TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

ENERGIE SEMINAR

Aufgabensammlung zum Thema:

# Biogasanlagen

geeignet für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 8 & 9

HINTERGRUND:

Im Rahmen des Energieseminars *Teller statt Tank - Potenzial von Biogasanlagen und nachwachsenden Rohstoffen"* im Wintersemester 2021/22 an der Technischen Universität Berlin, haben die Teilnehmerinnen Experimente und ein Gesellschaftsspiel zum Thema Biogasanlagen für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 8 & 9 erarbeitet. In der vorliegenden Aufgabensammlung wurden die gewonnenen Erkenntnisse gebündelt und für Schüler:innen aufbereitet. Zusätzlich wurden beispielhafte Arbeitsaufträge und andere Formen der Wissensabfrage wie beispielsweise Kreuzworträtsel konzipiert, die von Lehrkräften frei genutzt werden können.

# Allgemeines

Biogas ist ein brennbares Gas, das durch die Vergärung von Biomasse jeder Art entsteht. Es besteht zu 60 % aus Methan ($CH_4$) und zu 35-40 % aus Kohlendioxid ($CO_2$). Unter dem Begriff Biomasse versteht man pflanzliches Material, das als Brennstoff zur Erzeugung von Wärme oder Strom verwendet wird. Beispiele für Biomasse sind Holz und Holzreste, Energiepflanzen, landwirtschaftliche Rückstände (wie Gülle oder Mist) und Abfälle aus Industrie, Landwirtschaft und Haushalten (Bioabfall). Als Energiepflanze wird in Deutschland vorrangig Mais verwendet, denn Mais verfügt im Vergleich mit allen in Deutschland flächendeckend abbaubaren Energiepflanzen, über die höchste Energiedichte. Auch die Zugabe von Düngemitteln ist bei Mais geringer als bei anderen Energiepflanzen. Zudem stellt Mais geringe Ansprüche an die Bodenqualität und wächst somit in vielen Gebiete problemlos. Langfristig jedoch verschlechtert sich durch den konstanten Maisanbau die Boden- und Wasserqualität und wirkt sich somit ertragsmindernd aus. In Abbildung 2 wird der Erzeugungsprozess von Biogas grob skizziert.

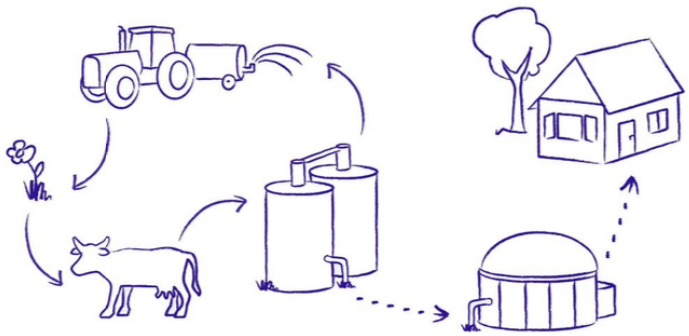


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Erzeugung von Biogas

Das Gas kann, nachdem es gereinigt wurde, lokal mittels Blockheizkraftwerken in elektrische Energie und Wärme umgewandelt werden. Der somit gewonnene Strom kann dann beispielsweise auch dazu genutzt werden, E-Autos zu "betanken", also die Akkus zu laden. Das in der Biogasanlage entstandene Biogas kann außerdem nach weiteren Aufbereitungsschritten ins Gasversorgungsnetz eingespeist werden. Dazu muss in erster Linie der Methangehalt von 40 bis 60 Prozent auf ca. 96 Prozent angehoben und der Gasdruck an den des Netzwerkes

angepasst werden. Biogas wird in Form von elektrischer Energie, und Wärme fast ausschließlich für die dezentrale Energieversorgung vor Ort eingesetzt.

Korrekt betriebene Biogasanlagen stinken nicht. Eine Geruchsbelästigung durch Biogasanlagen kann es nur dann geben, wenn die Biomasse vor oder nach dem Prozess nicht sachgerecht gelagert wird, wenn der biologische Prozess aus dem Gleichgewicht kommt, oder wenn schlecht vergorenes Material wieder auf den Acker ausgebracht wird. Die Verbrennung von Biogas ist annähernd $CO_2$ neutral, denn es wird lediglich die Menge an $CO_2$ freigesetzt, welche die Pflanzen, aus denen das Biogas gewonnen wird, zuvor der Atmosphäre entzogen haben. Dieses freigesetzte $CO_2$ binden wiederum neue Pflanzen mittels Fotosynthese.

# Chemische Prozesse in Biogasanalgen

Biogas, welches auch Sumpf-, Faul- oder Klärgas genannt wird, entsteht, wenn kohlenstoffhaltige Abfälle in sauerstoffabgeschiedener Atmosphäre gären. Das Substrat, welche zur Herstellung von Biogas verwendet wird, kann aus Ausscheidungen von Tieren, kürzlich verstorbenen Lebewesen wie Schlachtabfälle und Pflanzen oder Pflanzenteilen bestehen. Die Menge des gebildeten Methans hängt von der chemischen Zusammensetzung des Substrats ab, welche aus Proteinen, Kohlenhydraten und Fetten besteht. Dabei haben die Kohlenhydrate den niedrigsten und Fette den höchsten Methangehalt.

Der Entstehungsprozess von Biogas besteht aus vier verschiedenen Gärungsphasen in denen die Biomasse in Methan bzw. Biogas mithilfe von Bakterien verstoffwechselt wird. In den ersten drei Phasen der Gärung werden Mikroorganismen, genauer Bakterien, benötigt. Die vierten Phase aber wird durch Archaeen, welche entfernt mit Bakterien verwandt sind, durchgeführt.

Die erste Phase der Gärung heißt **Hydrolyse**, weil die Edukte durch eine Reaktion mit Wasser gespalten werden. In dieser Phase werden Polymere (Makromoleküle aus wiederkehrenden Einheiten, den Monomeren) in Oligomere (Makromoleküle, die zwischen 10 und 30 wiederholenden Einheiten haben) oder Monomere der Ausgangsstoffe gespalten.

Die **Acidogenese** (Versäuerungsphase) ist die zweite Phase, in welche die Oligomere oder Monomere durch säurebildende Mikroorganismen metabolisiert wird. Dabei entstehen kurzkettige Fettsäuren oder andere Carbonsäuren wie Butter- oder Propionsäure und Alkohole, Schwefelwasserstoff und Ammoniak als Nebenprodukte. In den ersten beiden Phasen herrscht idealerweise ein pH-Wert von 4,5 bis 6,3.

In der dritten Phase wird dann Essig gebildet, weshalb die Phase **Acetogenese** heißt. Aus den Säuren und den Alkoholen wird durch acetogene Mikroorganismen Essig gebildet.

Im letzten Schritt der **Methanogenese** wird aus Essigsäure, welche durch acetoklastische Methanbilder umgesetzt wird, Methan. Die Archaeen könne am stärksten bei einem pH von 7 Methan bilden.

Jedoch entstehen circa 30 % des Methans aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid, welche aus der Acetogenese entstanden sind. D.h. Methan kann nicht nur im letzten Schritt, sondern

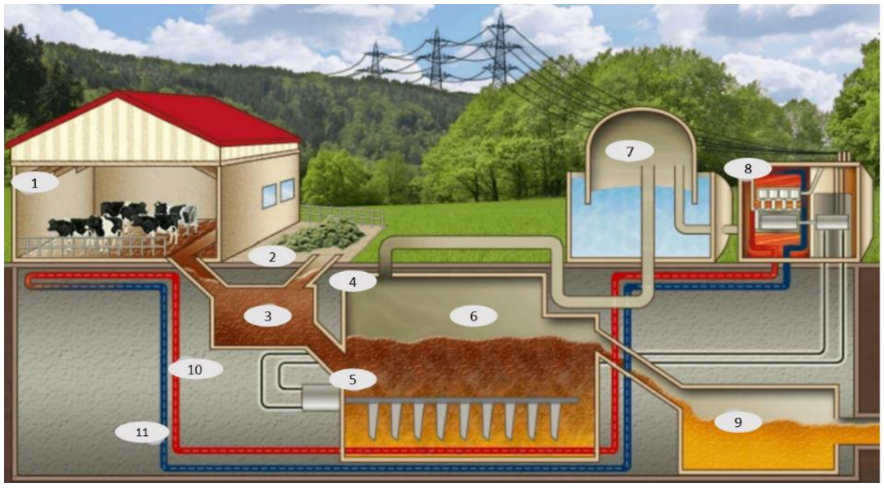
auch schon in den vorherigen Phasen entstehen. Die vier Phasen lassen sich nicht strikt trennen, da schon in den Phasen vor der Methanogenese Methan entstehen kann, jedoch nicht aus Stoffwechselprozessen. Die Stoffe, welche zurückbleiben, weil sie für die chemischen Prozesse der Zellen nicht geeignet sind, werden mit den anorganischen Substanzen als Gärrest abgeführt. Gärreste können als Dünger für die Landwirtschaft verwendet werden.

Im nun gewonnen Biogas sind außer Methan, welches mit 50 – 75 % je nach Substrat den Großteil des Biogases ausmacht. Die chemische Formel von Methan lautet $CH_4$. Methan, Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff, Ammoniak, Wasserdampf und Schwefelwasserstoff sind Stoffe, die im Biogas vor der Reinigung enthalten sind. Um das Biomethan nun nutzbar zu machen, müssen die anderen Komponenten außer Methan entfernt werden.

Dazu wird das Gas in einige Phasen aufgereinigt und dem Erdgas angepasst: Entschwefelung, Trocknung und Kohlenstoffdioxidabscheidung.

Im ersten Schritt wird das Gasgemisch entschwefelt, denn das im Biogas enthaltene $H_2S$-Gas kann mit Wasser zu aggressiven Säuren reagieren. Durch die Trocknung wird Wasser entfernt. Zum Schluss muss noch das Kohlenstoffdioxid abgetrennt werden.

# Funktionsweise einer Biogasanlage




1. Gülle & Jauche
2. Abfälle
3. Vergrübe
4. Fermenter
5. Rührwerk zur Mischung des Substrats
6. Biogas
7. Gasspeicher
8. Blockheizkraftwerk(BHKW)
9. Die Reste des Substrats
10. Abwärme
11. Heizschlangen für die Temperaturkontrolle im Fermenter

Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Biogasanlage

Das Substrat, welche zur Herstellung von Biogas verwendet wird, kann aus Ausscheidungen von Tieren, kürzlich verstorbenen Lebewesen wie Schlachtabfälle, Gülle, Abfälle und Pflanzen oder Pflanzenteilen bestehen, was als Biomasse bezeichnet wird (einschließlich tierischer und pflanzlicher Stoffe). Die Pflanzen, die in der Biogasanlage vergoren werden, haben bis dahin genau die Menge $CO_2$ gebunden, die bei der späteren Verbrennung von Biogas wieder freigesetzt wird. Damit verursacht Biogas keinen zusätzlichen Ausstoß von $CO_2$ obwohl das Gas wie Erdgas zur Energieumwandlung verbrannt wird. Der Prozess der Biogaserzeugung wird auch Anaerobe Vergärung genannt. Als anaerobe Vergärung von Biomasse wird die Zersetzung von Biomasse durch Mikroorganismen in sauerstofffreier Atmosphäre verstanden. Biogas entsteht im Fermenter. Der Fermenter muss gas-, wasserdicht und lichtundurchlässig sein.
Es gibt zwei Arten von Fermentation:

- Nassfermentation: Bei der Nassfermentation wird das Substrat durch Zuführen von Flüssigkeit rühr- und fließfähig gehalten und im Vergärungsprozess kontinuierlich durchgemischt. Man spricht deshalb auch von dem Verfahren der Volldurchmischung. Für die Nutzung von Gülle als Substrat kommt nur die Nassvergärung infrage

- Trockenfermentation: Bei welcher im Gegensatz zur Nassvergärung das Gärgut nicht verflüssigt oder durchgemischt wird.

Die Auswahl der Art der Fermentation hängt von den Substraten ab. Eine optimale Temperatur wird ganzjährig im Fermenter durch eine gute Isolation und Beheizung des Fermenters geschafft. Man benötigt der Fermenter ein Rührwerk, um frisches Material aus der Vergruben der Biogasanlage mit vorhandenem und von Mikroorganismen durchsetztem Material zu vermischen. Gleichzeitig dient es dazu, dass es zu einer optimalen Wärmeverteilung in der Biogasanlage kommt, keine Schichten im Fermenter entstehen und das Biogas der Anlage optimal aus dem Gärsubstrat gelöst wird. Die Gärreste aus dem Fermenter kommen direkt aufs Feld hin. Das Biogas wird in der Haube des Fermenters direkt über der vergärenden Biomasse gespeichert. Dieser Bereich wird auch Gasspeicher genannt. Das Methan, das aus der Biogasanlage entweicht, stammt hauptsächlich aus den Biogasmotoren, die zur Stromgewinnung eingesetzt werden, als auch aus offenen Gärrestelagern. 5 % des in den Biogasanlagen produzierte Methan entweicht unkontrolliert in die Atmosphäre. Methan ist sehr explosiv und brennbar, deswegen sind besondere Sicherheitsvorkehrungen bei der Biogasanlage zu beachten. Form der Gärbehälter ist **rund**.

# Rohstoffe

Jedes wasserhaltige organische Material ist für die Biogaserzeugung geeignet. Die Biogasbildung hängt im Wesentlichen von der Zusammensetzung der Organik, d. h. den Anteilen an Fett, Eiweiß, Kohlenhydraten und Rohfaser ab.

Es gilt zu bedenken, dass ein gleiches Gärsubstrat sehr unterschiedliche Auswirkungen zwischen Betrieb A und Betrieb B haben kann.

Auch Hemmstoffe, wie z.B. hohe Salzfrachten, hohe Sulfatkonzentrationen, Schwermetallkonzentrationen oder der betriebliche Einsatz von Desinfektionsmitteln und Reinigungsmitteln, sowie Antibiotika in höherer Konzentration können den anaeroben Abbau erheblich reduzieren oder völlig hemmen.

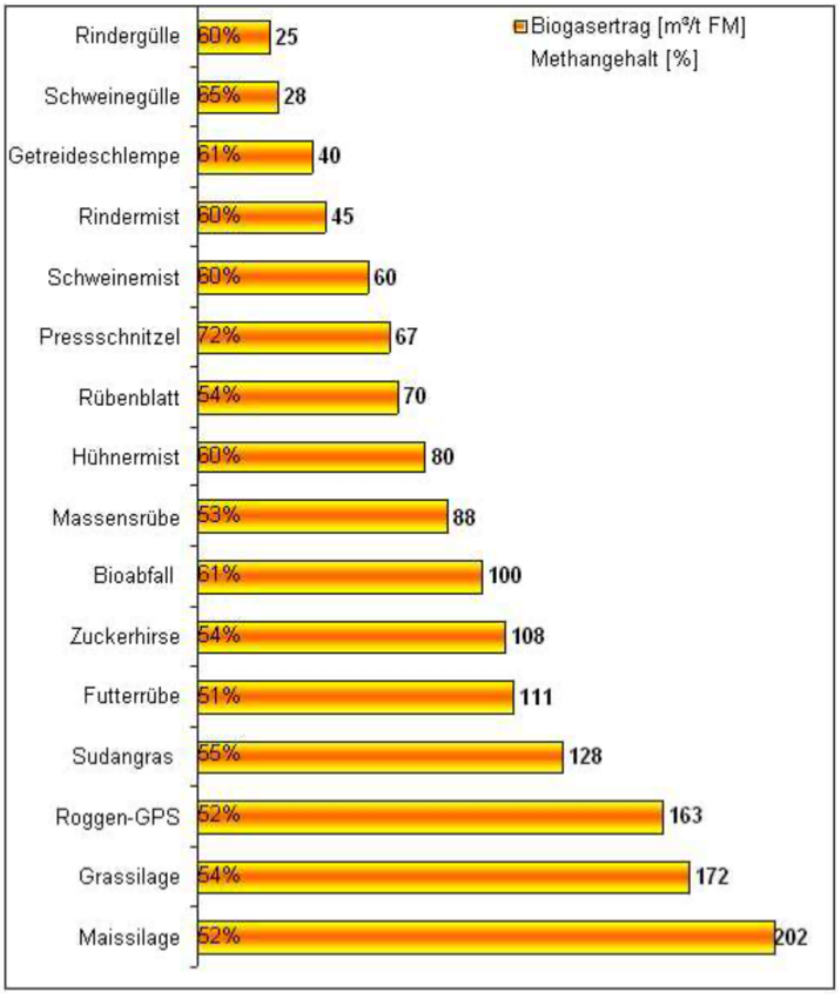



Abbildung 4: Biogas und Methangehalt in Abhängigkeit der jeweiligen Rohstoffe

Abbildung 4 zeigt sowohl den Biogasertrag als auch den Methangehalt nach Rohstoffen.

## Anmerkungen zu einzelnen Gärsubstraten

1. **Rindergülle:** Rindergülle ist das unproblematischste Substrat für eine Biogasanlage. Bei Schweinegülle sollte man darauf achten, dass diese oftmals sehr stark mit Wasser verdünnt ist. Bei Geflügelgülle, bzw. Geflügelmist ist zu beachten, dass darin naturgemäß ein relativ hoher, sandähnlicher Mineralanteil enthalten ist. bei größeren Mengen ist deshalb unbedingt darauf zu achten, dass diese inerten Bestandteile möglichst vor der Fermentation abzutrennen sind, um einem Versanden des Fermenters vorzubeugen.

2. **Festmist:** Bei der Vergärung von Festmist muss geprüft werden, welcher Einstreu in den Stallungen verwendet wurde. Sägemehl oder Hobelspäne sind nicht anaerob abbaubar und belasten nur das System. Deshalb empfiehlt sich hier eine vorherige Separation. Stroh ist nur (teilweise) vergärbar, wenn es mechanisch oder enzymatisch aufgeschlossen und somit die Ligninstruktur aufgebrochen ist. Bei hohem Strohanteil sollte auf jeden Fall eine Zerkleinerung stattfinden.

3. **Grüngut, Gras, Gras- oder Maissilage:** Grüngut o.ä. kann als Rohstoff für die Biogasanlage vorgesehen werden. Man sollte sich aber Will man trockene Biomasse, wie z.B. Getreidekörner, Mehl oder Stäube vergären, so muss dieses mit Flüssigkeit verdünnt oder mit anderen wasserhaltigen Substraten vermischt werden.

4. **Melasse oder Melasseschlempe:** Bei der Verwendung von Melasse oder Melasseschlempe als Gärsubstrat, ist ein eventuell sehr hoher Sulfatgehalt zu beachten. In diesem Fall sind entsprechende verfahrenstechnische Schritte einzuplanen, um den Schwefelgehalt auf ein für die Biogasanlage verträgliches Maß zu reduzieren.

5. **Abwässer:** Organisch hochbelastete Abwässer sind grundsätzlich als Gärsubstrat für eine Biogasanlage geeignet. Oftmals ist die Abwasserbelastung zwar für die aerobe Behandlung in der Kläranlage zu hoch, aber für eine nennenswerte Biogasproduktion zu dünn. Trotzdem ist in solchen Fällen der Einsatz einer Biogasanlage mit speziellen Fermentern oftmals sinnvoll und sehr lukrativ, um hohe Abwasserkosten einzusparen.

6. **Organische Abfälle:** Bei der Vergärung von tierischen Nebenprodukten, Speiseresten, o.ä., ist mit Sicherheit die europäische Hygieneverordnung zu beachten und einzuhalten. Sofern alle geforderten Auflagen, wie ausreichende Hygiene etc. eingehalten werden, kann die Vergärung in einer Biogasanlage als problemlos angesehen werden.

7. **Abfälle:** Biomüll, Küchenabfälle, Speisereste, verpackte Lebensmittel etc. sind grundsätzlich für eine Vergärung sehr gut geeignet. Allerdings bedarf es bei diesen Materialien einer vorherigen Abtrennung von Störstoffen wie Plastik, Metall, Glas etc.

8. **Klärschlamm:** Klärschlamm ist prinzipiell gut vergärbar und das ist auch Stand der Technik seit vielen Jahrzehnten. Allerdings ist Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen oftmals sehr stark mit Sand versetzt und deshalb werden dafür spezielle, eiförmige Fermenter eingesetzt.

## Welche Herkunft haben die jeweiligen Rohstoffe?

- Landwirtschaft: Rinder-, Schweine-, Geflügelgülle, Festmist. Energiepflanzen (Silage) und auf Stilllegungsflächen angebaute Zwischenfrüchte, Gräser, Luzerne, etc. und nicht verkaufbare oder angefaulte Früchte oder Fruchtteile (angeschlagene Kartoffeln, Rüben oder Rübenblatt)

- Brennereien und Bioethanolherstellung: Kartoffel-, Getreide- oder Maisschlempe, Obstschlempe, Melasseschlempe, selbstverständlich auch nur Dünnschlempe bei Schlempeseparierung, evtl. organisch hochbelastete Waschwässer, Lutterwasser

- Getränkeindustrie: Treber, sowie deren Preßwässer, Kieselgur, sowie deren Preßwässer, Geläger- und Überschusshefe Restbier organisch hochbelastete Waschwässer, Trubstoffe, Malzstaub und Ausputz

- Konservenfabriken Obst- und Gemüsekonserven Marmeladenhersteller Fruchtsafthersteller Obst- und Kräutertrocknerei: Obst- und Gemüsereste, (Verlese- und Putzabfälle, angefaultes oder schadhaftes Gut), Fehlchargen, überlagerte Waren, organisch hochbelastete Blanchier- oder Waschwässer

- Kartoffelverarbeitung Stärkeherstellung: Fruchtreste, Pülpe, Restfruchtwasser, Blanchierabwasser, Kondensate (Brüden) der Trocknung, Reststärke, stärkehaltige Waschwässer, Frittierfett, Fettabscheiderinhalte

- Backwarenherstellung: Backwarenreste, sonstige organische Produktionsabfälle (Mehl, Zucker, Obstreste, etc.), verdorbene Pflanzenfette, Frittierfett, Fettabscheiderinhalte

- Schlachtbetriebe Fleischverarbeitung (analog Fischverarbeitung):Fettabscheiderinhalte, Flotatschlamm, Siebreste, Pansen-, Magen- und Darminhalte, Tropffett aus der Räucherei, Kot und Harn aus Stallungen und Anlieferbereich, organisch hochbelastete Abwasser- (Teil-) ströme, Restblut, Fleisch- und Schlachtreste, Konfiskate

- Großmarkt: Obst- und Gemüsereste, (auch Zitrusfrüchte!), aussortierte oder nicht verkaufte Ware, Putzreste (z.B.: Rübenkraut, Salatblätter), Lebensmittel mit abgelaufenem Verfallsdatum, komplette Fehlchargen (Transportschäden)

- Milchverarbeitung: Separatorschlamm, Molke (Sauer- und Süßmolke) sowie Molkewasser - Spülmilch, überlagerte oder verdorbene Ware, Rückstellproben

- Ölmühlen / Biodieselproduktion: Nicht verkaufbarer Presskuchen, verdorbene Saaten,nicht verkaufbare Glyzerinphase

- Zuckerindustrie: Naßschnitzel, Presskuchen, Putzabfälle, Melasse

- kommunale Entsorgung: Grüngut, Grasschnitt von öffentlichen Flächen, Sportplätzen, Küchenabfälle und Speisereste von Großküchen, Biomüll, Klärschlamm (Primär- und Sekundärschlamm)

- chemische Industrie: In Betrieben, in welchen überwiegend pflanzliche, aber auch tierische
- pharmazeutische Industrie: Rohstoffe verarbeitet werden, kann unter bestimmten Voraussetzungen (keine Antibiotika, Reinigungs- und Lösungsmittel in den Reststoffen), der Produktionsabfall, analog zur Lebensmittelproduktion oder kommunaler Entsorgung, für eine Biogasanlage in Betracht kommen.

## Energiepflanzen

Für Pflanzen, die gezielt ganz oder überwiegend für die energetische Nutzung in der Landwirtschaft angebaut werden, hat sich der Begriff „Energiepflanzen“ eingebürgert. Der Oberbegriff „Nachwachsende Rohstoffe“ umfasst daneben auch Holz aus dem Forst, diverse organische Reststoffe und Nebenprodukte sowie jegliche Biomasse, die für die stofflich-technische Nutzung bestimmt ist.

Energiepflanzen erzeugen als ein- oder mehrjährige Kulturen regelmäßige und nachhaltige Biomasseerträge. Gegenüber anderen erneuerbaren Energien ist Biomasse als Energieträger über längere Zeiträume lagerfähig bzw. speicherbar. Biomasse als Energieträger bringt die Vorteile bedarfsgerechter Energieerzeugung mit sich.

**Einjährige Energiepflanzen**
Mais, Raps, Rüben und Getreidearten werden als einjährige Kulturen angebaut, d.h. Sie erfordern eine jährliche Bodenbearbeitung und Neueinsaat. Meistens erfolgt der Anbau in mehrgliedrigen Fruchtfolgen, auf einer Fläche werden also im jährlichen Wechsel verschiedene Kulturen angebaut. Mais kann mehrere Jahre in Folge auf der gleichen Fläche wachsen, während Raps Anbaupausen von 3 bis 4 Jahren brauchen. Eine Neuigkeit bei den einjährigen Energiepflanzen ist das innovative Anbausystem: der Mischfruchtanbau, bei dem verschiedene Pflanzenarten.

**Mehrjährige Energiepflanzen**
Energiepflanzen können auch als mehrjährige Kultur, einmal gesät oder gepflanzt, über einem langen Zeitraum von bis zu 30 Jahren genutzt werden. Ein Beispiel ist die Durchwachsende Silphie oder der Miscanthus, die jährlich geerntet werden.

**Kombination ein- und mehrjähriger Energiepflanzen**
Eine interessante Kombination des Anbaus von ein- und mehrjährigen Arten in einem System stellt die sogenannte Agroforstwirtschaft dar. Hierbei werden schnellwachsende Baumarten in Reihen gepflanzt und in den dazwischen liegenden Feldblöcken einjährige Kulturen angebaut.

## Anbauweisen: Mono- und Mischkulturen

### Monokulturen

Bei Monokulturen handelt es sich um den Anbau einer einzigen Pflanzenart (Reinkultur) über mehrere Jahre hinweg auf derselben Fläche. In einem Maisfeld zum Beispiel ist Mais die einzige Pflanze, die erwartet, gepflegt und toleriert wird, wobei alle anderen als Unkraut betrachtet werden.

### Warum werden Monokulturen aufgebaut?

Einfachheit - ein Monokulturfeld ist ein sehr einfaches System. Bodenvorbereitung, Bewässerung und Anwendung von Chemikalien kann auf die Bedürfnisse und Vorlieben einer einzelnen Pflanzenart ausgerichtet werden. Schädlinge und Krankheiten können behandelt werden, ohne sich um die Auswirkungen der Behandlung auf andere Pflanzen sorgen zu müssen. Die gewünschten Pflanzenteile können leicht mit einfachen Techniken gesammelt werden können, die für andere Kulturen, die dasselbe Feld teilen, äußerst zerstörerisch wären.

### Nachteile von Monokulturen

- Eine Veränderung der Bodenzusammensetzung, eine Verschlechterung der Verfügbarkeit von Nährstoffen, eine Verschlechterung der Bodenfruchtbarkeit, schlechtere Pflanzengesundheit.
- Wenn längere Zeit eine Monokultur in demselben Gebiet gepflanzt wird, werden die für diese Pflanzenart benötigten Ressourcen aufgebraucht.
- Eine starke Vermehrung bestimmter Unkräuter / ein erhöhter Unkrautbesatz
- Die Pflanzen neigen vermehrt zu Wurzelinfektionen. Sie können nicht mehr optimal Nährstoffe aus dem Boden aufnehmen, sodass ihr Wachstum negativ beeinträchtigt wird. Das fördert die Entstehung von Unkräutern. Landwirte müssen auf diese Phänomene reagieren. Sie setzen Pestizide ein, um Schädlinge zu bekämpfen und Unkräuter abzutöten. Damit die Nutzpflanzen besser wachsen, werden zusätzliche Düngemittel ausgebracht.
- Das verstärkte Auftreten bestimmter, spezialisierter Schädlinge und Krankheitserreger. Monokulturfelder sind anfällig für weit verbreitete Ausbrüche von Krankheiten und Schädlingen. Wenn eine bestimmte Krankheit eine einzelne Pflanze in einem Monokulturfeld infizieren kann, kann sie im weiteren Sinne alle anderen Pflanzen auf dem Feld infizieren. Eine in dieser Situation infizierte Pflanze ist nur von Vektoren für Neuinfektionen umgeben. Wenn ein Schädling eine Pflanze in einer Monokultur angreifen kann, ist er ebenfalls von anderen gefährdeten Pflanzen umgeben, was schnell zu einer Populationsexplosion führen kann.

### Monokulturen vs. Mischkulturen

Das Gegenteil der Monokultur ist die Mischkultur. Diese Anbauform wird auch als Mischfruchtfolge bezeichnet, denn gemäß ihrer Definition werden gleichzeitig und nacheinander

verschiedene Nutzpflanzen auf einer Fläche angebaut. Obwohl Pflegeaufwand und Erntelogistik deutlich höher sind als in Monokulturen, soll der Mischanbau die Nachteile der Reinkultur ausgleichen.

**Vorteile von Mischkulturen**

- Synergie: Pflanzen schützten sich gegenseitig vor Schädlingen oder liefern Nährstoffe
- Beschattung: höher wachsende Pflanzen sorgen durch Blattmasse für ein feuchtes Mikroklima im unteren Bereich
- Schutz: Boden wird kontinuierlich vor Abtragung durch Wind und Regen geschützt Absicherung: ein totaler Ernteausfall wird vermieden

# Funktionsweise eines Blockheizkraftwerks (BHKW)

In einem Blockheizkraftwerk werden Brennstoffe in elektrische und thermische Energie umgewandelt[1]. Es gibt eine große Variation von BHKWs, die sich in Leistung (1kW Anlagen bis über 5.000kW), verwendetem Brennstoff (Erdgas, Flüssiggas, Biogas, Heizöl, Biodiesel, Holzpellets, Holzhackschnitzel oder Wasserstoff) und Technik der Energieumwandlung (Stirlingmotoren, Verbrennungsmotoren, Dampfmaschinen, Brennstoffzellen und Turbinenmodule) unterschieden werden können.

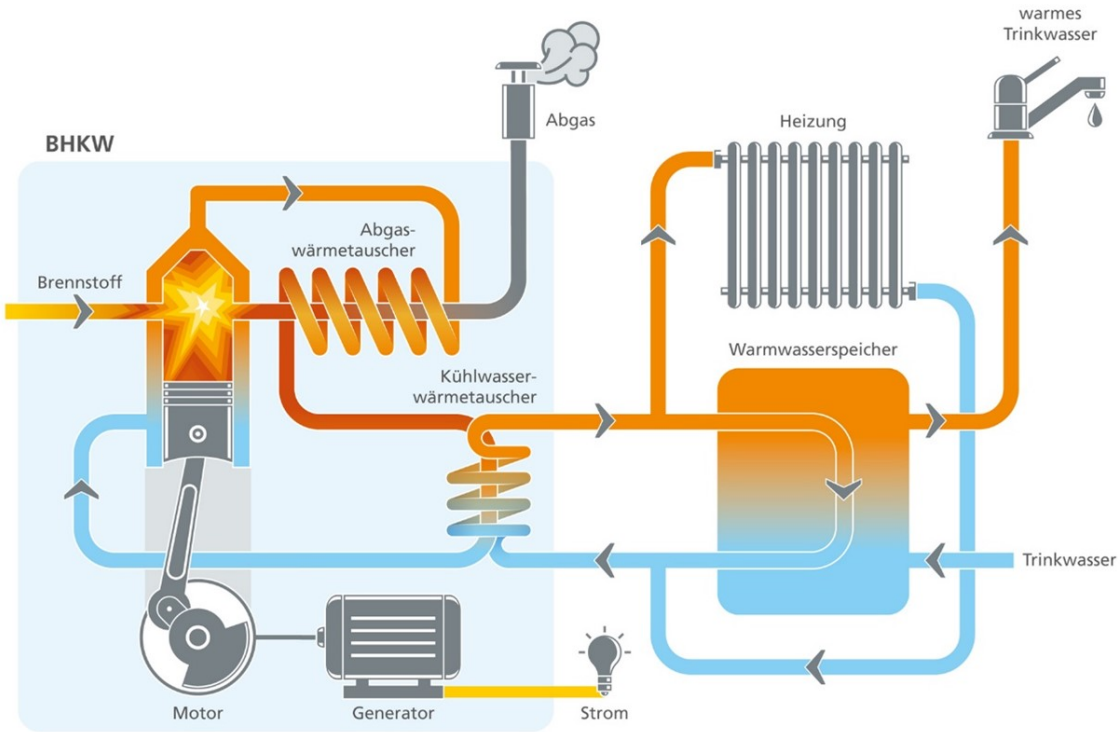



Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines BHKW

[1]Einrichtungen, die elektrische Energie abgeben, werden **Erzeuger** genannt, Einrichtungen, die elektrische Energie abnehmen, als **Verbraucher** bezeichnet. Es ist zu betonen, dass elektrische Energie weder verbraucht noch erzeugt, sondern lediglich in andere Energieformen umgewandelt werden kann. So wandelt der Generator bspw. mechanische Energie in elektrische Energie um.

Da bei Biogasanlagen der Brennstoff (Biogas) vorgegeben ist, erfolgt die Energieumwandlung hauptsächlich mithilfe von Verbrennungsmotoren. Zumeist kommt ein Gas-Ottomotor, manchmal auch ein modifizierter Dieselmotor, zum Einsatz. Der Motor treibt einen Generator an, der die mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt. Dabei wird durch das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung die bei der Energieumwandlung entstehende Abwärme mitgenutzt und somit ein höherer Wirkungsgrad[2] des Gesamtsystems (BHKW) erreicht. Der elektrische Wirkungsgrad eines BHKW beträgt ca. 25-38 % (bezogen auf den Heizwert). Wird die Abwärme vollständig und ortsnah genutzt, kann ein Gesamtwirkungsgrad bezüglich eingesetzter Primärenergie von 80 bis 90 % erreicht werden.

Auf der Abbildung 5 ist der schematische Aufbau eines BHKWs zu sehen. Das entschwefelte und getrocknete Biogas wird zunächst verdichtet und erneut (beispielsweise mittels eines Aktivkohlefilters) vom restlichen Schwefelwasserstoff gereinigt. Anschließend wird es in den Verbrennungsmotor eingeleitet und verbrannt. Über eine Kurbelwelle wird im Generator die mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Der so lokal erzeugte elektrische Strom kann entweder direkt vor Ort durch Verbraucher abgenommen oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Dazu muss dieser vorher mittels eines Transformators auf Netzspannung gebracht werden. Die bei der Verbrennung entstehenden Abgase werden mittels Katalysatoren gereinigt, bevor sie ausgestoßen werden. Mithilfe von Wärmetauschern wird die beider Verbrennung entstehende Abwärme gewonnen. Diese kann dazu verwendet werden, die Temperatur in den Fermentern auf der benötigten Temperatur zu halten oder die anliegenden Gebäude zu beheizen.

Arbeitsaufträge:

1. Kohlekraftwerke zur Ërzeugungëlektrischer Energie haben einen Wirkungsgrad von ungefähr 40 %. Wie ist der sehr viel höhere Wirkungsgrad eines BHKW zu erklären?
2. Markiere auf der Abbildung die Prozesse, in denen Verluste entstehen können und zeichne die in der Zeichnung fehlenden, im Text beschriebenen Bauteile ein.
3. Welchen Vorteil bieten Biogasanlagen mit angeschlossenem BHKW gegenüber Windkraft- und Photovoltaikanlagen?
4. Welche Gründe könnte es insbesondere für landwirtschaftliche Betriebe geben, ein BHKW an die Biogasanlage anzuschließen und nicht das gesamte Biogas zu reinigen und ins Gasnetz zu speisen?
5. In der Regel werden bei BHKWs von Biogasanlagen Verbrennungsmotoren eingesetzt und somit auch $CO_2$ emittiert. Warum handelt es sich bei der Biogasanlage trotzdem um eine nachhaltige Form der „Stromerzeugung“?

[2]Der **Wirkungsgrad [ in %]** eines Systems beschreibt, welcher Anteil der zugeführten Energie (hier: die jeweiligen Brennstoffe) in nutzbringende Energie (hier: thermische und elektrische Energie) umgewandelt wird. Der Wirkungsgrad ist damit ein Maß für die Güte der Energieumwandlung bzw. ein Maß für den Grad der Nutzbarkeit der zugeführten Energie. Da es bei allen Umwandlungsprozessen Verluste gibt (bspw. durch Reibung, Abwärme) ist der Wirkungsgrad immer kleiner 100 %.

# Potenzial von Biogas für die Energiewende in Deutschland

- Wirkungsgrad: variiert nach Pflanzenart (ohne Betrachtung der Systemgrenzen)
- Ausbauziel 2030: 8,4 Gigawatt (EEG 2021) Biomasse
- Installierte Leistung 2020: 8,54 Gigawatt Biomasse, davon 5,67 Gigawatt Biogas
- Energieerzeugung 2020: 47,15 TWh aus Biomasse, davon 28,7 TWh aus Biogas
- Anteil Stromerzeugung 2020: 9,7 Prozent Biomasse, davon ca. 5,8 Prozent Biogas

Biogas erreicht seinen maximalen Wirkungs- und Versorgungsgrad und seine beste Klimabilanz, wenn es gleichzeitig zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt wird, es kann auch über die weitere Veredelung zu Biomethan als Erdgasersatz in Kraftwerken und Motoren dienen. Zudem hat Biogas den Vorteil, dass es speicherbar ist und so ideal die fluktuierende

Stromerzeugung aus Wind und Sonne ergänzen kann. Ein Biomassekraftwerk braucht ständig Energieträger zur Umwandlung in Strom oder Wärme.

Im Unterschied zu den anderen Formen der erneuerbaren Energien ist die Biomasse-Verbrennung nicht grundsätzlich $CO_2$-frei. Bei der Verbrennung entsteht genauso $CO_2$ wie bei der Verfeuerung von Kohle oder Erdöl; Biogas unterscheidet sich diesbezüglich kaum von Erdgas. Dennoch gibt es einen erheblichen Unterschied: Bei der Biomasseverbrennung handelt es sich um Kohlenstoff, der wenige Monate bis Jahre zuvor von der Pflanze im Zuge ihres Wachstums mittels Photosynthese aus der Atmosphäre aufgenommen wurde, welcher durch die Verbrennung wieder der Atmosphäre zurückgeführt wird. Würde die Biomasse nicht verbrannt werden, so würde im Übrigen das $CO_2$ auf anderem Wege (normale Zersetzung von Biomasse im Laufe der Zeit) freigesetzt werden. Fossile Energien sind auch aus Pflanzenresten entstanden. Jedoch wurden diese Kohlenstoffmengen durch Ablagerung und Überdeckung mit Gesteinsschichten dauerhaft dem atmosphärischen Kreislauf entzogen. Da die Biomasse den $CO_2$-Gehalt der Atmosphäre kaum langfristig beeinflusst, werden die unmittelbaren $CO_2$-Emissionen daher in der $CO_2$- Bilanz der Biomasse üblicherweise nicht berücksichtigt.

Dennoch liegt die $CO_2$- Bilanz nicht bei null: Bei der landwirtschaftlichen Herstellung der Biomasse werden Traktoren und Landmaschinen eingesetzt, die üblicherweise mit Erdöl-basierten Kraftstoffen betrieben werden, bei deren Verbrennung im Motor wiederum $CO_2$ entsteht. Außerdem muss zur Herstellung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln in der chemischen Industrie Energie aufgewendet werden, bei dem auch Treibhausgase als Nebenprodukt entstehen können. Dieses Problem kann behoben werden, wenn auf Bio-Diesel zurückgegriffen wird und auf chemische Dünger und Pflanzenschutzmittel verzichtet wird. Dies könnte prinzipiell $CO_2$- frei sein, ist jedoch nicht der Normalfall, und wird aus Gründen der ökonomischen Rentabilität vermutlich auch in Zukunft nicht dazu werden.

Wird die Stromerzeugung aus Biomasse in Heizkraftwerken mit Kraft-Wärmekopplung verbunden, so ergibt sich daraus auch hier eine rechnerische Gutschrift für die $CO_2$- Bilanz, um die eingesparten Mengen an Heizöl bzw. Erdgas zu berücksichtigen. Übersteigt diese Gutschrift die Menge der bei der Biomasse-Herstellung emittierten Treibhausgase, kann die Bilanz rechnerisch auch negativ werden. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die $CO_2$- Bilanz der Biomasse von vielerlei Faktoren abhängt.

Das Potenzial von Biogas ist noch nicht ausgeschöpft. Neben kommunalen und industriellen Abfällen und Reststoffen sowie tierischen Exkrementen bietet die Landwirtschaft mit Energiepflanzen, aber auch Stroh, das größte Potenzial einer zukünftigen Nutzung. Zu dessen Erschließung könnte ein Großteil der bestehenden Biogasanlagen auf Einspeisung umgerüstet werden. Das Statistische Bundesamt weist in seiner Abfallbilanz für 2016 ein Aufkommen an Bioabfällen von 4.446.000 t/a aus, von denen lediglich 89.000 t/a energetisch verwertet werden. In Deutschland sind im Jahr 2020 nach Berechnungen allein durch die Kompostierung des anfallenden Biomülls und durch Grünschnitt aus der Landschaftspflege etwa 22.500 Terajoule angefallen. Das wären umgerechnet 6,25 Terawattstunden, die zur Verstromung

und Wärmebereitstellung genutzt werden können. Für die Ökobilanz macht es einen großen Unterschied, ob die Biomasse aus Reststoffen kommt oder gezielt angebaut wird.

Der gezielte Anbau verbraucht Flächen und konkurriert mit dem Anbau von Nahrungsmitteln. Weitere Reserven liegen in Effizienzsteigerungen und Repowering der Anlagen- und Prozesstechnik bestehender und neuer Anlagen. Bis zum Jahr 2050 wird in aktuellen Studien ein Gesamtpotential zur Produktion von Biogasen bis zu 250 TWh pro Jahr, etwa aus der anaeroben Vergärung oder thermischen Umwandlung von Speiseabfällen, Ernteresten, Gülle oder Abfallholz gesehen. Hinzu kommen die geschätzten Erträge von Energie- und Winterpflanzen. Nach Berechnungen des Deutschen Biomasseforschungszentrum wird sich unter den heutigen Rahmenbedingungen der Anlagenbestand aller Biomasseanlagen - inkl. Biogas und Biomethan - ab 2035 auf ca. 1.000 MWe mit 8,7 TWh reduzieren. Bis Ende 2020 sind bereits 56 der 213 Biogasaufbereitungsanlagen von dem Entfall des Entgeltes für vermiedene Netzkosten (0,7 ct/kWh) bei Einspeisung ins Gasnetz aufgrund des Auslaufens der Zehnjahresfrist betroffen. Diese Anlagen sind in ihrem wirtschaftlichen Betrieb vielfach stark gefährdet. Dies entspricht 30 Prozent der heutigen Einspeisemenge an Biomethan.

Biomasse soll nicht nennenswert ausgebaut werden, jedoch sollen in etwa so viele neue Anlagen entstehen, wie stillgelegt werden. Biogas trägt derzeit signifikant zur erneuerbaren Strom- und Wärmeproduktion bei. Mit dem absehbaren Rückgang des Anlagenbestandes, der auch durch die Ausschreibungen des EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) kaum aufgehalten wird, bleibt die Frage bisher offen, wie die erneuerbaren Strom- und Wärmemengen zu ersetzen sind. Abgesehen von dieser energiewirtschaftlichen Dimension erbringt Biogas aktuell noch eine Reihe weiterer Dienstleistungen. Da die Biogasanlagen aber ausschließlich über die EEG-Umlage finanziert werden, kann von einer Quersubventionierung des Fleisch- und Milchkonsums sowie der Abfallgebühren durch die Stromkunden gesprochen werden. Potenziell könnte Biogas weitere Leistungen in den naturwissenschaftlich-agronomischen Bereichen erbringen, wenn die Anreize nicht auf eine Maximierung der Gaserträge und Flächeneffizienz ausgerichtet wären. Auf der Outputseite würde ein verbessertes Management der Gärreste ebenfalls zum Gewässerschutz beitragen und Mineraldünger ersetzen.

## Suchrätsel zu Biogasanlagen

Finde die 6 Wörter, die etwas mit der Biogasanlage zu tun haben!

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G | U | E | H | D | V | N | Z | C | M |
| G | W | N | K | N | O | B | R | R | O |
| N | P | E | N | A | H | T | E | M | P |
| S | I | R | O | C | F | E | T | X | U |
| U | P | G | S | C | E | E | U | V | O |
| I | I | I | O | Z | R | M | A | I | S |
| G | I | E | U | D | M | O | T | Q | H |
| R | H | B | J | K | E | O | N | I | A |
| R | V | S | C | V | N | J | M | L | H |
| H | B | M | T | Z | T | C | R | E | N |
| R | F | T | T | A | I | M | I | S | R |
| S | L | D | S | M | E | Y | V | E | N |
| T | M | I | S | T | R | D | U | T | M |
| R | B | V | V | B | U | Z | E | K | D |
| O | O | V | Q | G | N | D | Q | V | G |
| M | P | G | W | K | G | C | H | O | M |

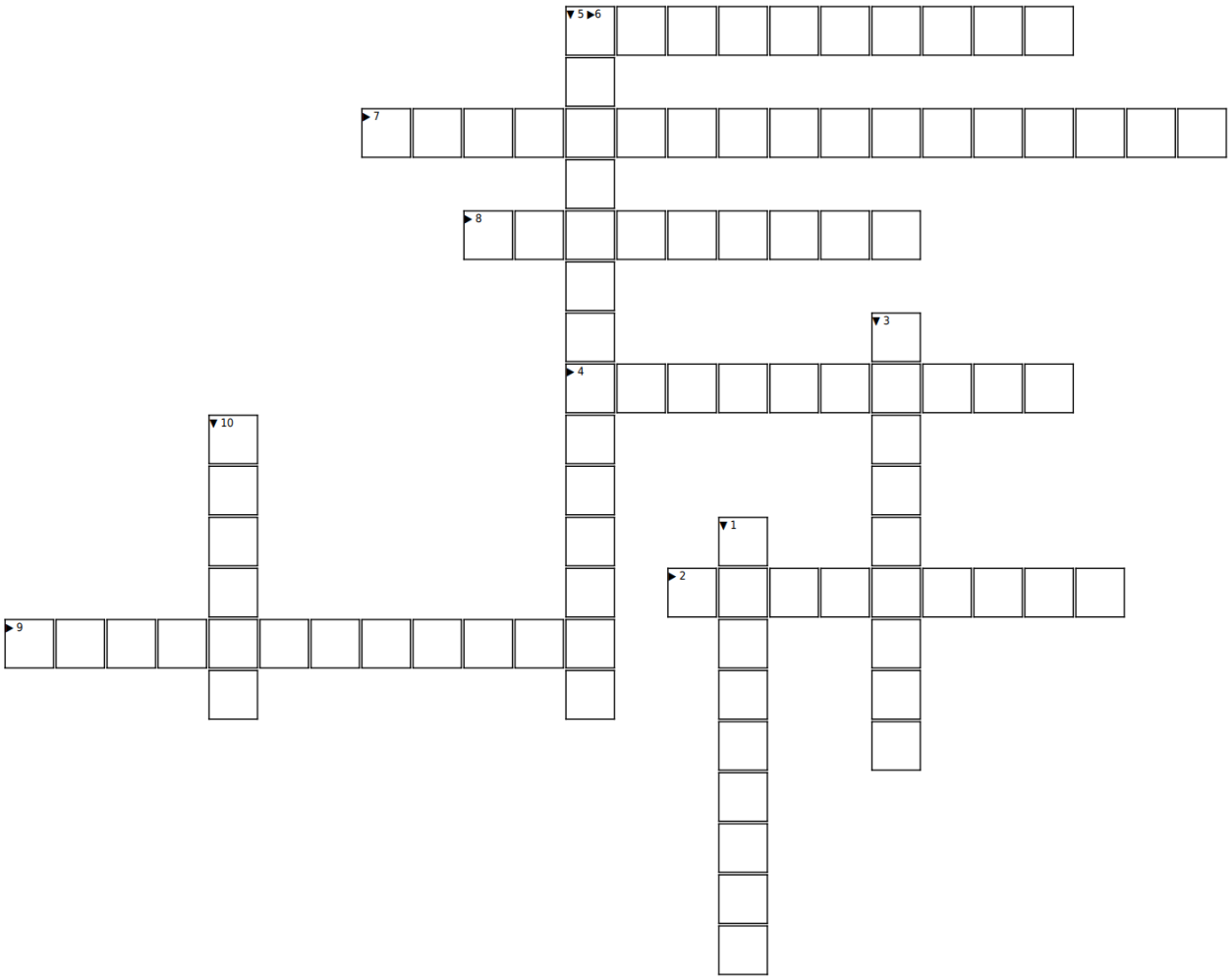
Die Wörter sind horizontal oder vertikal angeordnet und können auch rückwärts geschrieben sein.

**Lösung:**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G | U | E | H | D | V | N | Z | C | M |
| G | W | N | K | N | O | B | R | R | O |
| N | P | E | N | A | H | T | E | M | P |
| S | I | R | O | C | F | E | T | X | U |
| U | P | G | S | C | E | E | U | V | O |
| I | I | I | O | Z | R | M | A | I | S |
| G | I | E | U | D | M | O | T | Q | H |
| R | H | B | J | K | E | O | N | I | A |
| R | V | S | C | V | N | J | M | L | H |
| H | B | M | T | Z | T | C | R | E | N |
| R | F | T | T | A | I | M | I | S | R |
| S | L | D | S | M | E | Y | V | E | N |
| T | M | I | S | T | R | D | U | T | M |
| R | B | V | V | B | U | Z | E | K | D |
| O | O | V | Q | G | N | D | Q | V | G |
| M | P | G | W | K | G | C | H | O | M |

# Wissen über Biogasanlagen

## Lösen Sie die Fragen, um das Kreuzworträtsel auszufüllen




**Lösungshinweise:**

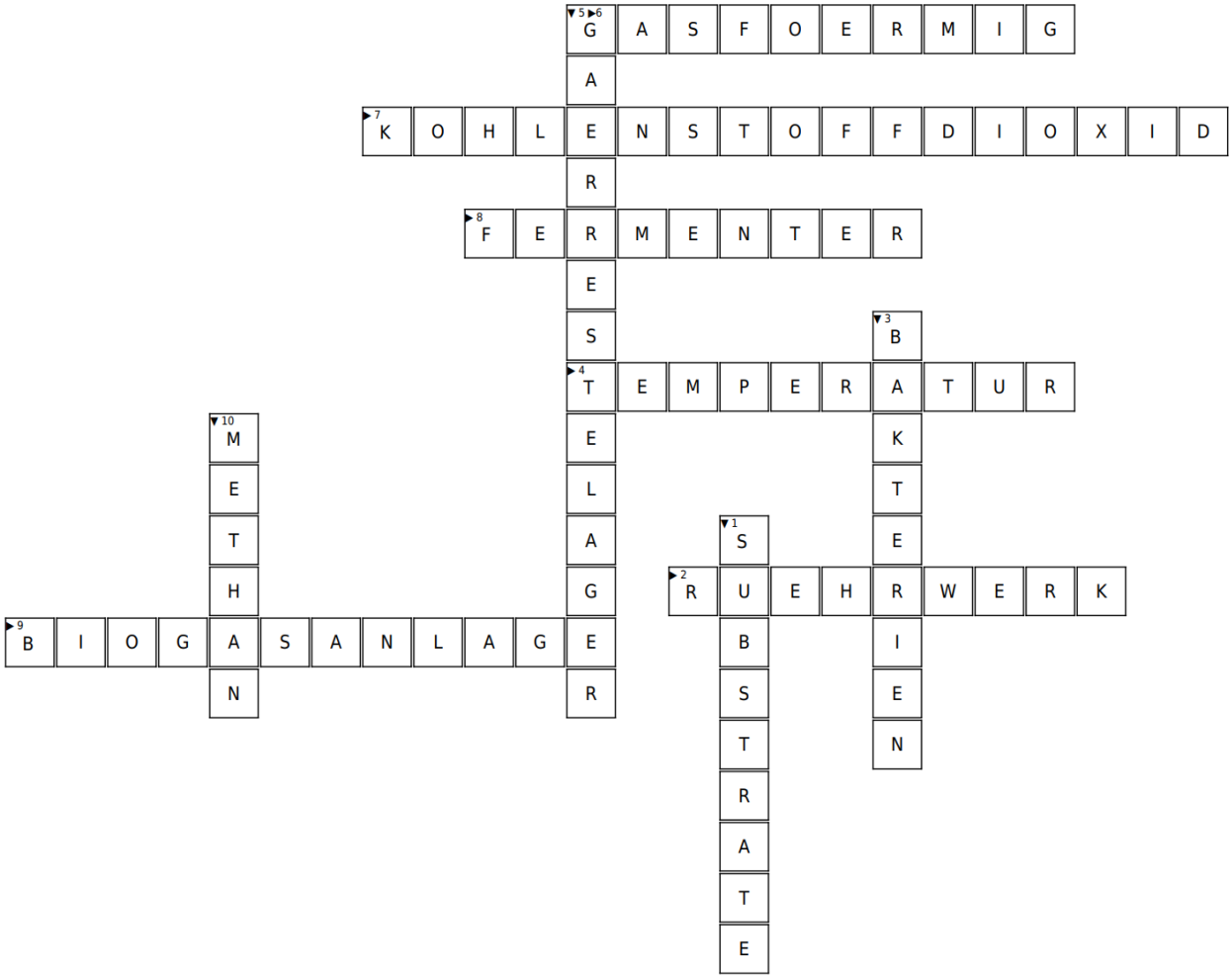
Horizontal ▶

(2) Vermischt alle Stoffe im Fermenter
(4) Faktor, der konstant bleiben muss während des ganzen Prozesses
(6) Aggregatszustand des entstehenden Biogases
(7) CO2
(8) Wo findet die Vergärung statt?
(9) Anlage der Produktion

Vertikal ▼

(1) So werden die Input Rohstoffe noch genannt
(3) Mikroorganismen, die für die Fermentation benötigt werden
(5) Ort, wo die Reststoffe der Biogasproduktion gelagert werden
(10) Welcher Stoff wird in der Biogasanlage erzeugt?

# Lösung


G A S F O E R M I G
A
K O H L E N S T O F F D I O X I D
R
F E R M E N T E R
E
S
B
T E M P E R A T U R
M
E
T
H
B I O G A S A N L A G E
N
E
L
A
G
E
R
K
T
E
S
R U E H R W E R K
B
S
T
R
A
T
E
I
E
N

1. Tragen Sie die unten genannten Wörter in den Lücken im Text ein.

## Lückentext zum Thema Biogas-Rohstoffen

Viele Stoffe sind heute dafür geeignet, um aus ihnen ..... herzustellen. Insbesondere stark ..... Substrate sind ideal für die Verwendung in einer Biogasanlage. Andere Substrate sind nur schwer (Stroh) oder gar nicht (Holz) ..... Für die Produktion von Biogas bieten Gülle und ..... großes Potenzial. Auch die Produkte aus der ..... wie Grüngut, Gras, Gras- oder Maissilage anfällt sind für die ..... besonders gut geeignet. Doch man muss sich dabei nur mit den stark ..... Teilen beschäftigen; also frisches Gras und kein ..... Bei der Verwendung von manchen Gärsubstraten wie die Melasse zum Beispiel, sind Hemmstoffe wie hoher ..... zu beobachten. In solchen Fällen sind entsprechende verfahrenstechnische Schritte einzuplanen, um den Gehalt an Hemmstoffen auf ein für die Biogasanlage verträgliches Maß zu ..... Biogas aus NawaRo (Nachwachsenden Rohstoffen) finden mehr und mehr Anwendung bei Biogasanlagen. Dabei sind die sogenannten ....., die für die energetische Nutzung in der Landwirtschaft angebaut werden, besonders wichtig. Die ..... erzeugen als ein- oder mehrjährige Kulturen regelmäßigen und nachhaltigen Biomasseerträge. Die werden in Monokulturen oder ..... angebaut. Bei den Monokulturen wird eine ..... über mehrere Jahren hinweg auf derselben Fläche angebaut. Bei den Mischkulturen werden gleichzeitig und nacheinander ..... Nutzpflanzen auf einer Fläche angebaut.

Wörter: **Biogas, wasserhaltigen, Energiepflanzen, Energiepflanzen, Holz, verschiedene, reduzieren, Mist, kommunalen Entsorgung, abbaubar, Biogasanlage, Pflanzenart, Mischkulturen, Sulfatgehalt**

## Lösung:

Viele Stoffe sind heute dafür geeignet, um aus ihnen **Biogas** herzustellen. Insbesondere stark **wasserhaltige** Substrate sind ideal für die Verwendung in einer Biogasanlage. Andere Substrate sind nur schwer (Stroh) oder gar nicht (Holz) **abbaubar**. Für die Produktion von Biogas bieten Gülle und **Mist** großes Potenzial. Auch die Produkte aus der **kommunalen Entsorgung** wie Grüngut, Gras, Gras- oder Maissilage anfällt sind für die **Biogasanlage** besonders gut geeignet. Doch man muss sich dabei nur mit den stark **wasserhaltigen** Teilen beschäftigen; also frisches Gras und kein **Holz**. Bei der Verwendung von manchen Gärsubstraten wie die Melasse zum Beispiel, sind Hemmstoffe wie hoher **Sulfatgehalt** zu beobachten. In solchen Fällen sind entsprechende verfahrenstechnische Schritte einzuplanen, um den Gehalt an Hemmstoffen auf ein für die Biogasanlage verträgliches Maß zu **reduzieren**. Biogas aus NawaRo (Nachwachsenden Rohstoffen) finden mehr und mehr Anwendung bei Biogasanlagen. Dabei sind die sogenannten **Energiepflanzen**, die für die energetische Nutzung in der Landwirtschaft angebaut werden, besonders wichtig. Die **Energiepflanzen** erzeugen als ein- oder mehrjährige Kulturen regelmäßigen und nachhaltigen Biomasseerträge. Die werden in Monokulturen oder **Mischkulturen** angebaut. Bei den Monokulturen wird eine **Pflanzenart** über mehrere Jahren hinweg auf derselben Fläche angebaut. Bei den Mischkulturen werden gleichzeitig und nacheinander **verschiedene** Nutzpflanzen auf einer Fläche angebaut