofer ISE 2023 <https://strom-report.com/strom> STROM-REPORT

Quelle: <https://strom-report.com/strommix/#strommix-2023>

In der folgenden Grafik werden die CO₂-Emissionen verschiedener Energieträger dargestellt. Von den fossilen Energieträgern wird bei der Stromerzeugung mit Braunkohle ca. 1.000g, bei Steinkohle ca. 810g und bei Erdgas ca. 377g CO₂ pro kWh freigesetzt.

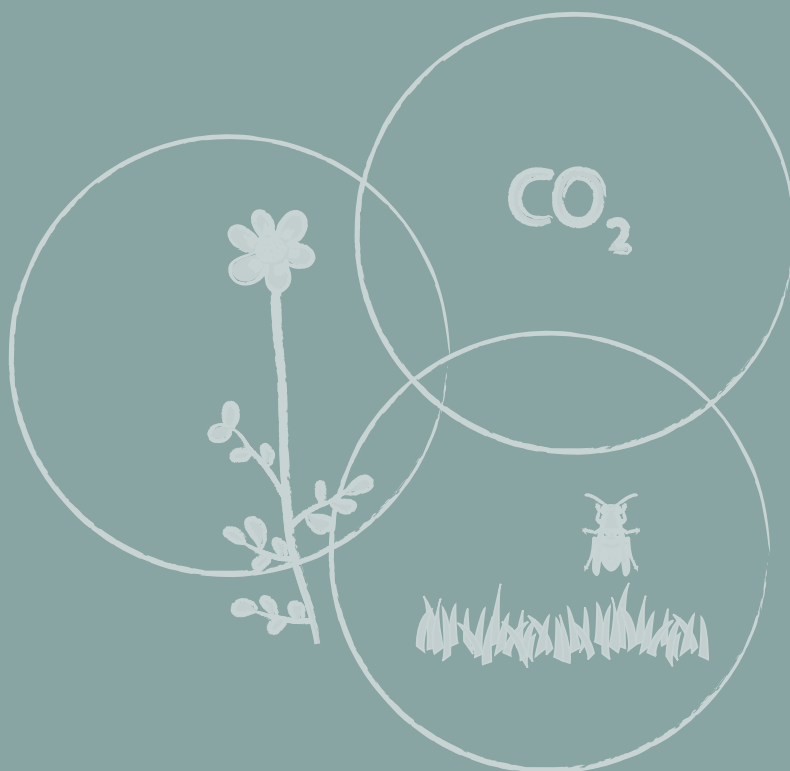
Das im folgenden Kapitel beschriebene Projekt des Biogas Forums Bayern kam zu dem Ergebnis, dass Biogasanlagen im Optimalfall 16g bis 470g CO₂ pro kWh freisetzen.

CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung in Deutschland nach Art der Erzeugung im Jahr 2010 (in Gramm pro Kilowattstunde)



<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/233868/umfrage/co2-emissionen-bei-der-stromerzeugung-nach-erzeugungsart/>

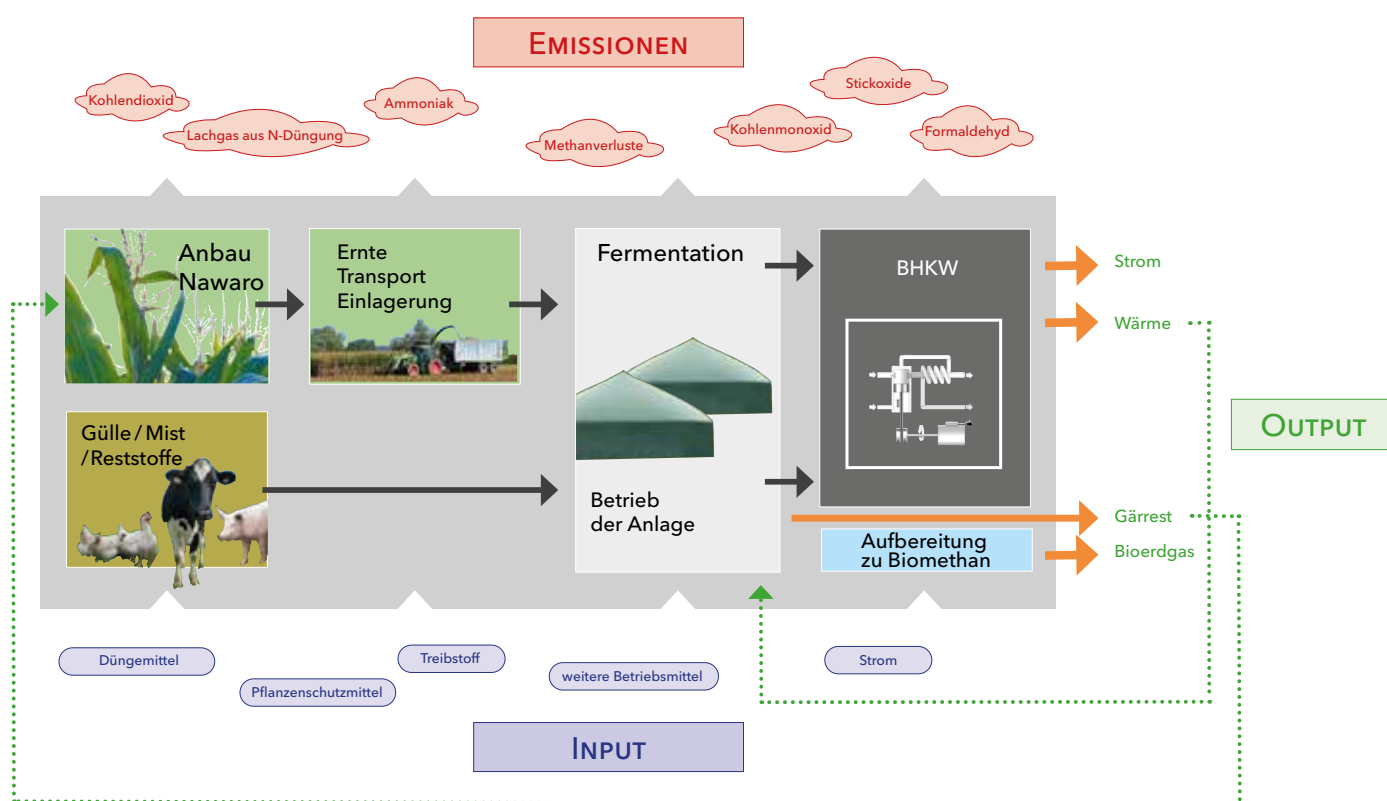
7. Klimarelevante Aspekte



7. Klimarelevante Aspekte

Für eine Klimabilanz werden klimarelevante Emissionen in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Methan- und Lachgasemissionen sind dabei um ein vielfaches klimawirksamer im Vergleich zu CO₂. Methan muss daher ungefähr mit dem Faktor 30 multipliziert werden. Lachgas mit dem Faktor 300. (Die Ozonzerstörende Wirkung des Lachgases geht über den Klimaeffekt hinaus und ist in ihrer zukünftigen Auswirkung noch nicht abgeklärt.)

Für eine vergleichende Bewertung verschiedener Biogasanlagen und Substrate hinsichtlich der Klimawirksamkeit muss der Energieaufwand für den gesamten Biogasprozess von der Gewinnung/dem Anbau des Substrats bis zum Blockheizkraftwerk bzw. zur Gasnutzung erfasst werden. Der Energieaufwand kann ebenfalls in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden. So lässt sich für verschiedene Biogasverfahren/-anlagen und Substrate die relative Klimateffizienz errechnen, also die CO₂-Menge, die pro gewonnener Energieeinheit aufgewendet werden muss. Dies muss ergänzt werden durch die - je nach Biogasanlagenart unterschiedlichen - entstehenden Emissionen, wie z.B. Methangasverluste. Von der Bilanz abgezogen werden die CO₂-Einsparungen.



7.1 Emissionen für die Erzeugung einer kWhel durch Biogas - Anfall und Vermeidung von Treibhausgasen

Das Biogas Forum Bayern erstellte eine Berechnung mit dem Titel: *Treibhausgasemissionen der Energieproduktion aus Biogas*. Dafür wurden sechs modellhafte Biogasanlagen, die das Gas zur Stromgewinnung mittels Blockheizkraftwerk nutzen, hinsichtlich ihrer Emissionen untersucht.

Mit berücksichtigt wurden dabei entstehende Emissionen durch Dieselkraftstoff, Mineraldünger, elektrische Energie, offene Gärrestelager, Anbau nachwachsender Rohstoffe, Betriebsstrom, Errichtung der Anlage, Methanschluß des Blockheizkraftwerkes sowie diffuse Emissionen z.B. aus Leckagen oder Sichtfenstern.

Als so genannte „Gutschrift“ werden in der Studie Emissionen bezeichnet, die sich durch die Biogaserzeugung einsparen lassen: Abwärmenutzung, Vergärung von Wirtschaftsdüngern mit anschließender gasdichten Lagerung (Bachmaier et al.; 2009).

Nicht in die Bilanz mit eingegangen sind die fotosynthetisch aufgenommenen CO₂-Emissionen durch die Energiepflanzen, da auch die Emissionen der Biogasverbrennung nicht mitberücksichtigt wurden, so dass sich diese Emissionen gegenseitig neutralisieren (Bachmaier; 2011). Die klimarelevanten Emissionen wurden zum Vergleich auf CO₂-Äquivalente umgerechnet.

Bei den sechs verschiedenen Anlagevarianten wurden folgende Annahmen getroffen:

Substrat

Bei den Modellanlagen bestand die Substratmischung der nachwachsenden Rohstoffe aus 50 % Mais, 25 % Getreide-Ganzpflanzensilage und 25 % Grassilage (Frischmasseverhältnis).

Die Varianten 1 und 2 setzten 30 % Wirtschaftsdünger ein (Frischmasseanteil), der Prozentsatz der nachwachsenden Rohstoffe verringerte sich dementsprechend. Bei den Wirtschaftsdüngern wurden 10% des Methanertrags für Hühnermist und 15% des Methanertrags für Rindergülle gutgeschrieben.

Für die Methanerträge der Substrate und den Verbrauch an Diesel, verwendete man Daten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).

Darüber hinaus wurde angenommen, dass 1,25 % des ausgebrachten Stickstoffs (in Form von Gärrest und Mineraldünger) zu Lachgas umgesetzt werden.

Biogasproduktion

Der Energieverbrauch wurde anhand von Messungen ermittelt, die bei modernen Biogasanlagen gemacht wurden. Für den Betriebsstrom nahm man den Verbrauch aus dem Stromnetz an.

Die Emissionen für die Errichtung der Anlage beruhten auf dem Materialinventar von Praxisanlagen. Die diffusen Methan-Emissionen, z.B. aus Leckagen oder Sichtfenstern setzte man pauschal mit 1 % der Methanproduktion an.

Hierbei wurde angenommen, dass im Unterschied zu den Varianten 5 und 6, die Varianten 1-4 eine Gärrestlagerabdeckung aufweisen.

Aus Kalt-Gärversuchen mit Nachgärmaterial von Praxisanlagen wurde abgeschätzt wie hoch die Emissionen aus den offenen Gärrestlagern sind.

Energieproduktion

Für die Berechnung der Blockheizkraftwerk-Emissionen wurden Messungen an Praxisanlagen herangezogen. Zudem wurde angenommen, dass ein Gasmotor-Blockheizkraftwerk mit einem elektrischem Nutzungsgrad von 36 % verwendet wird.

Nutzung der Abwärme

Für die Abwärmenutzung des Blockheizkraftwerkes wurden 232 g CO₂-Äquivalente/kWh_{therm} gutgeschrieben, was dem deutschen Wärmemix entspricht. Bei den Varianten 1 und 2 nahm man eine Wärmenutzung von 0,5 kWh_{therm} bezogen auf eine kWh_{el} an.

Bei den Varianten 3 bis 6 erfolgte keine Nutzung der Abwärme des Blockheizkraftwerkes.

Ergebnisse der Anlagevarianten

(Von einer Variante zur nächsten ändert sich jeweils ein Faktor.)



Variante 1 stellt die günstigste Klimabilanz einer landwirtschaftlichen Biogasanlage dar.

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe verursacht 78g CO₂-Äquivalente/kWhel, entweder direkt durch die Dieselverbrennung oder indirekt wie z.B. bei der Herstellung von Mineraldünger.

Weitere 90g CO₂-Äquivalente/kWhel entstehen durch Lachgasemissionen von den Anbauflächen der nachwachsenden Rohstoffe und 10g CO₂-Äquivalente/kWhel für die Errichtung der Anlage.

Der Betriebsstrom, der komplett aus dem öffentlichen Netz bezogen wird, verursacht Emissionen von 39g CO₂-Äquivalente/kWhel.

Die Methan-Emissionen der Biogasproduktion und -verwertung liegen bei 70g CO₂-Äquivalente/kWhel, die sich aus 24g Methanschluß (unverbranntes Methan im Blockheizkraftwerk-Abgas) und 46g diffusen Emissionen (z.B. aus Überdrucksicherungen, Fenstern oder Leckagen) ergeben.

Zusammengefasst entstehen bei der Modellanlage 1 Emissionen in Höhe von 286g CO₂-Äquivalenten/kWhel.

Dem gegenüber stehen „Gutschriften“ für vermiedene Emissionen in Höhe von 270g CO₂-Äquivalenten/kWhel. Diese kommen aus der Abwärmenutzung (116g CO₂-Äquivalente/kWhel) und Lagerung der Wirtschaftsdünger in gasdichten Gärrestelagern zustande.

Daraus ergibt sich, dass bei dieser Variante pro kWhel 16g CO₂-Äquivalente in die Luft gelangen, was nahezu klimaneutral ist.



Bei Variante 2 herrschen die gleichen Bedingungen, wie bei Variante 1, anstelle von Hühnermist wird jedoch Rindergülle eingesetzt. Da die Rindergülle weniger Biogas liefert, steigt der Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen, so dass nach entstandenen und gutgeschriebenen Emissionen 207g CO₂-Äquivalente/kWhel überbleiben.



Bei Variante 3 werden gar keine Wirtschaftsdünger mehr eingesetzt. Das Substrat setzt sich nur aus nachwachsenden Rohstoffen zusammen. Dadurch steigt der Verbrauch an pflanzlicher Biomasse und vermiedene Methanemissionen durch die Lagerung des Wirtschaftsdüngers im gasdichten Gärrestelager entfallen. So werden bei dieser Variante pro kWhel 254g CO₂-Äquivalente freigesetzt.



In Variante 4 entfällt die Wärmenutzung, wodurch die Gutschrift für die genutzte Blockheizkraftwerk-Abwärme ausbleibt. So betragen die Gesamtemissionen dieses Anlagenmodells 370g CO₂-Äquivalente/kWhel.



5

445 g

CO₂-Äquivalent/kWhel

In Variante 5 ändert sich die Bedingung, dass das Gärrestlager nicht mehr abgedeckt ist.

Das dadurch freiwerdende Methan lässt die CO₂-Äquivalente/kWhel um 74g auf 445g ansteigen.



6

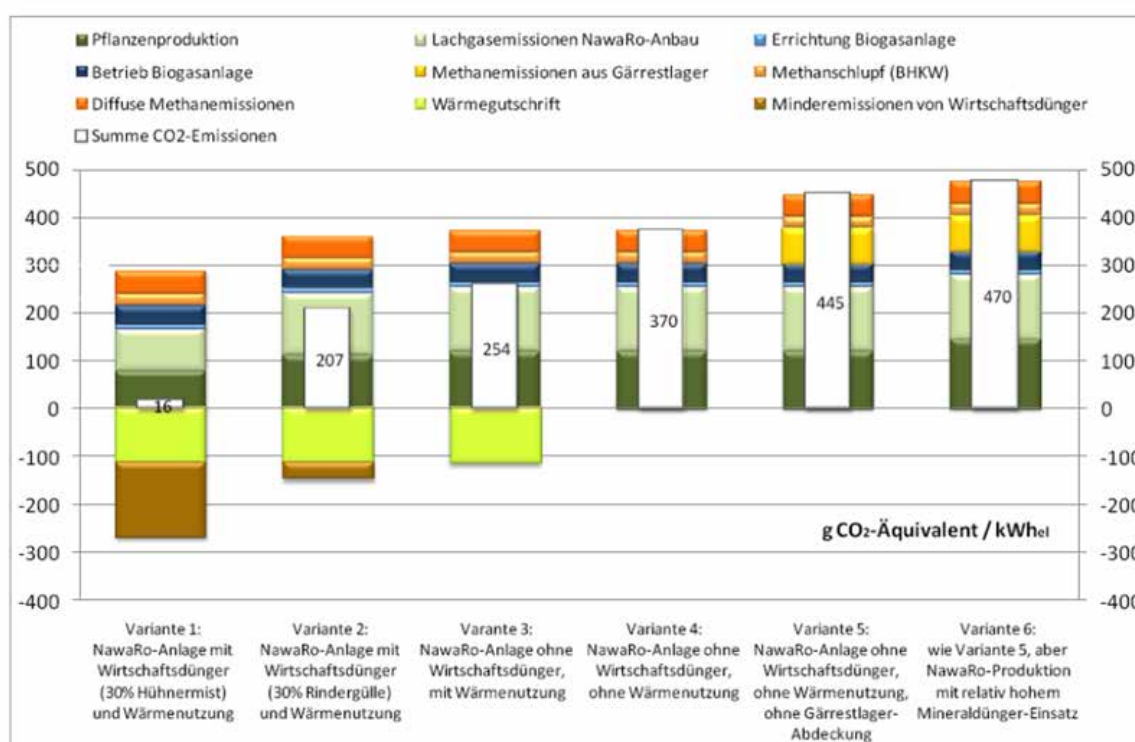
470 g

CO₂-Äquivalent/kWhel

In Variante 6 wurde getestet, wie sich die „Emissionsbilanz“ bei höheren Stickstoffverlusten der Gärresteausbringung ändert. Diese kann sich z.B. erhöhen, wenn die Gülle nicht zeitnah eingearbeitet oder nicht bodennah ausgebracht wird. So wurden die Stickstoffverluste im Vergleich zu den Varianten 1-5 nochmals von 30% auf 50% angehoben. Dadurch muss mehr mineralischer Stickstoff für den Anbau der nachwachsenden Rohstoffe eingesetzt werden, was die Gesamtemissionen um weitere 25g auf 470g CO₂-Äquivalente/kWhel ansteigen lässt.

In der folgenden Abbildung sind die freigesetzten bzw. eingesparten Emissionen der 6 Anlagenmodelle grafisch dargestellt.

Klimagasemissionen der sechs Model-Biogasanlagen pro erzeugter kWhel



Quelle: <http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Treibhausgasemissionen.pdf>

Die farbigen Balken zeigen die CO₂-Emissionen bzw. -Gutschriften an, während die schmalere, weißen Balken die Summe aus Emissionen bzw. CO₂-Einsparungen darstellen.

Die Studie hat deutlich gemacht, dass sich die Gesamtemissionen der verschiedenen Anlagenkonzepte erheblich unterscheiden. So werden durch die Biogaserzeugung im Optimalfall 16g (Variante 1) bis zu 470g CO₂-Äquivalente/kWhel (Variante 6) ausgestoßen (Bachmaier et al.; 2009).



Zum Vergleich: Nach Angaben des Umweltbundesamtes lagen die CO₂-Emissionen des deutschen Strommixes im Jahr 2018 bei 474g pro Kilowattstunde.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-5>

8. Schlagzeilen: Biogas im Fakten-Check

Biogasanlagen sind eine Gefahr für Mensch und Umwelt!

Wie bei jeder anderen technischen Anlage birgt auch der Betrieb einer Biogasanlage potenziell Gefahren, die durch einen ordnungsgemäßen Betrieb, das Einhalten von Sicherheitsvorschriften und das Befolgen von Gesetzen und Verordnungen ausgeschlossen werden sollen.

Um eine Biogasanlage sicher betreiben zu können, müssen die verantwortlichen Personen und die Beschäftigten, die täglich die Anlage füttern und bedienen, eine Vielzahl an Vorschriften kennen und beachten. Betreiber der Biogasanlage müssen alle Gefährdungen, die von der Anlage selbst, aber auch von Substraten und Betriebsmitteln ausgehen, kennen, bewerten und in einer sogenannten Gefährdungsbeurteilung ausweisen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Biogasanlage, sowie Personen, die Wartungs- und Reparaturarbeiten durchführen oder Besucherinnen und Besucher der Anlage müssen bezüglich der Gefahren unterwiesen werden. Dies ist sogar schriftlich zu dokumentieren.

Ähnlich wie ein Fahrzeug muss auch eine Biogasanlage mit all ihren Bauteilen regelmäßig von Sachverständigen geprüft und abgenommen werden. Grundlage hierfür ist die Betriebssicherheitsverordnung. Durch die Überprüfung sorgen Anlagenbetreibende dafür, dass die Beschäftigten, aber auch Dritte keinen Schaden an der Anlage erleiden. Neben der Anlagensicherheit spielt auch der Gewässerschutz eine wichtige Rolle. Die Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen wird in einer gesonderten Prüfung betrachtet.

Auch die Fort- und Weiterbildung ist gesetzlich geregelt. An jeder Biogasanlage müssen mindestens zwei Personen eine Betreiberschulung besuchen. Diese Fortbildung ist alle vier Jahre zu erneuern.

Beim Betreiben einer Biogasanlage müssen eine Vielzahl an Gesetzen, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Regelungen mit Gesetzescharakter eingehalten werden. Manche sind europaweit geregelt. Der Großteil jedoch wird vom Bund festgelegt. Auch die einzelnen Bundesländer können in wenigen Fällen Regelungen festlegen, wie beispielsweise bei den Landesbauordnungen. Halten sich Anlagenbetreibende nicht an die gesetzlichen Rahmenbedingungen, können Strafzahlungen bis hin zur betrieblichen Stilllegung die Folge sein. Wird beispielsweise gegen die Regelungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes verstoßen, kann ein teilweiser oder gar vollständiger Wegfall der Vergütungszahlungen für den Strom die Folge sein.



Der Anbau von Energiepflanzen schadet den Böden!



Das Spektrum der Energiepflanzen, die möglichen Anbausysteme und Fruchtfolgen sind vielfältig, so dass keinerlei pauschale Aussage zulässig ist.

Wenn über die Qualität von Ackerböden gesprochen wird, meint dies in der Regel die *Fruchtbarkeit* eines Bodens. Bodenfruchtbarkeit entsteht im Wechselspiel aus physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren. Die Art und Weise, wie ein Boden bewirtschaftet wird, hat positive und negative Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und damit auf die Ertragsleistung. Organische Substanz ist wesentlicher Träger der Bodenfruchtbarkeit. Der Humusgehalt beeinflusst die Nährstoffspeicherung und -umsetzung im Boden, die Wasserspeicherfähigkeit und die Bodenstruktur - deshalb ist der Ausgleich zwischen Humusauf- und -abbau von großer Bedeutung - unabhängig davon, ob die angebaute Kultur eine Nahrungs-, Futtermittel oder Energiepflanze ist.

Energiepflanzen für die Biogasanlage werden in Gesamtheit ihrer oberirdischen Biomasse geerntet, so dass für die Humusbilanz ein Ausgleich an organischer Substanz erfolgen muss, um den Abbau des Humusvorrates zu vermeiden. Das kann über die Berücksichtigung geeigneter Fruchtfolgen, die Ausbringung der Gärreste sowie die Grün- und Strohdüngung erreicht werden. Der Anbau von Mais in mehrfacher Selbstfolge führt zu einer negativen Humusbilanz, auch wenn mit Gärresten gedüngt wird.

Biogas schadet der Biodiversität auf den Äckern!



„Vermaisung“ der Kulturlandschaft durch Biogas

Der flächenmäßige Anbau von Mais ist regional sehr unterschiedlich. Auch kann man einem Maisfeld nicht ansehen, ob der Silomais zum Zwecke der Tierfütterung oder der stofflichen und energetischen Nutzung angebaut wird. Im Jahr 2022 wurden laut FNR rund 36 % des Maisanbaus für die Biogaserzeugung verwendet. Damit geht der größte Teil des Maisanbaus (64 %) in die Tierfütterung; z.B. die Milch- und Fleischproduktion. Die Fleischproduktion hat sich in Deutschland von 2001 bis 2018 kontinuierlich erhöht und geht seitdem leicht zurück - auf 7,6 Mio. Tonnen in 2022 (www.thuenen.de / 01.02.2024)

Niedersachsen hat mit Abstand die größte Fläche für den Maisanbau - 487.400 ha - gefolgt von Bayern mit 417.900 ha (2023 / Quelle: Statista.com). Beides Bundesländer mit großen Tierhaltungsbeständen. Hessens Anbaufläche für Mais hat dagegen nur eine vergleichsweise bescheidene Größe von 53.100 ha in 2022 (ca. 11 % der Ackerfläche), wovon ca. 71 % des Maises in Biogasanlagen zu Strom, Wärme und Bioerdgas veredelt werden. Dies zeigt, dass der Eindruck von „Vermaisung“ regional differenziert entstehen mag.

Nebenstehende Grafik zeigt, dass der Anteil der Pflanzen zur Grünernte (wofür der Mais zählt) in 2023 vorläufig geschätzt 16,3 % der landwirtschaftlichen Fläche ausgemacht hat - eine weitaus geringere Fläche als z.B. beim Getreide.



Wie in Kapitel 4 dargestellt, ist die Methanausbeute verschiedener Energiepflanzen sehr unterschiedlich, was bei der Entscheidung für oder gegen den Anbau einer speziellen Energiepflanze bedeutsam ist. Aber auch andere Punkte spielen eine Rolle bei der Wahl der Anbaukultur: Eignung für den Standort, Aufwand für den Anbau, Verfügbarkeit der Erntetechnik, Eignung des späteren Substrats für die vorhandene Biogasanlagen-Technik.

Aus Sicht des Landwirts spricht vieles für den Anbau von Mais: Als Glied einer Fruchtfolge erbringt er zahlreiche Leistungen. Die C4-Pflanze hat ein hohes Potenzial zur Biomassebildung bzw. Energiedichte bei vergleichsweise wenig Wasserbedarf, was angesichts des Klimawandels und der prognostizierten Schwankungen in der Wasserversorgung positiv ist. Durch eine besonders effiziente CO₂-Bindung im Stoffwechsel der Fotosynthese ist Mais ertragreicher als viele andere Kulturpflanzen und benötigt im Vergleich zu anderen Kulturen weniger Fläche für die Biomasseproduktion. Dadurch ergibt sich ein Potenzial für mögliche Flächen, auf denen wirksame Maßnahmen zur Erhöhung der Artenvielfalt Platz gewinnen können. Maisanbau erfordert eine vergleichsweise niedrige Pflanzenschutzintensität; Insektizide oder Fungizide werden hier deutlich weniger eingesetzt als in anderen Kulturen (z.B. bei Raps oder Getreide). Auch können gegen Schädlinge wie dem Maiszünsler biologische Verfahren zum Einsatz kommen, wie das Drohnen gestützte Einbringen von Nützlingen (hier Schlupfwespen), die die Eier des Maiszünslers parasitieren. Ein weiterer Vorteil vom Mais ist sein breites Verwendungsspektrum: So kann die Pflanze als Nahrungsmittel, Tierfutter sowie zur stofflichen und energetischen Verwendung eingesetzt werden.

Seit einigen Jahren werden, z.B. an den Rändern von Maisäckern, Blühstreifen angelegt aus verschiedenen ein- oder mehrjährigen Blühpflanzen. Dies dient der optischen und ökologischen Aufwertung der Agrarlandschaft und wird in den meisten Bundesländern im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen finanziell gefördert; schließlich kann auf diesen Flächen kein Ertrag erzielt werden. Auf Blühstreifen oder -flächen kommen keinerlei Pflanzenschutz- oder Düngemittel zum Einsatz, sie sind Nahrungs-, Fortpflanzungs- und Rückzugsbiotope für Insekten, Vögel und andere Lebewesen. Auch das Anlegen solcher scheinbar „wilden“ Flächen will genau durchdacht sein, um die spätere Fruchtfolgeverträglichkeit hinsichtlich möglicher Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter zu gewährleisten.

Nitrat im Grundwasser durch Biogasanlagen!



Nitrateinträge ins Grundwasser stammen aus diffusen Quellen und werden durch die landwirtschaftliche Flächenbewirtschaftung maßgeblich beeinflusst. Bewirtschaftung im offenen System „Umwelt“ führt zwangsläufig zu Stoffeinträgen in den Boden, die Atmosphäre und Limnosphäre. Die Nitratbelastung des Grundwassers ist in Deutschland teilweise zu hoch.

Nitrate sind wasserlösliche Salze der Salpetersäure (HNO₃), die in Mineraldüngern in Form von Kalium-, Kalzium-, Natrium- oder Ammoniumnitrat verwendet werden. Auch organische Stickstoffverbindungen (z.B. in Gülle) werden durch biologische Prozesse zunächst in Ammonium (NH₄⁺) und schließlich zu Nitrat umgewandelt, welches von den Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen wird.

Gerade in Regionen mit hohen Tierbeständen kann es zu Nährstoffüberschüssen durch organischen Dünger kommen (Jauche, Gülle, Mist, Gärreste), die nicht vollständig von den Pflanzen aufgenommen werden und als Nitrat mit dem Niederschlagswasser in das Grundwasser gelangen. Nicht der Stickstoff an sich ist das Problem, sondern die Menge in Relation zur Pflanzenverfügbarkeit, d.h. wie die Pflanze abhängig von Witterung und Vegetationsstufe den Stickstoff auf-

nehmen kann. Denn die Gefahr der N-Auswaschung in das Grundwasser besteht, wenn in der vegetationslosen bzw. -armen Zeit (zu-) viel mineralisierter Stickstoff im Boden vorhanden ist.

Durch den Anbau von Zwischenfrüchten über den Winter, Untersaaten, eine weite humusaufbauende Fruchtfolge und eine dem Standort (Boden/Klima) und der Pflanzenentwicklung angepassten N-Düngung kann der Nitratbelastung entgegengewirkt werden. Über Nährstoffuntersuchungen der Böden und Düngemittelbedarfsermittlungen sorgen Landwirte für einen sachgerechten Einsatz von Düngemitteln und wirken so einer Nährstoffüberlastung der Böden und damit verbundenen Nitratauswaschung ins Grundwasser entgegen.

Biogas gefährdet unsere Lebensmittelversorgung!



Im Zusammenhang mit dem Anbau von Energiepflanzen für die Biogaserzeugung wird die Konkurrenz um die Anbauflächen zur Nahrungsmittelproduktion kontrovers diskutiert. Der Sachverhalt ist sehr komplex und bedarf auch eines globalen Blickwinkels.

Grundsätzlich gilt, dass Energiepflanzen, die auf fruchtbaren Äckern angebaut werden, in Konkurrenz stehen zum Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln und sonstig stofflich genutzten Pflanzen (bspw. Zucker als Plattformchemikalie für die Chemische Industrie). Werden Rest- oder Abfallstoffe aus der Landwirtschaft (z.B. Mist und Gülle) oder anderen Bereichen (z.B. Bioabfälle aus privaten Haushalten) vergoren, liegt keine Konkurrenz vor.

Deutschland ist Nettoexporteur von Getreide - d.h. exportiert mehr als es importiert. So wurden beispielsweise in 2022 laut Statistischem Bundesamt rund 6,2 Mio. Tonnen Weizen aus Deutschland exportiert. Deutschland hat eine hohe Flächenproduktivität und die Bevölkerungszahl wird laut Prognosen der statistischen Ämter wahrscheinlich in den nächsten Jahrzehnten eher kleiner werden im Gegensatz zum globalen Gesamtbevölkerungswachstum. Der steigende Bedarf an den globalen Märkten - und damit einhergehend ein Anstieg der Preise - steht in direktem Zusammenhang mit dem globalen Bevölkerungswachstum und dem steigenden Fleischverbrauch in großen Schwellen- und Entwicklungsländern.

Globale Märkte

In der Diskussion um die Flächennutzung darf der Punkt der Lebensmittelverschwendung nicht fehlen. Laut Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft werden in Deutschland jährlich rund 12 Millionen Tonnen Lebensmittel entlang der Versorgungskette als Abfall entsorgt (www.bmel.de / 20.07.2020). Mit der *Nationalen Strategie zur Vermeidung von Lebensmittelverschwendung* soll dieses Problem in das gesellschaftliche Bewusstsein gebracht und Lösungen entwickelt werden, die diese Vergeudung landwirtschaftlicher Ressourcen eindämmen.

Lebensmittelverschwendung

Auch muss erwähnt werden, dass mit der Landwirtschaft auch Forstwirtschaft, Naturschutz, Siedlung, Verkehr, Industrie und sonstige Infrastruktur um Flächen konkurrieren. Von Jahr zu Jahr schrumpft die Größe der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland, überwiegend durch Siedlungs- und Verkehrsbebauung. Allein von 2016 bis 2022 betrug dieser Verlust rund 2.430 km². (www.umweltbundesamt.de / 01.02.2024)

Flächenverlust

Der Konflikt zwischen der Gewährleistung von Ernährungs- und Energiesicherheit, wie er auf den ersten Blick besteht, ist in Deutschland keine Entweder-Oder-Entscheidung. Es geht vielmehr darum, das Biomassepotenzial effizient zu nutzen.

Glossar

Bioabfallverordnung

Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Dazu gehören umfassende Vorgaben zur Hygiene der Bioabfallkomposte und Gärrückstände.

Biologischer Abbau

Zerlegung bzw. Umwandlung organischer Substanzen (z.B. pflanzliche Rückstände) durch Mikroorganismen in einfachere Verbindungen.

Biomasse

Damit wird die Gesamtheit aller Lebewesen bezeichnet, einschließlich des abgestorbenen Materials. Im Kontext der Erneuerbaren Energien werden alle organischen Stoffe (pflanzlich und tierisch) die als Energieträger genutzt werden, als Biomasse bezeichnet.

Biomethan

Dieser Begriff bezeichnet Bioerdgas, d.h. das in einer Biogasanlage hergestellte Biogas, welches aufbereitet wurde auf Erdgasqualität. Die Aufbereitung erfolgt über die Erhöhung des Methangehaltes auf bis zu 98% und die Entfernung von Kohlendioxid und anderer unerwünschter Bestandteile. Die Höhe des Methangehaltes ist von der Methankonzentration im Gasnetz abhängig, in das eingespeist werden soll.

Blockheizkraftwerk (BHKW)

Anlage zur Umwandlung chemisch gebundener Energie in Elektro- (Strom) und Wärmeenergie nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung, bestehend aus einem Motor und einem Generator.

Düngemittelverordnung

Die Düngeverordnung regelt die Zulassung und Kennzeichnung von Düngemitteln und präzisiert die Anforderungen an die gute fachliche Praxis der Düngung, damit Dünger bedarfsgerecht und mit möglichst geringen Risiken - beispielsweise Nährstoffverluste - eingesetzt wird.

Fermenter

Der Fermenter ist das Herzstück der Biogasanlage - auch Gärbehälter oder Reaktor genannt. Er enthält das Biogassubstrat, welches unter den anaeroben Bedingungen in diesem Behälter mikrobiologisch abgebaut wird.

Frischmasse (FM)

Bezeichnet die Masse eines gewogenen Ertrags (z.B. gehäckselter Mais) und wird im Regelfall pro Hektar angegeben.

Gärrest

Der flüssige oder feste Rückstand der Biogasgewinnung, der organische und anorganische und anorganische Bestandteile enthält und im Gärrestlager vor der weiteren Nutzung gelagert wird.

Gülle

Flüssiger Stoff bestehend aus Urin und Kot von landwirtschaftlichen Nutztieren (Schweine und Rinder)

Mist

Fester Stoff, der aus Urin, Kot und einem Bindemittel, üblicherweise Stroh, besteht. Sickersäfte aus dem Misthaufen bezeichnet man als Jauche.

Silage

Durch Milchsäure konserviertes Pflanzenmaterial.

Substrat

Der Rohstoff, der der Biogasanlage zwecks Vergärung zugeführt wird.

Trockenmasse (TM) / Trockensubstanz (TS)

Der Anteil einer Masse, der nach Trocknung, d.h. nach Abzug des in der Masse enthaltenen Wassers, übrig bleibt.

Wirtschaftsdünger

Bezeichnet nach Düngegesetz die in der Landwirtschaft anfallenden tierischen Ausscheidungen und pflanzlichen Stoffe (auch aerob/anaerob behandelt), die als Dünger eingesetzt werden.

Literaturverzeichnis, Quellenangaben und Links

- Linke, Bernd; 2006, S.7 In: Biogas in der Landwirtschaft - Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg
3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Potsdam, November 2006
URL: <https://docplayer.org/12218224-Biogas-in-der-landwirtschaft-leitfaden-fuer-landwirte-und-investoren-im-land-brandenburg.html>
Abruf: 13.08.2020
- Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2002 (Autor: anonym); (S.208)
Innovative Verfahren zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse Band 20
Landwirtschaftsverlag, Münster
- Schattauer A., Weiland P.; (S.25-S.26), Grundlagen der anaeroben Fermentation
in: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung
4. unveränderte Auflage
Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Gülzow, 2009
- Karpenstein-Machan, Dr. Marianne; (S.25-S.26, S.52, S.54), Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber
DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main, 2005
- Faustzahlen Biogas 2. Auflage; (S.73-76, S.94, S.184-S.186), Substrate
Herausgeber: Kuratorium für und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Darmstadt, 2009
- Bachmaier Hans, Bayer Kerstin, Dr. Gronauer Andreas (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung), Friedl Georg, Rauh Stefan Dr. Pahl Hubert (Technische Universität München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus)
In: Biogas Forum Bayern, März 2009
Treibhausgasemissionen der Energieproduktion aus Biogas
URL: <http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Treibhausgasemissionen.pdf>
Abruf: 12.2.2011 (online nicht mehr abrufbar)
- Bachmaier Hans von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
telefonische Auskunft am 21.2.2011
- <https://www.e-wie-einfach.de/faq/faqs/was-bedeutet-kilowattstunde-kwh>
- <https://swe-emmendingen.de/2011/08/10/wieviel-ist-eine-kilowattstunde/>

Weiterführende Links

- Plattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern
→ www.biogas-forum-bayern.de
- Plattform des Fachverband Biogas e.V.
→ www.biogas.org
- Biologischer Pflanzenschutz für den Maisanbau
→ ww.biocare.de
- Informationsseite zum Thema Biogas des Fachverbandes Biogas e.V.
→ www.biogas-kanns.de
- BINE Informationsdienst (Publikationen > basisEnergie > Biogas)
→ www.bine.info
- FNR / Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Informationsmaterial
→ www.biogas.fnr.de
- Informationsportal zum Ökolandbau (Landwirtschaft > Umwelt > Biogaserzeugung auf Biobetrieben)
→ www.oekolandbau.de

Bildnachweis

Nachweise an den Bildern.

Titelblatt: Komposition LLH / Kuh: Andi Taranczuk - stock.adobe.com

Weitere Informations- und Bildungsmaterialien zum Thema *Nachwachsende Rohstoffe* finden Sie unter:

<https://llh.hessen.de/material>



Impressum

Herausgeber
Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
Kölnische Straße 48 - 50
34117 Kassel



Tel.: 0561 7299 0, **Fax:** 0561 7299 220

E-Mail: zentrale@llh.hessen.de

Internet: www.llh.hessen.de

Verantwortlich:
Fachinformation Biorohstoffnutzung – HessenRohstoffe (HeRo)
T. 05542-3038-350

Auflage: Januar 2024