



Gesamtansicht der Biogasanlage.

**N**achdem die generellen Anforderungen an eine Biogasanlage definiert und mögliche Anpassungen zur Effizienzsteigerung identifiziert wurden, wird im Folgenden beschrieben, wie eine generelle Realisierung eines Fermenters für Zuhause designt sein soll. Dabei ist es vor allem wichtig, auf die richtigen Größenverhältnisse der Bauteile zu achten, um diesen Fermenter für Zuhause möglichst platzsparend und effizient, aber auch sicher und benutzerfreundlich zu gestalten. Dies sind die wesentlichen Anforderungen und wesentlichen Aspekte, die ein Fermenter für Zuhause leisten muss:

1. Die Dimensionierung des Fermenters muss an ein Haus angepasst sein, dazu zählen auch die Anschlussmöglichkeiten an externe Gerätschaften.
2. Der Fermenter muss sicher im Betrieb im Hinblick auf externe sowie interne Einflüsse sein.
3. Die Handhabung des Fermenters muss einfach sein.
4. Eine grundsätzliche Effizienz der Bakterienkultur gilt es zu erreichen beziehungsweise einen technologischen Fortschritt im Vergleich zu bereits bestehenden kleinen Anlagen für den Heimgebrauch.

Jugend forscht

# Schüler entwickeln Kleinformenter und gewinnen Auszeichnungen

Zwei Schüler, Senni Frank und Nils Brettschneider, von der Halepaghen-Schule in Buxtehude haben am Wettbewerb Jugend forscht teilgenommen. Im Regionalwettbewerb Lüneburg 2024 haben sie im Fachgebiet Technik den 1. Preis gewonnen, außerdem den Sonderpreis Ressourceneffizienz und den Jugendpreis der Verdieck-Stiftung. Im Landeswettbewerb Jugend forscht Niedersachsen 2024 haben sie den dritten Platz belegt und in diesem Landeswettbewerb auch den Sonderpreis Ressourceneffizienz gewonnen.

Von Nils Brettschneider

## Heimbiogasanlage für 1.000 Euro

Die gebaute Biogasanlage lässt sich bereits mit einem Budget von etwa 1.000 Euro umsetzen und ist damit im Vergleich zu anderen Heimbiogasanlagen nicht nur besonders sicher, sondern auch für ihre Effizienz und Funktionsfähigkeit im Winter, die andere Heimanlagen gar nicht erst abdecken, besonders preiswert. Die Basis der Biogasanlage bildet eine Gasflasche, damit der Fermenter später druckfest ist, mit einem Volumen von  $V=80$  Liter. Der Kopf der Gasflasche wurde entfernt. Zur leichteren Montage und Demontage des Behälters befinden sich am Behälter vier Griffe, die eine Montage des Behälters bereits durch zwei Personen möglich machen. Damit der Behälter zum Transport oder zur Lagerung geeignet ist, sind seitlich vom Behälter vier Stützen angeschweißt, auf denen er abgestellt werden kann. Auf der Oberseite des Deckels befinden sich ein Druckluftanschluss sowie zwei Griffe zur leichteren Montage und Demontage des Rührwerks. Die Heizung basiert auf einem Wasserkreislauf. Die Anlage lässt sich aufgrund ihrer Bauform leicht an die hauseigene Heizung anschließen und beheizen. Außerdem ist es möglich, das Volumen der Biogasanlage durch eine Anpassung

der Größe des Behälters zu verändern. Somit kann die Anlage für jeden Haushalt, je nach Menge des anfallenden biologischen Abfalls, angepasst werden. Grundkomponenten wie ein Motor, ein Boiler und eine Wasserpumpe werden immer benötigt, um die Vergärung möglichst effizient zu gestalten.

## Sicherheitsregeln beachtet

Die Sicherheit der Anlage ist besonders wichtig. Dabei wurden die Vorgaben der TRAS 120 [Technische Regel für Anlagensicherheit „Sicherheitstechnische Anforderungen an Biogasanlagen“, veröffentlicht am 21.01.2019 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nuklearer Sicherheit (BMU)] berücksichtigt. Das heißt:

1. Standsicherheit: Der Behälter steht standfest auf einem Metallfuß mit vier Stützpunkten.
2. Dichtheit (für Gase) und Dichtigkeit (für Flüssigkeiten und Feststoffe), Druckfestigkeit: Die Dichtheit des Behälters wurde bis auf einen Druck von 6 bar geprüft. Die angewendeten Sicherheitsventile lösen bereits bei einem Druck von 3 bar aus.
3. Beständigkeit gegen Korrosion und Abrasion: Durch das Auftragen von

Grundierung und Lack ist der Behälter vor Korrosion geschützt. Bei allen anderen Anbauteilen wurde auf die Verwendung von Metallen wie Edelstahl, Messing oder Aluminium geachtet, die selbst eine schützende Oxidschicht bilden. Der Behälter selbst ist innen mit insgesamt fünf Schichten Lack grundiert worden, sodass im Prozess entstehende Säuren den Stahl des Behälters nicht zersetzen können.

4. Betriebstemperaturen: Die Anlage ist durch technische Sicherheitsmechanismen wie einen Fehlerstrom-Schutzschalter oder auch Sicherheitsventile am Wasserkreislauf der Heizung oder dem Behälter vollkommen sicher. Der gesamte Behälter ist mit d=60 Millimeter Dämmwolle isoliert.
5. Beständigkeit gegen äußere Einflüsse wie Witterung und UV-Strahlung: Durch den gewählten Standort, eine Garage, ist die Anlage vor äußeren Umwelteinflüssen geschützt. Sollte man die Anlage außerhalb eines frostgeschützten Raumes nutzen wollen, lässt sich das Wasser aus der Heizung mit Frostschutzmittel aus dem Fahrzeugbereich ergänzen und so die Anlage vor Frostschäden schützen. Die gesamte Anlagensteuerung befindet sich in zwei wetterfesten Kunststoffboxen. Die gesamte Elektrik wird durch einen eigenen Fehlerstrom-Schutzschalter und Erdungen an der Anlage zusätzlich zur Erdung an der Steckdose geschützt.

Außerdem ist die gefahrlose Zugänglichkeit von Armaturen, Anschlüssen und Bedienungseinrichtungen und der frostsichere Betrieb von Anlagenteilen, die wässrige Gemische oder Kondensat enthalten, gewährleistet. Des Weiteren ist die Anlage auch durch ein verschlossenes Tor und eine Tür vor dem Betreten der Anlage durch Unbefugte gesichert. Aufgrund des Einbaus von Überdrucksicherungen sowohl im Gasbehälter selbst als auch im Wasserkreislauf kann das Entstehen unzulässiger Drücke verhindert werden.

Beim Öffnen der Anlage wird kein Biogas emittiert, da dieses in eine Gasflasche überführt und verbrannt wurde. Überschüssiges Gas wird durch einen Schlauch über die Zwangsentlüftung der Garage in die Atmosphäre geleitet und die Konzentration des Sauerstoffs im Biogas,

das sich in der Anlage befindet, liegt immer unter einem Prozent, sodass keine Explosionsgefahr in der Garage vorliegt.



Heizungsanlage: Boiler und Wasserpumpe.

### Fütterung per Luftdruck

Der Einbau des pneumatischen Zylinders macht das Befüllen besonders einfach. Das frische Substrat lässt sich leicht händisch in den Zylinder saugen und anschließend durch den Druckluftanschluss am Zylinder ohne Anstrengung durch das Anschließen eines Kompressors in den Behälter drücken. Dies ist auch bei Gegenwind möglich. Es wurde im Heizungskreislauf ein Barometer verbaut, sodass sich der aktuelle Druck im Wasserkreislauf jederzeit ablesen lässt. Am Behälter ist eine Füllstandsanzeige montiert, über die der aktuelle Substratstand im Behälter angezeigt wird.

Der Fermenter ist durch die lange Bauzeit erst im Winter 2023/24 fertiggestellt worden. Dies hatte zur Folge, dass als Füllmaterial keine „frische Grünpflanze“ benutzt werden konnte. Daher ist Körnermaissilage als Start-Substrat verwendet worden, das von einer regionalen Biogasanlage, der Bioenergie Geest GmbH & Co.KG, stammte. Mais eignet sich besonders gut zur Fermentation, da die Pflanze einen hohen Stärkegehalt von 62,6 Prozent aufweist. Der spezifische Methanertrag des Maiskorns beträgt dabei 370 bis 420 Liter Methan pro Kilogramm organischer Trockenmasse.

Aufgrund der zahlreichen Nutzung von Mais als Substrat lassen sich die Messwerte gut mit denen anderer Biogasanlagen vergleichen. Im Laufe der Testversuche wird durch die Zugabe von Biomüll das Substratmaterial nach und nach umgestellt, sodass die Anlage schlussendlich ausschließlich mit Bioabfällen betrieben wird. Der Füllstand des Substrats im Behälter sollte immer etwa drei Viertel des Behältervolumens betragen.

### Anlagenüberwachung mit Arduino

Falls dieser Füllstand überschritten wird, lässt sich überschüssiges und bereits im Fermenter genutztes Substrat über den Hahn an der Unterseite des Behälters entleeren. Über den Arduino lassen sich die aktuelle Temperatur im Behälter sowie der Zustand der Heizungseinrichtung und des Motors leicht überblicken. Außerdem lässt sich die im Behälter gewünschte Temperatur leicht über das Potenziometer einstellen sowie Boiler, Wasserpumpe und Motor manuell oder auch automatisch ein- und ausschalten. Ein druckfester Boiler mit einem Wasservorratsvolumen von  $V=5$  Liter erhitzt das Wasser im Wasserkreislauf, das durch eine Wasserpumpe im Kreislauf zirkuliert, um die Temperatur im Behälter im mesophilen Bereich zu halten. Zudem sorgt das durch einen Elektromotor betriebene Rührwerk für eine stetige Durchmischung des Substrates. Anlagen, die auf Maischefässern basieren, werden häufig weder temperiert noch wird für eine Homogenisierung des Substrats gesorgt.

Das im Behälter erzeugte Biogas wird anschließend über einen Propangaschlauch in eine  $m=11$  Kilogramm (kg) Propangasflasche umgefüllt. Das entstandene Gas ist ein Gasgemisch und besteht zu 50 bis 75 Prozent aus Methan und zu 50 bis 25 Prozent aus Kohlenstoffdioxid sowie Spurengasen, wie zum Beispiel Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ). Eine Gasreinigung ist bisher nicht nötig, da das Gas zu Beginn in einem einfachen Gaskocher verbrannt wird. Sollte das Gas jedoch in einem Stromaggregat von chemischer zu elektrischer Energie umgewandelt werden, ist die Gasreinigung durch einen Aktivkohlefilter notwendig, um den Verbrennungsmotor vor Korrosion zu schützen. ▶

### Erster Testbetrieb im Januar 24

Nach der Fertigstellung der Anlage am 3. Januar 2024 wurde die Anlage direkt mit Wasser befüllt und eingeschaltet, um die Funktion aller Komponenten im gemeinsamen Zusammenspiel zu testen. Die Temperatur im Behälter und in der Garage wurde mehrmals täglich in einem Protokoll festgehalten. Es ist aufgefallen, dass die maximal zu erreichende Temperatur auch über einen Zeitraum von 48 Stunden bei  $T=46,5\text{ °C}$  liegt. Durch das Verkleiden des Deckels konnte dieses Problem jedoch behoben werden, sodass auch Temperaturen von über  $T=50\text{ °C}$  erreichbar sind.

Am 5. Januar 2024 wurde die Anlage zum ersten Mal mit aktivem Material aus einer großen Biogasanlage gefüllt. Ab diesem Zeitpunkt wurden ebenfalls mehrmals täglich die Temperaturen in der Garage und im Behälter sowie der Druck im Behälter und Ereignisse, wie das Zugeben oder die Entnahme von Substrat, dokumentiert. Die im Arduino vorgegebene und damit zu erzielende Temperatur lag dabei immer in einem Bereich zwischen  $T=47,5\text{ °C}$  und  $T=49\text{ °C}$ .

Außerdem wird der Motor des Rührwerks immer nach 28 Minuten für 2 Minuten eingeschaltet, um für eine bessere Durchmischung des Substrats zu sorgen. Die Anlage wird täglich mit etwa  $m=250$  Gramm Trockenmasse, die mit Wasser versetzt wird, befüllt. Um die Biologie langsam an die Umstellung auf Biomüll zu gewöhnen, wird hauptsächlich Mais in das Substrat gemischt. Nach und nach wird dann die Menge an Mais verringert und die Menge an Biomüll erhöht. Die Umstellung dauert etwa eine Woche.

### Temperatur 1.300 Stunden konstant

In der Betriebszeit wurden seit der Befüllung der Anlage mit Gärsubstrat täglich Messwerte zu der Umgebungstemperatur, der Temperatur im Behälter, dem Verbrauch an elektrischer Energie und dem Druck in der Anlage festgehalten. Die Anlage wurde am 6. Januar 2024 erstmals mit Substrat befüllt und lief bis zum 9. März 2024. Sie wurde zwischenzeitlich aufgrund eines Wettbewerbs außer Betrieb genommen. Die Temperatur im Behälter konnte über einen Zeitraum von 1.300 Stunden konstant zwischen den



Hier ist die Befüllereinrichtung zu sehen.

erwünschten  $T=47,5\text{ °C}$  bis  $T=49\text{ °C}$  gehalten werden.

Die Abweichungen liegen bei höchstens  $\Delta T=0,5\text{ °C}$ , gefährden aber nicht den Betrieb der Biogasanlage und dessen Stabilität. Nach dem Umfüllen des Biogases in eine 11 kg Propangasflasche konnte man bestimmen, dass der Biogasertrag aus Biomüll für den ersten Zeitraum  $T \leq 650$  Stunden bei  $V=20$  Liter pro Tag beziehungsweise für  $T \geq 650$  Stunden bei  $V=32,5$  Liter liegt. Zu Beginn, während der Zuführung von reiner Maissilage, belief sich der Biogasertrag auf  $V=80$  Liter Biogas.

Innerhalb des ersten Zeitraums kam es zu einem gesamten Energieverbrauch von  $W=168,9$  Kilowattstunden (kWh). Demnach werden täglich etwa  $W=6,2$  kWh elektrischer Energie von der Anlage bezogen. Im zweiten Zeitraum ist der tägliche elektrische Energieverbrauch auf  $W=5,4$  kWh gesunken. Gründe für diesen geringeren Energieverbrauch sind die gestiegene Außentemperatur in einem Bereich von  $T=9\text{ °C}$  bis  $T=14\text{ °C}$  im Vergleich zu den Außentemperaturen des ersten Zeitraums von  $T=3\text{ °C}$  bis  $T=11\text{ °C}$  und eine verbesserte Isolierung. Durch die Nutzung einer Wärmebildkamera konnten thermische Energieverluste aufgefunden und im Rahmen des Möglichen beseitigt werden. Durch die Bioenergie Geest GmbH wurde ein professionelles Gasmessgerät zur Verfügung gestellt, mit dem das im Fermenter



Steuerungseinheit basierend auf einem Arduino.

ter entstandene Biogas genau untersucht werden konnte. Besonders aufgefallen ist dabei, dass der Methangehalt nach dem 7. Januar 2024 innerhalb von zwei Tagen um etwa 10 Prozent gefallen ist. Nach Absprache mit dem Biogasanlagenbetreiber der Bioenergie Geest GmbH wurde auf eine zu hohe Befüllung mit frischem Substrat aufmerksam gemacht und eine fehlende Homogenisierung durch das Einschalten des Rührwerks zum Zeitpunkt der frischen Befüllung.

### Methangehalt konstant über 50 Prozent

Richtwerte für die Zuführung von frischem Substrat liegen bei  $m=2$  kg bis  $m=4$  kg organische Trockensubstanz pro Kubikmeter Gärraum und Tag, bei einer Verweildauer von 150 Tagen [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2008]. Dementsprechend kann die Anlage täglich mit etwa  $m=250$  g Trockenmasse bei einer Verweilzeit von 150 Tagen befüllt werden. Außerdem lässt sich aus den Messwerten eine hohe Prozessstabilität ablesen, da die Methankonzentration im Biogas auch über mehrere Wochen hinweg konstant über 50 Prozent gehalten werden konnte.

Der Wirkungsgrad des Fermenters liegt im ersten Zeitraum (06.01.2024/23.00 Uhr bis 03.02.2024/14.20 Uhr) bei  $\eta_1=1,9$  Prozent. Im zweiten Zeitraum (10.02.2024/13.50 Uhr bis 09.03.2024/10.30 Uhr) liegt der Wirkungsgrad bei  $\eta_2=3,54$  Prozent. Gründe für die Steigerung des Wirkungsgrads sind die gestiegene Außentemperatur, die verbesserte Isolierung am Behälter und auch die gesteigerte Biogasproduktion durch das Erhöhen des Substratvolumens im Prozess von  $V=40$  Liter auf  $V=60$  Liter. ▶





## Hocheffiziente Durchmischung der Biomasse mittels sequenzieller Gaseinpressung

**Vorteile:**

- Über 50% Energieeinsparung
- Einfache und kostengünstige Wartung
- Reduzierte Sedimentation
- Keine Oberflächenverkrustung
- Geringes Temperaturgefälle zwischen den Substraten

**MAPRO bietet Ihnen:**

- Bedarfsanalyse
- Technisches Angebot
- Geräteelieferung
- Technischer Support
- Überwachung der Betriebsdaten des Systems

MAPRO Deutschland GmbH | Tiefenbroicher Weg 35/B2 | 40472 Düsseldorf  
 Tel.: +49 211 98485400 | Fax: +49 211 98485420 | deutschland@maprint.com | www.maprint.com

# PAULMICHL

## KOMPONENTEN FÜR BIOGASANLAGEN

mit mehr als 25 Jahren Erfahrung



**KOMPLETTLÖSUNG GESUCHT?**  
 Wir bieten alles rund um Biogas- und Gülletechnik sowie Rohrleitungsbau.

FRITZ PAULMICHL GMBH · Kisslegger Straße 13 · 88299 Leutkirch · Tel. 0 75 63 / 912 4790 · info@paulmichl.de · www.paulmichl.de



# Gas geben mit Pioneer!

**P82703 NEU**

ca. S250

**Der Ertragsüberflieger!**



**P8888**

— S280 | ca. K250 —

**8 Jahre Höchsterträge!  
 Jetzt zum Aktionspreis!**

Pioneer markenrechtlich geschützt von Corteva Agriscience und Tochtergesellschaften. ©2024 Corteva.

Durch eine Verlegung der Heizschläuche in den Innenraum und eine weitere Isolierung der Heizungskomponenten kann der Wirkungsgrad deutlich erhöht werden, da so die zugeführte Wärmeenergie verringert werden kann. Allgemein steckt in der Optimierung der Isolierung, besonders was Teile wie die Griffe oder auch die Befestigung des Motors des Rührwerks angeht, ebenfalls noch Potential zur Verringerung der Energieverluste.

### Biogas-Tagesproduktion reicht für 15 Minuten kochen

Das erzeugte und gereinigte Biogas wurde bereits in eine Propangasflasche gefüllt und dort für eine spätere Verwendung gelagert. Das Biogas ließ sich – durch das Anschließen eines Gaskochers an die Propangasflasche – rußfrei verbrennen. Das Biogas von einem Tag hat ausgereicht, um etwa 15 Minuten damit zu kochen. Auch das Anschließen eines Gasgrills wäre möglich.



Behälter unter der Isolierung.

Das Ziel der Umsetzung einer technisch sicheren Biogasanlage und der Biogaserzeugung wurde erreicht und auch die Brennbarkeit nachgewiesen. Die Anlage lief über einen Zeitraum von 1.300 Stunden störungsfrei. Dennoch sind weitere Experimente nötig, um die von der Biogasanlage tatsächlich produzierte Menge an Biogas berechnen zu können. Es fehlt vor allem ein Langzeittest, der sich nicht nur auf die Winter-, sondern auch auf die Sommermonate bezieht, in dem die Effizienz der Anlage und ihre Funktionsfähigkeit auch bei höheren Außentemperaturen geprüft wird.

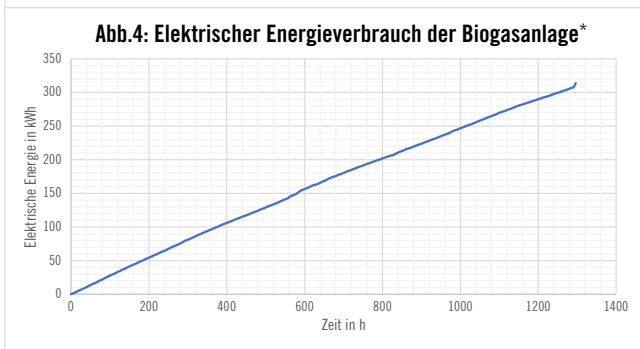
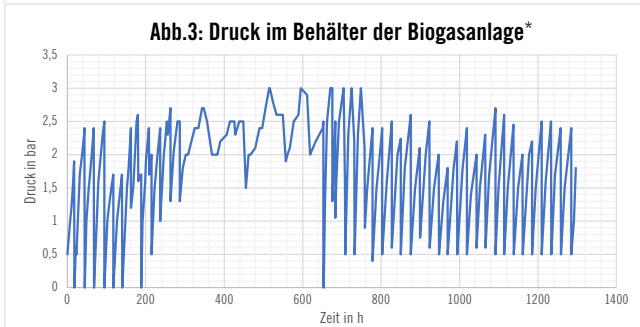
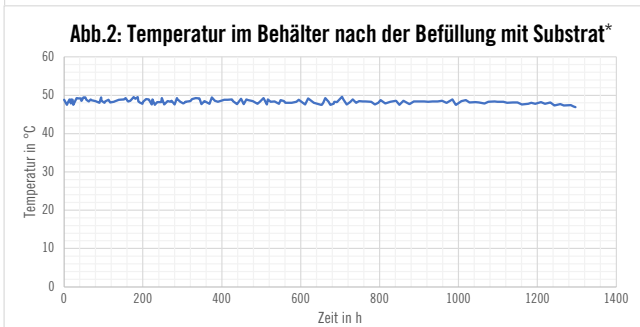
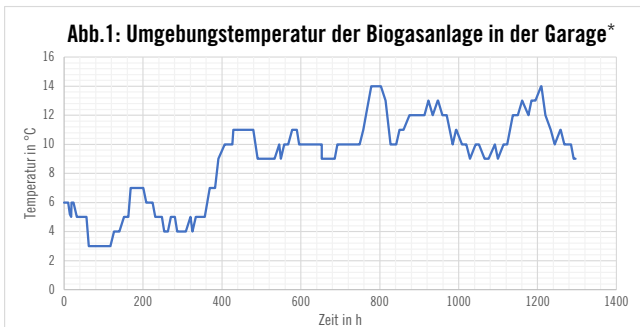
zu gestalten. Überschüssige elektrische Energie wird in einem angeschlossenen Akkumulator gespeichert. Die Heizung durch Solarthermie zu ergänzen und dadurch die Ökobilanz zu verbessern, ist ebenfalls denkbar. Ein Langzeittest über einige weitere Monate würde ermöglichen, die Wirksamkeit der aufgetragenen Lackschichten im Fermenter gegen Korrosion zu überprüfen.

In der bisherigen Laufzeit von 1.300 Stunden sind keine Beschädigungen am Lack aufgetreten. Um eine tatsächliche vollständige Integration in den Haushalt zu ermöglichen, sollte die Anlage eine Befüllautomatik mit Anschluss zur Küche besitzen. Dort können die Bioabfälle eingefüllt und automatisch zerkleinert werden. Daraufhin läuft eine automatische Befüllung nach Bedarf zum Fermenter inklusive automatischer Wasserzugabe ab. Nach dem Fermentationsprozess wird das entstandene Gas von der Biomasse getrennt. Das Gas wird gereinigt und aufbereitet. Außerdem ist denkbar, dass die Biomasse entwässert wird und zum Schluss als reines Feststoffsubstrat die Anlage verlässt. Das zurückgewonnene Wasser kann dem frisch zugegebenen Substrat hinzugefügt werden, sodass eine Homogenisierung im Prozess dauerhaft gewährleistet ist. Somit wäre kein neuer Wassereintrag in den Prozess nötig. ◀

### PV-Modul und Akku könnten autarken Betrieb ermöglichen

Es wird in Zukunft möglich sein, ein Photovoltaikmodul an den Fermenter anzuschließen, um dessen Stromversorgung autark

**Autor**  
Nils Brettschneider



\*06.01.2024/23:00 bis 09.03.2024/10:30 mit Unterbrechung von 03.02.2024/14:20 bis 10.02.2024/13:50 aufgrund des Jugend forscht Regionalwettbewerbs.