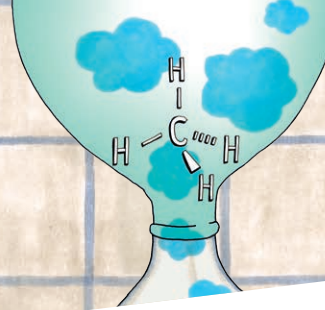
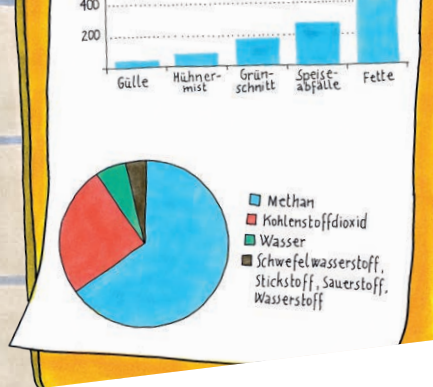




Experiment zur Biogaserzeugung

Handreichung für Lehrkräfte
mit Anleitung und Protokollbogen

ab Klassenstufe 5

Inhalt

Einleitung	3
Theoretische Vorbereitung	5
■ Biogas, ein vielfältiges Naturprodukt	5
■ Die Kuh als Biogasanlage	6
■ Zurück in den Kreislauf	7
Materialliste	8
Das Experiment	9
Ablaufplan	10
Auswertung	12
Weiterführende Literatur und Medien	14
Impressum	15

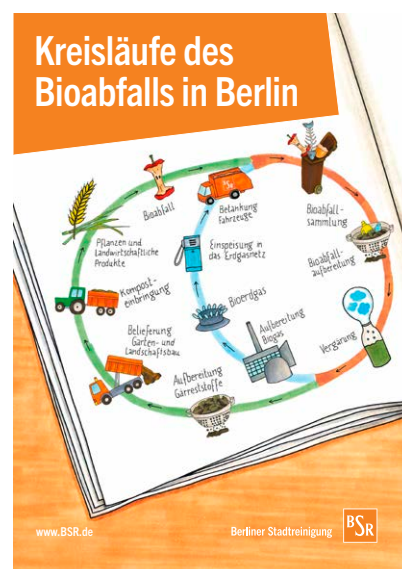
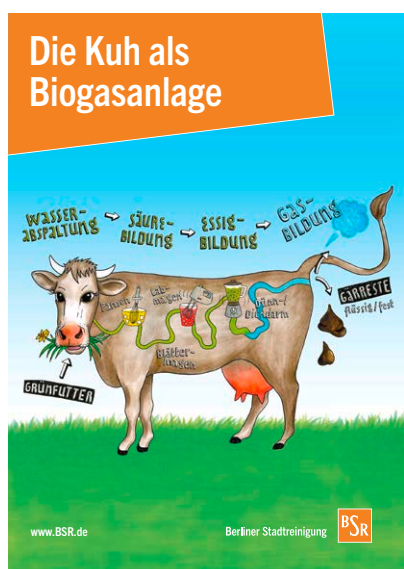
Einleitung

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)¹ sieht vor, dass Bioabfälle spätestens ab dem 1. Januar 2015 getrennt zu sammeln sind. Die Berliner Stadtreinigung (BSR) schließt bereits seit Jahrzehnten den Bioabfallkreislauf, indem sie Bioabfälle (Biogut) aus Berliner Haushalten vom Hausmüll getrennt sammelt und verwertet.

Seit 2013 wird das Biogut in einem Vergärungsprozess in einer Biogasanlage verarbeitet, zu Biogas aufbereitet und in das Berliner Stadtgasnetz eingespeist. Ein Teil der BSR-Müllfahrzeugflotte fährt mit Biogas und spart somit Dieselkraftstoff ein. Da die BSR das Biogut vollständig verwertet, schließt sie den Kreislauf für Bioabfälle.

Das Experiment zur Biogaserzeugung veranschaulicht den Vergärungsprozess und die Entstehung von Gasen sowie den Nutzen der getrennten Sammlung von organischen Abfällen. Es kann in jedem Klassenzimmer ausgeführt werden. Jeweils 2 Schülerinnen und Schüler arbeiten gemeinsam an einem Experimentaufbau. Der Verlauf wird dabei über einen Zeitraum von ca. 1 Woche beobachtet. Die verwendeten Materialien sind haushaltsüblich. Die Schülerinnen und Schüler (SuS) bringen eigenes gärfähiges Material für das Experiment mit.

Diese Handreichung ist im Rahmen der Deponie-Nachsorge der BSR mit der NABU-Naturstation Marienfelde entstanden. Das Experiment wurde mehrfach mit SuS durchgeführt und steht auch als Lernfilm unter www.BSR.de/Grundschule zur Verfügung.



Lernplakate Biogasexperiment

¹ <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf>

ZIELGRUPPE

Das Experiment ist geeignet für SuS ab Klassenstufe 5.

LERNZIELE

Das Experiment veranschaulicht die Biogasentstehung und den Nutzen der Getrenntsammlung von organischen Abfällen durch

- Erkennen der Zusammenhänge der Biogasentstehung
 - Sensibilisierung für die Trennung biologischer Abfälle vom Hausmüll
 - praktisches Arbeiten mit haushaltstypischen Materialien
 - Beobachten und Auswerten mittelfristiger Experimente
-

METHODEN

- Beteiligung der SuS an der Getrenntsammlung von Bioabfällen
 - thematische Einführung mit Lernplakaten, Hintergrundinformationen sowie Lernfilm
 - praktische Partnerarbeit je 2 SuS mit haushaltsüblichen Materialien
 - Vertiefung durch andauernde Beobachtung des Experiments
-

ZEITAUFWAND

- theoretische Vorbereitung und praktische Durchführung: ca. 2 Unterrichtseinheiten
 - Beobachtung und Auswertung: nach Ermessen der Lehrkraft
-

BEREITGESTELLTE INFORMATIONEN UND MATERIALIEN IN DIESER HANDREICHUNG

- Informationen zur theoretischen Unterrichtsvorbereitung
- Ablauf der praktischen Durchführung des Experiments mit Materiallisten
- Kopiervorlagen zur Ausgabe an die SuS
- Hinweise zur Auswertung des Experiments
- 3 Lernplakate mit Bezug zur theoretischen Vorbereitung und praktischen Durchführung
- Link zum Lernfilm: www.BSR.de/Grundschule

Theoretische Vorbereitung

Unsere Gesellschaft hat einen großen Energiebedarf. Immer wieder gibt es Diskussionen, wie er am besten zu decken ist. Gegenwärtig wird ein Teil der benötigten Energie durch die Nutzung von Biogas erzeugt. Strittig ist das vor allem dann, wenn dafür Energiepflanzen angebaut werden.

In der Biogasanlage der Berliner Stadtreinigung werden ausschließlich organische Abfälle aus Berliner Haushalten zu Biogas vergoren. Den Vorgang der Gasentstehung aus der getrennten Bioabfallsammlung soll das Experiment veranschaulichen.

Beispiele im Schülerdialog: Biogas, ein vielfältiges Naturprodukt

Mit dem Hinweis, dass Gase oft durch einen Geruch begleitet werden, kennen und nennen die SuS in der Regel verschiedene Quellen für die Entstehung von Gasen. Dieses Vorwissen wird im Schülerdialog abgefragt und ergebnisoffen diskutiert. Das Wichtigste sagt schon der Name: Es handelt sich um gasförmige Substanzen biologischen Ursprungs. Gemeinsam ist allen diesen Vorgängen, dass sie in feuchter Umgebung stattfinden und ohne Sauerstoff auskommen.

Kompakte Fachinformationen zu Biogas liefert das Online Chemie Lexikon², weitere Literaturquellen befinden sich am Ende dieser Handreichung.

- Sumpfgase in sauerstofffreien Schichten von belasteten Gewässern kann man insbesondere in den Sommermonaten riechen.
- Faulgase im Erdaushub bei Tiefbauarbeiten im versiegelten Gelände führen im städtischen Umfeld zu Geruchsbelastungen bei Baustellen.
- Abbauprozesse von Lebensmitteln: Vergessene Essensreste riechen nach einiger Zeit unangenehm. Aber auch in der Mülltonne „duften“ sie. In den ehemaligen Berliner Hausmüll-Deponien gärt es immer noch. Die BSR saugt die entstehenden Gase kontrolliert ab und macht sie durch Verbrennen unschädlich. (In Marienfelde kann man diese Deponienachsorge besichtigen.³) Manchmal werden Gärprozesse zur Herstellung, Veredelung und Konservierung von Lebensmitteln und Futtermitteln angesprochen. Bei der alkoholischen Gärung (Hefe) und bei der Milchsäuregärung (Milchsäurebakterien) entsteht das energiearme Kohlendioxid.
- Verdauungsgase von Mensch und Tier können wir manchmal riechen! Aber nicht immer produzieren unsere Darmbakterien unangenehm riechende Gase, besonders die brennbaren, energiereichen sind oft geruchlos.

Der Übergang zur Frage, wie genau das Biogas entsteht, gelingt mit dem Hinweis auf das BSR-Lernplakat „Die Kuh als Biogasanlage“ und Erklärung der „pupsenden“ und/oder rülpsenden, wiederkäuenden Kuh.

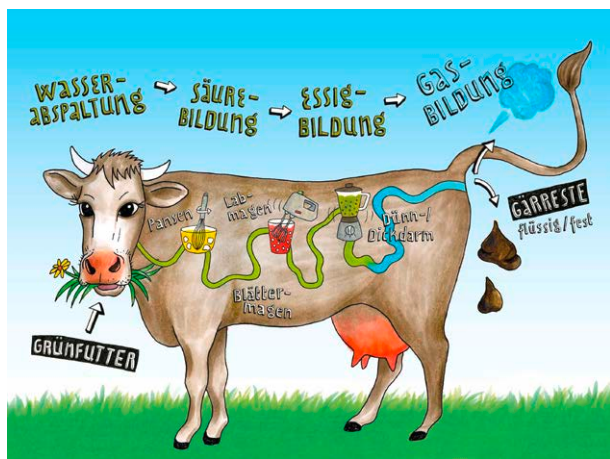
² <http://www.chemie.de/lexikon/Biogas.html>

³ http://www.berlin.de/imperia/md/content/batempelhofschoeneberg/abtbauwesen/umwelt/naturerlebnispfad_alpengipfel.pdf?

Die Kuh als Biogasanlage

Die Kuh ernährt sich von Gras, welches Menschen nicht verdauen können. Genau genommen kann sie das aber auch nicht: Sie holt sich Hilfe von Bakterien, denen sie in ihren Mägen einen Lebensraum bietet. Das ist auch der Grund, warum sie ein „Wiederkäuer“ ist, also das bereits Gegessene noch einmal in ihr Maul befördert und erneut kaut: Die Bakterien sind die eigentliche „Vergärungsanlage“. Sie haben es gern, wenn ihr Futter bereits zerkleinert ist. Dafür ist neben dem Gebiss einer der Mägen der Kuh zuständig. Die Bakterien machen das Gras für die Kuh verdaulich und stellen daraus Nährstoffe her. Dabei produzieren sie Biogas, das wegen des hohen Methananteils (CH_4) so energiereich ist.

Die eigentliche Methangärung⁴ findet im Pansen⁵ statt. Viele verschiedene Bakterien teilen sich die Arbeit und übernehmen jeweils einen biochemischen Schritt. Auf dem Lernplakat sind die Reaktionsschritte zusammengefasst: Wasserabspaltung, Säurebildung, Essigbildung, Gasbildung⁶. Die Kuh verdaut dabei nicht nur das gefressene Gras, sondern auch einen Teil der in den Mägen gewachsenen Bakterien, die der Kuh als zusätzlicher energiereicher Nährstoff dienen. Das entstandene energiereiche Methan ist farblos und geruchsneutral. Es wird in der Natur in Abwesenheit von Sauerstoff im feuchten Milieu von verschiedenen Bakterien aus organischem Material gebildet.



Ausschnitt Lernplakat 1: Die Kuh als Biogasanlage



Ausschnitt Lernplakat 2: Biogas im Experiment

⁴ Gelegentlich wird der Prozess auch als Fermentation bezeichnet. Diese meint jedoch lediglich den Abbau durch Enzyme (alter Ausdruck: Fermente) im Gegensatz zu dem durch Mikroorganismen, die verschiedene Formen der Gärung betreiben. Beide Begriffe werden auch bei der Lebensmittelveredelung synonym verwendet, weil häufig sowohl Gärung als auch Fermentation eingesetzt werden (Käsereifung, Kaffeefermentierung, Matjesherstellung, Sauerteigreifung).

⁵ Wie funktioniert ein Wiederkäuer? <http://www.bauernhof.net/kuehe/verdauung/>

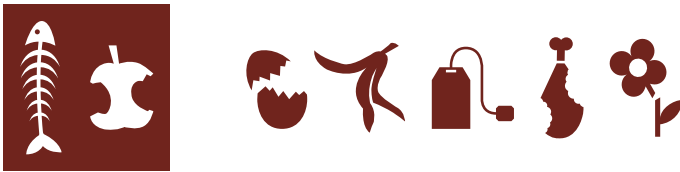
⁶ <http://www.chemie.de/lexikon/Methan>

Zurück in den Kreislauf

In der Natur werden alle organischen Substanzen durch natürlichen Abbau in den Kreislauf zurückgeführt und tragen zur Bodenbildung bei. Um auch im städtischen Leben den Kreislauf zu vollziehen, werden Bioabfälle konsequent getrennt gesammelt und verwertet.

Aus Bioabfall wird Biogut

Weil Bioabfälle gut verwertbar sind, nennen wir sie in Berlin Biogut.



Als Biogut werden in der braunen Tonne⁷ organische Reste gesammelt, wie z. B.:

- Schalen und Reste von Obst und Gemüse (auch von Zitrusfrüchten)
- Tee und Teebeutel, Kaffeesatz inkl. Filter, Eierschalen
- Essensreste, auch Gekochtes, alte Lebensmittel (ohne Verpackung)
- Blumen, Gartenabfälle, auch Rasenschnitt
- Laub, Grün- und Strauchschnitt
- Einwickelpapier, z. B. altes Zeitungs- oder Küchenpapier

Diese organischen Abfälle werden in der BSR-Vergärungsanlage zu Biogas verarbeitet.



Mit dem Biogas werden zurzeit ca. 150 Müllfahrzeuge betankt. Die Gärreste werden in der Landwirtschaft als Kompost und Dünger eingesetzt⁸. Qualitätskompost kann in handelsüblichen Mengen auf den BSR-Recyclinghöfen gekauft werden.

Das Lernplakat „Kreisläufe des Bioabfalls in Berlin“ verdeutlicht die beiden Stoffkreisläufe.

Ausschnitt Lernplakat 3: Kreisläufe des Bioabfalls in Berlin

⁷ http://www.bsr.de/praktische_helfer.php

⁸ <http://www.bsr.de/biogasanlage>

Materialliste

Vorbereitungen

- Vervielfältigen des Protokollbogens „Biogas im Experiment“ (zweiseitig kopieren)
- „Hausaufgaben“ für die SuS: Bioabfälle aus dem häuslichen Umfeld für das Experiment mitbringen lassen. Geeignet sind auch Inhalte von Konserven und Tuben, deren Haltbarkeitsdatum abgelaufen ist.

Werkzeug

je 1 Stück pro Arbeitsplatz

- Küchenmesser / Schälmesser
- Schneidebrett
- optional: Trichter zum Einfüllen von Flüssigkeiten, z. B. Pappkonstruktion aus mitgebrachten Verpackungen

Verbrauchsmaterial

je 1 pro Experiment / 2 SuS

- etwa 500 g Bioabfälle
- etwa 500 ml Flüssigkeit zum Auffüllen (Wasser, Soßen, alte Getränke ...)
- 1 Esslöffel Komposterde oder Waldboden (keine sterilisierte Blumenerde!)
- 1 Brühwürfel (kann entfallen, wenn die Speisereste sehr salzhaltig waren)
- 1 leere Flasche (gasdichte Mehrwegflaschen, z. B. Mineralwasser 0,75 Liter)
- 1 Luftballon (vor dem Verschließen der Flasche einmal aufpusten!)

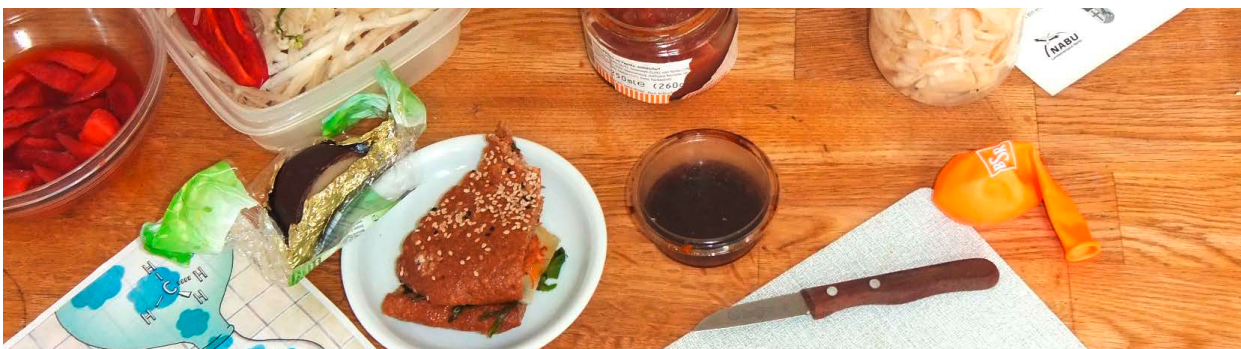
Dokumentation

je 1 pro SuS

- Protokollbogen „Biogas im Experiment“

Sonstiges

3 BSR-Lernplakate: Die Kuh als Biogasanlage, Biogas im Experiment, Kreisläufe des Bioabfalls in Berlin



Eingerichteter SuS-Arbeitsplatz

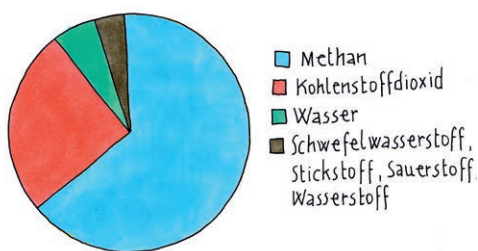
Das Experiment

Um Biogas herzustellen, wird im Experiment der zerkleinerte Bioabfall in ein Gefäß eingeschlossen, mit Komposterde „geimpft“ und feucht gehalten. Mit einem Luftballon als luftdichten Verschluss wird die Gasproduktion schon nach kurzer Zeit sichtbar.

Die Biogas produzierenden Bakterien sind fast überall. In Komposterde oder im Waldboden gibt es besonders viele, die sich bei geeigneten Bedingungen schnell stark vermehren. Gekaufte Blumenerde dagegen ist ungeeignet, denn sie wurde sterilisiert. Weil Bakterien auch Spurenelemente und Salze brauchen, wird etwas Brühe flüssig oder als Brühwürfel hinzugegeben. Salz hemmt die in unserem Experiment unerwünschte Schimmelbildung.

Im Verlauf des Prozesses werden verschiedene Stoffe gebildet. Dazu gehören Kohlenstoffdioxid, Wasser und Gase in wechselnden Volumenanteilen (vgl. Lernplakat 2). Die stinkenden unter ihnen enthalten häufig Schwefel. Den Geruch des Schwefelwasserstoffs z. B. kennen wir aus faulenden Gewässern.

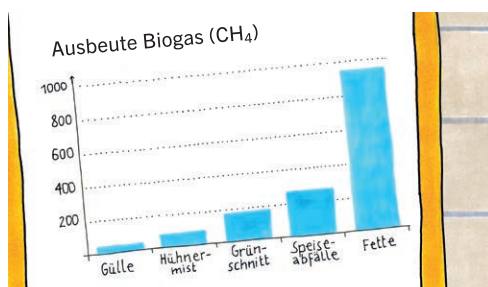
Volumenzusammensetzung Biogas



Aus Lernplakat 2: Zusammensetzung

Der Hauptbestandteil des als Energieträger nutzbaren Biogases ist das geruchlose Methan (CH_4). Es wird auf dem Lernplakat 2 im Kreisdiagramm durch die blauen Flächen symbolisiert. Je größer sein Anteil ist, desto energiereicher ist das Biogas. In technischen Anlagen wird es gereinigt und dann z. B. als Stadtgas verwertet. Unser Experiment liefert uns eine Gasmischung mit unterschiedlicher Zusammensetzung.

Die Menge des gebildeten Methans hängt ab vom Energiegehalt des verwendeten Bioabfalls.



Aus Lernplakat 2: Ausbeute nach Substrat

Das Balkendiagramm gibt Auskunft über die Ausbeute je nach Ausgangsmaterial. Fette und Eiweiße sind energiereicher als Grünschnitt oder Mais, die Ausbeute an Methan ist deswegen größer. Gebratene oder frittierte fett- und eiweißhaltige Speisereste sind beim Getrennsammeln in der Biogut-Tonne daher ausdrücklich erwünscht.

Der Film zum Experiment

Im MP4-Format steht der Lernfilm „Biogasexperiment“ zum Abspielen auf www.BSR.de/ Grundschule bereit. Er zeigt das praktische Vorgehen und eignet sich gut zur Vorführung unmittelbar vor der Durchführung des Experiments.

Ablaufplan

Weisen Sie auf die Verletzungsgefahr durch Messer hin und bitten Sie um eine umsichtige, rücksichtsvolle Arbeitsweise. Legen Sie ein Erste-Hilfe-Set mit Pflaster bereit. Idealerweise landen alle Schneidereste in der Flasche und es bleibt kein Abfall auf dem Arbeitsplatz zurück.

1. Zerkleinern

Die SuS holen die bereitgestellten Brettchen und Messer an ihren Arbeitsplatz und schneiden den mitgebrachten Bioabfall auf etwa 1 cm Kantenlänge. Mindestens aber so klein, dass er in die Flaschenöffnung passt.

2. Einfüllen

Gelegentlichen Ekel überwinden die SuS leicht und finden heraus, wie sich verschiedene Bioabfälle am besten einfüllen lassen. Die Füllhöhe sollte mindestens Dreiviertel der Flasche betragen. Ggf. zum Befüllen einen selbst gebastelten Trichter verwenden.

3. Impfen

Ein Esslöffel Komposterde versorgt den Ansatz mit Bakterien. In sterilisierter Blumen-erde aus dem Laden fehlen diese. Ein Brühwürfel stellt den Bakterien Mineralien zur Verfügung und schützt sie vor Schimmel.

4. Auffüllen

Die Organik-Mischung wird mit Flüssigkeit aufgefüllt, bis das eingefüllte Material bedeckt ist. Nach oben sollen etwa 5 cm frei bleiben. Bei der Reaktion entsteht auch Wasser, das in den Ballon gedrückt wird, wenn die Flasche ganz voll ist.

5. Schließen

Achtung! Beim ersten Mal lässt sich der Luftballon nur schwer aufpusten. Das nehmen wir den Bakterien ab, bevor wir den leeren Ballon über den Flaschenhals stülpen.

6. Protokollieren

Die Flaschen und die Protokollbögen werden mit dem Namen der Experimentatoren beschriftet. Zum Protokoll gehören das Datum, die Namen der experimentierenden SuS und eine Liste der Zutaten, mit denen die Flasche gefüllt wurde.

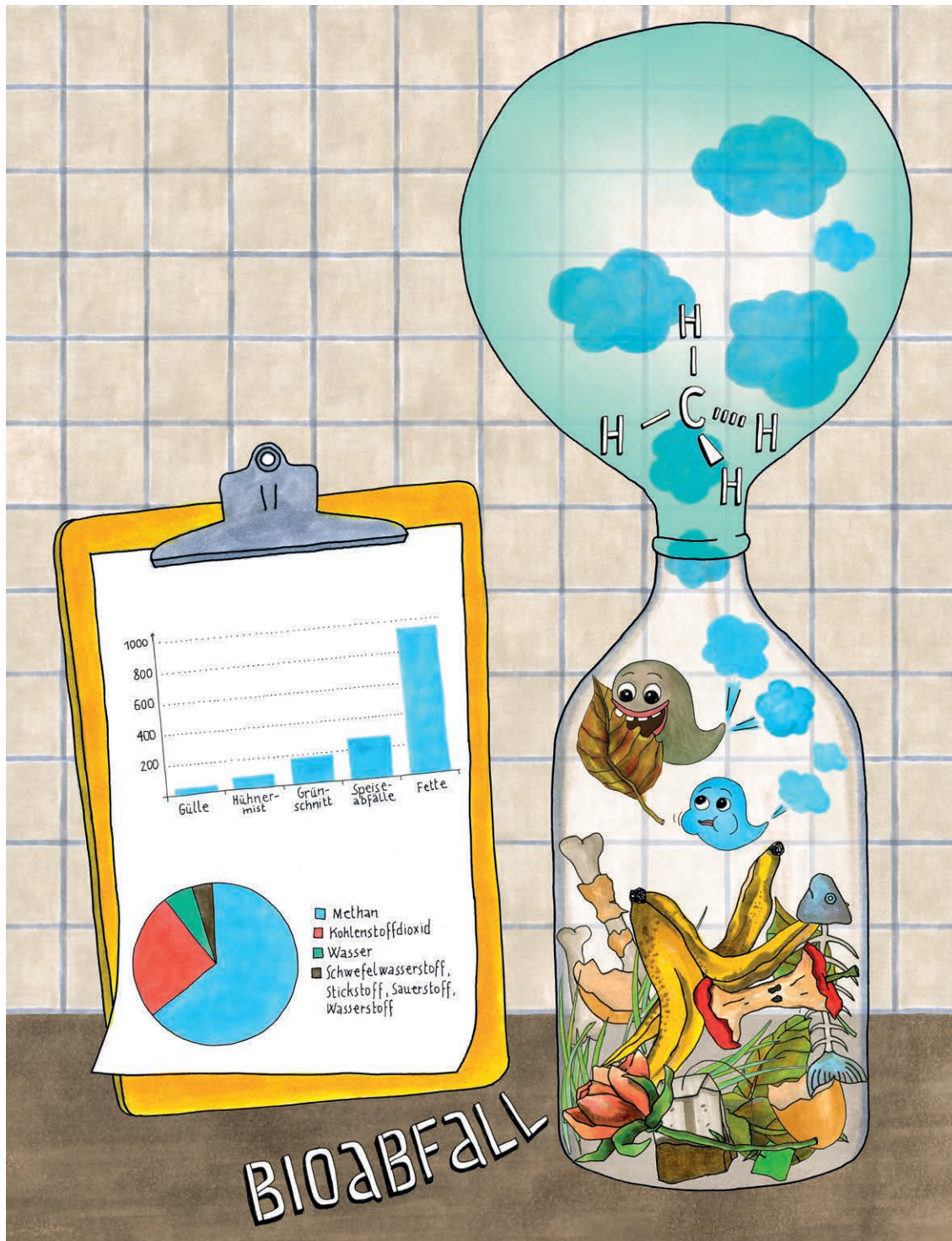
7. Beobachten

Die Experimentieransätze stehen am besten an einem schattigen Platz. Jeden Tag wird kurz beobachtet und diskutiert, was in der Flasche zu sehen ist und wie sich der Ballon verändert.

- Zersetzen sich die Materialien?
- Ändert sich die Farbe?
- Wird der Ballon größer? Optional kann der Ballon-Durchmesser vermessen werden.

8. Auswerten

Die Beobachtungen werden mit den SuS ergebnisoffen diskutiert und können auf dem Protokollbogen festgehalten werden.



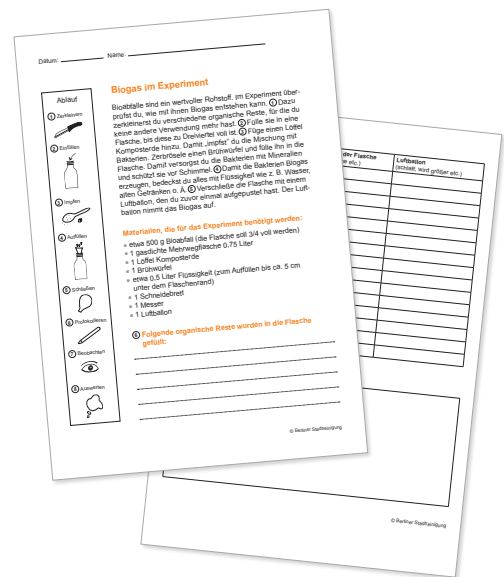
Aus Lernplakat 2: Biogas im Experiment

Auswertung

Die Auswertung, siehe ⑧ im Protokollbogen „Biogas im Experiment“ durch eine Gedankenblase symbolisiert, kann mit unterschiedlicher Intensität vorgenommen werden. Der „Erfolg“ des gefüllten Ballons stellt sich zumeist schon nach recht kurzer Zeit ein: Oft hat er sich schon nach einem Tag auf 10 cm Durchmesser ausgedehnt.

Visuelle Auswertung

- Veränderungen des Flascheninhalts bzgl. Farbe und Konsistenz
- Veränderungen des Luftballons



Qualitative Auswertung

Spekulationen über den Inhalt sind hier willkommen, insbesondere im Zusammenhang mit den eingefüllten Materialien. Wahrscheinlich haben alle Luftballons an Volumen zugenommen. Ausnahmen bestätigen diese Regel (s. u., unerwartete Phänomene).

- Können die SuS Unterschiede zwischen den Ansätzen erkennen?
- Lassen sich diese mit dem Energiegehalt der Füllung erklären?

Wenn Messungen zum Durchmesser des Luftballons erfolgen, kann das Volumen mathematisch bestimmt werden.



Zur Erinnerung: Weil sehr viele verschiedene Arten von Bakterien beteiligt sind, gibt es für fast alles auch Spezialisten mit besonderen Ansprüchen an ihr „Futter“ und ganz eigenen, mitunter stinkenden Endprodukten. Die Zusammensetzung des Biogases variiert deswegen stark.

- Ist unser erzeugtes Gas brennbar?

Im Prinzip: ja. Bakterien spalten die Nährstoffe auf, säuern sie an und wandeln sie in Methan um – ein energiereiches, brennbares Gas. Wenn ein Abzug vorhanden ist, kann ein Brenntest durchgeführt werden. Dazu wird ein Streifen Tesafilm auf den Ballon geklebt. Wird dieser mit einer Stecknadel durchstoßen, strömt das Gas aus und kann auf eine brennende Kerze geleitet werden. Ist die Methankonzentration hoch genug, wird eine feine Flamme in Richtung des Gasstroms sichtbar.

Häufige Fragen und unerwartete Phänomene

- **Kann der Ballon wegen zu großer Gasproduktion platzen?**

Nein, das Volumen des Gases ist dazu zu gering.

- **Der Luftballon füllt sich nicht, sondern wird sogar eingesaugt. Was ist passiert?**

Es kommt vor, dass Sauerstoff zehrende Prozesse überwiegen und den vorhandenen Sauerstoff verbrauchen. Wenn Gründe für eine Hemmung der Methangärung vorliegen, kann das Experiment mit einer negativen Gasproduktion enden.

- **Der Ballon wird zwischendurch immer wieder kleiner. Was ist passiert?**

Das kann vielfältige Ursachen haben. Oft ist es jedoch eine Überlagerung mit thermischen Prozessen: Mit steigender Temperatur dehnt sich jedes Gas aus. Bei fallenden Temperaturen nimmt das Volumen dann wieder ab. Waren die Zutaten zur Zeit der Befüllung z. B. kühl, dehnen sich die Gase in der Flasche und im Ballon bereits mit der Erwärmung auf Zimmertemperatur aus. Sinkt die Umgebungstemperatur, ziehen sich Gase wieder zusammen. Durch die zunehmende Biogasproduktion wird der Temperatureffekt über den Beobachtungszeitraum schwächer werden.

- **Der Ballon wird nur kurz größer, dann wieder kleiner. Was ist passiert?**

Luftballons werden mit der Zeit durchlässig. Waren sie schon länger gelagert, geht das schneller. Möglicherweise wird das Bakterienwachstum auch gehemmt durch zu viel Säure, Schimmel, Antibiotika o. a. Manchmal hilft die Zugabe von Kalk – zur Senkung des pH-Werts – oder Salz zur Hemmung der Schimmelbildung.



Weiterführende Literatur und Medien

Filme BSR

- zur Biogasanlage: www.bsr.de/9495.html
 - Wie Biogut zu Biogas wird (ca. 5 Min.) und
 - Entstehung der Biogasanlage (ca. 10 Min.)
- Experiment zur Biogaserzeugung
 - Version für Lehrkräfte: www.BSR.de/Grundschule
 - Version für Schülerinnen und Schüler: www.BSR.de/Grundschule
- Clip zur Abfalltrennung: www.BSR.de/Grundschule

Bericht TrenntMagazin

- Was vom Abend übrig bleibt:
<http://trenntmagazin.de/biogut-was-vom-abend-uebrig-bleibt>

Broschüren zum Download

- Handreichung für Lehrkräfte – Experiment zur Biogaserzeugung: www.BSR.de/Grundschule
- Umweltfreundlich Energie erzeugen: www.umwelt-im-unterricht.de
- „Magazin Bioenergie“, 2013, Zeitbild Verlag: <https://mediathek.fnr.de/zeitbild-wissen-bioenergie.html>

Theorie zur Biogaserzeugung

- http://biogas-infoboard.de/pdf/Biologie_der_Biogaserzeugung.pdf
- <http://www.chemie.de/lexikon/Methan.html>

Fortbildungs- und externe Experimentiermöglichkeiten

- Im Rahmen der SchülerUni an der Freien Universität Berlin (siehe: www.fu-berlin.de/sites/schueleruni/) sowie auf Nachfrage bietet die BSR Fortbildungen für interessierte Fachkräfte sowie eine externe Experimentbetreuung an Ihrer Schule an. Bei Interesse bitte Anfragen unter: Umweltbildung@BSR.de

Herausgeber

Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR)
Ringbahnstraße 96
12103 Berlin
Tel. 030 7592-4900
Fax 030 7592-2262
www.BSR.de

Autorinnen

Dr. Karin Drong, Projekte und Beratung – Ökologie und Umweltpädagogik
Claudia Frohn, Berliner Stadtreinigungsbetriebe, Vorstandsbüro Marketing

© Berliner Stadtreinigungsbetriebe 2016
Alle Rechte vorbehalten. Wiedergabe, auch
auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung.

