

Wie entsteht Biogas? – Eine Einführung in die moderne Vergärungstechnologie

Prof. Dr.-Ing. Eckhardt Kraft, Bauhaus-Universität Weimar

Herzlich Willkommen in unserem Kurs „Wie entsteht Biogas? – Eine Einführung in die moderne Vergärungstechnologie“ zum SDG 7 – Bezahlbare und saubere Energien. Hier werden Sie anhand der Biogasanlage der Firma Biothan GmbH in Fulda alle Prozessabschnitte bei der Erzeugung von Biogas aus Biomasse kennenlernen und erlernen. Zur Veranschaulichung steht dabei ein virtueller 360°-Rundgang über die Anlage in Fulda im Mittelpunkt, der den theoretischen Teil mit der Praxis verknüpft. Dieser Rundgang ist in fünf Abschnitte unterteilt, die nach und nach freigeschaltet werden. Nach jedem Abschnitt wird zuerst das erlernte Wissen in Form eines Multiple Choice Quiz abgefragt. Im Anschluss wird dann der nächste Abschnitt zur Verfügung gestellt.

Der erste Abschnitt behandelt die theoretischen Grundlagen der anaeroben Vergärung von Biomasse zu Biogas und ist inhaltlich an den Prozess der Nassfermentation (A) auf der Anlage in Fulda gekoppelt. Hier wird erläutert, wie die „nasse“ Biomasse, wie z.B. verdorbene Lebensmittel aus Supermärkten, zu Biogas vergoren wird. In Abschnitt zwei, der Trockenfermentation (B), werden die Verfahrenstechniken (der Monod-Kinetik und der Reaktortypen) und die genauen Parameter bei der Erzeugung von Biogas aus vornehmlich Bioabfall und Grünschnitt erklärt. Im anschließenden dritten Abschnitt geht es um die nachgeschaltete Kompostierung (C), die durch aeroben Abbau dieser Gärreste gütegesicherten Kompost erzeugt. Abschnitt vier erklärt, wie die Gasaufbereitung (D) und anschließende Einspeisung in das Gasnetz funktioniert und was die Besonderheit an der Biothan-Anlage in Fulda ist. Hier angegliedert ist ein Exkurs zu so genannten BHKWs (Blockheizkraftwerken). Der abschließende fünfte Abschnitt klärt über die mit dem Bau verbundenen Ausgleichs- und Naturschutzmaßnahmen (E) und die Historie (F) des Ortes auf, der zudem einen Exkurs zu deren Planung enthält.

Jedem Abschnitt ist eine Einführung mit Erläuterungen der wichtigsten Fachbegriffe und Prozessschritte vorangestellt, auf den Sie während des virtuellen Besuchs (der sich in einem zweiten Tab öffnet) hier im Kurs jederzeit zugreifen können. Zudem enthält der Rundgang selbst ein Verständnis förderndes Glossar mit weiteren Fachbegriffen.

Wie der virtuelle Rundgang zu bedienen und zu nutzen ist, erfahren Sie beim Start des ersten Abschnitts. Für eine korrekte und vollständige Darstellung aller Inhalte empfehlen wir die Nutzung eines Desktop-Rechners mit HD-Bildschirm und einen aktuellen Webbrowser. Eine fehlerfreie Nutzung über mobile Endgeräte wie Smartphones und Tablets kann nicht garantiert werden.

Wenn Sie alle 5 Abschnitte mit den Zwischenquizen absolviert haben, werden Sie zur Abschlussprüfung in Form eines 60 Fragen umfassenden Multiple Choice Tests weitergeleitet. Wenn Sie diese Befragung mit mindestens 30 richtig beantworteten Fragen abschließen, erhalten Sie im Anschluss Ihr Zertifikat mit 2 ECTS zum Download.

Und nun viel Freude und Erfolg mit unserem Kurs „Wie entsteht Biogas? – Eine Einführung in moderne Vergärungstechnologien.“

Alter Titel: Vergärungstechnologie als Teil stadttechnischer Infrastruktur aufbereitet im virtuellen Raum

1. Der Vergärungsprozess

Abschnitt (A) Nassfermentation im 360°-Rundgang

Für das Verständnis der Prozesse, die während der Vergärung ablaufen, werden im folgenden Teil die dazu notwendigen Grundlagen geschaffen. Diese sind wichtige Voraussetzung für die Erfassung der Abschnitte Nass- und Trockenfermentation.

Vergärung – anaerober Abbau

Die Vergärung bezeichnet die Zersetzung von Biomasse durch Mikroorganismen unter Abwesenheit von Sauerstoff. Die Begriffe anaerober Abbau oder Fermentation werden synonym verwendet. Das Hauptziel der Vergärung ist der vollständige Umsatz des Ausgangsmaterials zu Biogas.

Das Grundprinzip des Biogasbildungsprozesses umfasst die Umwandlung des biogenen Materials in energiereiches Biogas basierend auf dem Stoffwechsel einer Vielzahl von Mikroorganismen. Die Mikroorganismen weisen einen einfachen Enzymhaushalt auf, sodass höhermolekulare organische Verbindungen immer nur in die nächst niederen organischen Komponenten zerlegt werden. Der Abbau des komplexen Moleküls wird also in mehreren aufeinander folgenden Schritten von verschiedenen Mikroorganismengruppen durchgeführt. Es handelt sich um eine schrittweise Degradation, bei der eine kontinuierliche Reduktion der Energiegehalte stattfindet. Die Aktivität der Mikroorganismen wird durch die enge Abhängigkeit untereinander und die gegebenen Randbedingungen durch technische, organisatorische und klimatische Einflüsse beeinflusst.

Die Mikroorganismen sind in fakultative und obligate Anaerobier zu unterscheiden. Fakultativ anaerobe Organismen können ohne Sauerstoff leben, erreichen ihr optimales Wachstum aber in Gegenwart von Sauerstoff. Obligat anaerobe Organismen betreiben ihren Stoffwechsel ausschließlich unter Ausschluss von Sauerstoff. Sie vergären die organische Substanz, ohne Sauerstoff zu verbrauchen. Als Sauerstoffakzeptor wird von Anaerobiern der organische Kohlenstoff genutzt. Der Abbau der organischen Substanz zu Methan (CH_4) findet nicht in einem Schritt statt. Er wird von verschiedenen Organismengruppen nacheinander durchgeführt, die voneinander abhängig sind und eine Nahrungskette bilden. Die Kette verläuft in vier Stufen und umfasst hydrolytisch/fermentative, acetogene und methanogene Bakterien.

Hydrolyse (Verflüssigungsphase)

Die Biopolymere können als unlösliche Fasern oder Körner vorkommen und damit zu groß für die direkte Aufnahme sein. Besondere Atome bzw. Atomgruppen (Hydroxyl-, Amino- oder Sulfidsubstituenten) bieten Angriffsmöglichkeiten für hydrolytische Exoenzyme (Hydrolasen) [4]. In der ersten Stufe, der Hydrolyse, spalten fermentative Bakterien die polymeren Verbindungen wie Kohlenhydrate, Proteine und Fette mit Hilfe von Exoenzymen in die entsprechenden löslichen Monomere, Dimere bzw. Oligomere. An diesen Reaktionen sind sowohl fakultativ als auch obligat anaerobe Bakterien beteiligt. Dies geschieht energieneutral bzw. mit wenig Energieaufwand. Der optimale pH-Bereich für diesen Vorgang liegt dabei bei 5–6.

Acidogenese (Versäuerungsphase)

In der zweiten Phase werden die löslichen, meist monomeren Abbauprodukte durch die Cytoplasmamembran der fermentativen Bakterien in die Zelle aufgenommen und weiter abgebaut. Die Verbindungen werden zu organischen Säuren (z.B. Propion- und Buttersäure) und Alkoholen sowie zu Wasserstoff (H_2), Kohlendioxid, Ammoniak (NH_4) und Schwefelwasserstoff (H_2S) vergoren. Entscheidend für den Abbau ist der Wasserstoffpartialdruck. Bei niedrigem Druck werden überwiegend CO_2 , H_2 und Acetat umgesetzt und bei hohem Druck zusätzlich längerkettige organische Säuren und Alkohole gebildet. Das pH-Optimum in dieser Phase liegt bei 4–6.

Acetogenese (Essigsäurephase)

In der dritten Phase findet die Essigsäurebildung statt. Bei der Gärung von längerkettigen Fettsäuren oder Alkoholen zu Essigsäure oder Essigsäure und Kohlenstoffdioxid wird direkt Wasserstoff freigesetzt. Dafür ist eine syntroph gekoppelte Folgereaktion notwendig, in der die Endprodukte Wasserstoff und/oder Essigsäure ständig verbraucht werden. Dies erfolgt durch acetogene (essigsäurebildende) und methanogene (methanbildende) Bakterien. Beide Bakteriengruppen stehen in einem bezüglich

ihrer wechselseitigen Nahrungsansprüche symbiotischen Verhältnis, sie bilden eine syntrophe (abhängige) Lebensgemeinschaft.

Methanogenese (Methanphase)

In der Methanogenese findet die Verwertung der Reaktionsprodukte der fermentativen und acetogenen Bakterien statt. Von der Zwischenproduktion der zweiten Phase können die Methanbakterien nur Essigsäure, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid direkt in Methan umsetzen. Durch die Umsetzung von Wasserstoff mit Kohlenstoffdioxid zu Methan und durch Acetatumsatz zu Methan und Kohlenstoffdioxid schaffen die Methanbakterien den nötigen niedrigen Wasserstoffpartialdruck und eine niedrige Acetatkonzentration. Die letzte Phase ermöglicht damit einen vollständigen Abbau der organischen Reststoffe zu Biogas. Das pH-Optimum für diese Phase liegt bei 6,6- 7,5.

Die Endprodukte des anaeroben Stoffwechsels sind somit Kohlenstoffdioxid und Methan, deren Gemisch man als Biogas bezeichnet. Die folgende Tabelle stellt den mehrphasigen Prozess vereinfacht dar.

	1. Phase	2. Phase	3. Phase	4. Phase
Name	Hydrolyse	Acidogenese,		
Versäuerung	Acetogenese,			
Essigsäurebildung		Methanogenese/ Methanbildung		
Ausgangsstoffe	Komplexe Kohlenhydrate,			
Eiweiße, Fette	Aminosäuren,			
Zucker,				
Fettsäuren	z.B. Essig-,			
Propion- und				
Buttersäure	Essigsäure, H ₂			
Mikroorganismen	Fermentative	Acidogene / Fermentative	Acetogene	Methanogene
Zwischenprodukte	Einfache organ.			
Verbindungen	Niedere			
Fettsäuren	Essigsäure			
Endprodukte	CO ₂	CO ₂ , H ₂	CO ₂ , H ₂ , NH ₄	CO ₂ , CH ₄

Tab. 01: Vereinfachte Darstellung des anaeroben Abbaus organischer Substanzen

Der Gesamtprozess lässt sich auch als Fließbild darstellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die vier Prozessphasen auch gleichzeitig parallel ablaufen können. An dieser Stelle setzen die Überlegungen zur technischen Umsetzung und Ausgestaltung der biologischen Prozesse an.

Abb. 01: Schematischer Ablauf der Vergärung zur Methanbildung

2. Die Vergärungsparameter

Abschnitt (B) Trockenfermentation im 360°-Rundgang

Monod-Kinetik

Damit die biologischen Prozesse in den Fermentern kontinuierlich und ohne Unterbrechungen funktionieren, werden über die Monod-Kinetik die Umsatzraten und damit die Zuwachsraten der Biomasse gemessen und anhand dieser das Verfahren gesteuert.

Die Wachstums- oder Monodkinetik gibt den empirischen Zusammenhang zwischen Biomassezuwachs pro Zeit (Wachstumsrate) und der Substratkonzentration an. Die Wachstumsrate steigt mit der Zunahme der Substratkonzentration. Bei zunehmender Verdünnungsrate infolge erhöhter

Substratzugabe reagieren die Bakterien mit zunehmender Stoffwechselaktivität, was einen zunehmenden Substratverbrauch zur Folge hat. Die Zunahme des Substratverbrauches erfolgt aber mit einer kleinen zeitlichen Verzögerung, so dass es zu einer Erhöhung der Wachstumsrate kommt.

Abb. 02–03: Umsatzraten der Monod-Kinetik

Beim bakteriellen Substratabbau handelt es sich um eine enzymkatalysierte Reaktion, die einer Sättigungskinetik folgt. Daraus folgt, dass die Wachstumsrate nach dem Erreichen der maximalen Wachstumsrate bei weiterer Substratzugabe nicht mehr weiter steigt. Wird die maximale Wachstumsrate erreicht und es erfolgt eine weitere Erhöhung der Substratzugabe (Verdünnung), so bricht das Gleichgewicht am Auswaschpunkt zusammen, da die Auswaschrage nicht mehr durch steigenden Bakterienenertrag kompensiert werden kann. Insbesondere die Veränderung der Trockensubstanz, die mit der Veränderung der Bakteriendichte einhergeht, ist zu berücksichtigen. Ist die Wachstumsrate klein, muss auch die Verdünnungsrate entsprechend klein sein, um das Gleichgewicht konstant zu halten und die Bakterien nicht aus der Lösung zu schwemmen.

Bioprozesskinetik

Die Beschäftigung mit den wesentlichen kinetischen Abläufen der Mikroorganismen, insbesondere der Produktbildung und des Wachstums, ist für die optimale Betriebsführung zwingend. Dabei werden auch Limitierungen oder auch Hemmungen betrachtet. Die wird unter dem Begriff der Bioprozesskinetik zusammengefasst.

Das dargestellte Diagramm zeigt die Entwicklung der Mikroorganismen während des anaeroben Abbaus in einer Batch-Prozessführung. Bei einer kontinuierlichen Prozessführung werden die Mikroorganismen in der exponentiellen Phase in ihrem optimalen Bereich gehalten.

Abb. 04: Entwicklung der Mikroorganismen während des anaeroben Abbaus, Batch-Prozessführung

In der ersten Phase (Anlauf- oder lag Phase) werden erste Mikroorganismen über eine Impfgutzugabe hinzugefügt. Die Entwicklung der Mikroorganismen ist dann abhängig von der Vorkultur bzw. dem Alter der Vorkultur, der Adaption im Milieu und den Bedingungen im System. Es handelt sich also um die Anzucht der Mikroorganismen. Die zweite Phase (exponentielle Phase) beginnt mit dem Ende der Anlaufphase und der Anpassung der Organismen an die Milieubedingungen. Das Wachstum beginnt und wird ausschließlich durch interne Faktoren wie die Enzymkinetik bestimmt. Die exponentielle Phase hält an, bis essenzielle Nährstoffe verbraucht sind, sich toxische Substanzen bilden oder eine zu hohe Zelldichte besteht. In der folgenden stationären Phase stagniert das Wachstum der Mikroorganismen und die maximale Zelldichte ist erreicht. Ist das Nährstoffangebot verbraucht, verfallen die Organismen in kannibalistische Vorgänge und die Absterbephase beginnt. Die Veränderung der Milieubedingungen kann ebenfalls zum Absterben der Mikroorganismen führen.

Enzym

Das Enzym sorgt für die Beschleunigung von biochemischen Reaktionen bzw. Stoffwechselprozessen in Organismen. Als Katalysator bleibt es während der Reaktion unverändert. Enzyme sind komplexe Moleküle und meist Proteine.

Enzymkinetik

Die Enzymkinetik beschreibt die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit einer enzymkatalysierten Reaktion von verschiedenen Parametern wie der Substratkonzentration, Zusammensetzung, Druck, Temperatur, Ionenstärke und pH-Wert.

Substratdosierung

Der Energiegewinn im anaeroben Abbauprozess wird in jedem Schritt geringer, sodass die Wachstumsgeschwindigkeiten der Bakterien sich zum Ende der Kette hin verringern. Die Substratdosierung muss damit den ersten Abbauschritt limitieren, damit die langsam wachsenden Methanbakterien Zeit für eine Anpassung haben. Wird dies nicht beachtet und die Bakterien der ersten beiden Phasen vermehren sich zu schnell sinkt der pH-Wert in den sauren Bereich und die Methanbakterien werden zusätzlich zur geringen Stoffwechselaktivität gehemmt. Kippt der Prozess komplett ins saure Milieu muss der Gärreaktor komplett geleert und neutralisiert werden. Dies ist in praktischen Anwendungen unbedingt zu vermeiden. Neben dem pH-Wert muss bei der Dosierung auch auf den Wasserstoffgehalt geachtet werden, um eine Wasserstoffhemmung zu vermeiden (siehe Wasserstoffpartialdruck).

Prozessparameter

pH-Wert

Während des anaeroben Abbaus laufen parallel pH-senkende Versäuerungsprozesse (Bildung organischer Säuren durch Acidogenese) und pH-anhebende Abbauprozesse für Säuren (Abbau der organischen Säuren durch Acetogenese und Methanogenese) statt. Der optimale pH Bereich für die ersten beiden Stufen liegt zwischen 5,2 und 6,3. Hingegen ist der Bereich von 6,7 bis 7,5 für die letzten beiden Stufen optimal. Acetogene und methanogene Bakterien reagieren empfindlich auf niedrige pH-Werte, während die Aktivität von hydrolytische und acidogene Bakterien auch noch bei neutralen pH-Werten ausreicht bzw. sie eine größere Toleranz gegenüber pH-Werten im sauren Bereich aufweisen. Der pH-Wert sollte im Prozess somit nicht unter 6,7 fallen.

Die meisten beteiligten Bakteriengruppen erreichen ihr Aktivitätsoptimum im schwach alkalischen Bereich.

Temperatur

Es besteht die Möglichkeit den Prozess in verschiedenen Temperaturbereichen zu führen. Der mesophile Bereich mit 30–42 °C weist optimal Umsatzraten bei überschaubarem Aufwand für die Temperierung auf. Der thermophile Bereich mit 50-55 °C erreicht einen intensiveren bzw. schnelleren Abbau, sorgt aber auch für eine geringere Prozessstabilität. Die Option der Hygienisierung des Gärrestes würde einen Vorteil des thermophilen Betriebes darstellen. Dennoch werden die meisten Reaktoren im Zuge des anaeroben Abbaus im mesophilen Temperaturbereich gefahren.

Wasserstoffpartialdruck

Der Wasserstoffpartialdruck beeinflusst den Biogasbildungsprozess maßgeblich. Beim anaeroben Abbau organischer Substanzen entsteht während der fermentativen Phase bei der Umsetzung der Monomere und bei der acetogenen Phase beim Abbau von länger-kettigen Fettsäuren und Alkoholen molekularer Wasserstoff. Je höher der Wasserstoffpartialdruck (also mehr Wasserstoff im System enthalten), umso mehr wird das Spektrum der Gärprodukte von Essigsäure und Wasserstoff zu Fettsäuren und Alkoholen verschoben. Insbesondere für den Abbau von länger-kettigen Fettsäuren ist eine acetogene Population obligatorisch für den weiteren (vollständigen) Abbau., da dieser sonst auf der Stufe der Fettsäuren und Alkohole stehen bleibt. Die Vermeidung der Wasserstoffansammlung ist dann auf eine syntrophe Folgereaktion angewiesen, welche den Wasserstoffpartialdruck gering hält. Die Methanbildung verbraucht Wasserstoff und hält den Druck niedrig. Die acetogene Umsetzung wird also zum limitierenden Schritt, da für in der Acetogenese ein niedriger Wasserstoffpartialdruck benötigt wird, der Wasserstoff aber das Substrat für die Methanbakterien darstellt (Substratlimitierung).

Prozesstechnologien

In der Vergärungstechnologie bestehen verschiedene mögliche Verfahren zur Prozessdurchführung des anaeroben Abbaus. Zu unterscheiden gilt es in thermophile/mesophile, trockene/nasse, einstufige/zweistufige und batch/kontinuierliche Prozessführung.

Bei der Unterscheidung in mesophile und thermophile Prozessführung ist die Temperatur entscheidend. Der mesophile Temperaturbereich liegt bei 30-42 °C, wohingegen der thermophile Bereich bei 50-55°C liegt. In beiden Fällen werden vergleichbare Abbauleistungen erzielt. Allerdings weist die thermophile Führung einen schnelleren bzw. intensiveren Abbau auf, während die mesophile Führung eine längere Verweilzeit benötigt. In der thermophilen Prozessführung kann eine Hygienisierung bei ausreichend langer Verweilzeit stattfinden. Der Vorteil hingegen bei der mesophilen Prozessführung liegt in der höheren Prozessstabilität. Tabelle 02 – Vergleich zwischen mesophiler und thermophiler Verfahrensführung fasst dies zusammen.

Tab. 02: Vergleich zwischen mesophiler und thermophiler Verfahrensführung

Des Weiteren können die Verfahren je nach Trockensubstanzgehalt im Fermenter unterschieden werden. Trockene Verfahren mit einem Gehalt von ca. 35 Gew.-%, wohingegen der Gehalt von Nassverfahren bei ca. 10 Gew.-% liegt. Liegen höhere Trockensubstanzgehalte der Substrate vor, wird Prozesswasser zugeführt, um die Werte der Nassvergärung zu erreichen (Anmaischung). Für die Nassvergärung muss eine pump- und rührfähige Suspension vorliegen. Bei der Trockenvergärung kann man zusätzlich noch in kontinuierliche und diskontinuierliche (batch) Betriebsweise unterscheiden. Tabelle 03 fasst den Vergleich von Trocken- und Nassfermentation zusammen.

Tab. 03: Vergleich zwischen Trocken- und Nassverfahren

Kontinuierliche Verfahren (wie sie auf der Biothananlage durchgeführt werden) zeichnen sich durch eine regelmäßige Substratzuführung mit Entnahme einer entsprechenden Menge Gärrest aus. Dies sorgt für eine größtenteils kontinuierliche Biogasproduktion mit gleichbleibender Qualität. Fermenter von diskontinuierlichen Verfahren werden befüllt und anschließend für 3-4 Wochen verschlossen. Über diesen Zeitraum wird das Substrat mit Perkolat bzw. Prozesswasser berieselt. Anschließend werden die Fermenter vollständig entleert und neu befüllt. Die folgende Tabelle 04 zeigt die Vor- und Nachteile von Trocken- und Nassvergärungsverfahren.

Tabelle 04: Vor- und Nachteile trockener und nasser Vergärungsverfahren

Die folgende Abbildung 03 unternimmt den Versuch einer weiteren Systematisierung nach Prozess- und Betriebsführung.

Abb. 05: Typisierung der Vergärung nach deren Technik und Prozess- und Betriebsführung

Reaktortypen Fermenter

Je nach zu vergärenden Materialien gibt es unterschiedliche Reaktortypen, die zum Einsatz kommen. Im folgenden Abschnitt werden die drei wichtigsten Typen und ihr Verfahren erklärt.

Abb. 06: Reaktortypen

DRANCO-Verfahren (Nassfermentation Biothan GmbH)

Beim DRANCO-Verfahren (Organic Waste Systems – OWS) wird zur Aufbereitung von Bioabfällen zunächst eine manuelle Störstoffabtrennung vorgenommen. Anschließend erfolgt eine Zerkleinerung und Siebung auf Korngrößen < 40mm. Vor der Vergärungsstufe kann eine Kugelmühle platziert sein, mit der die zu vergärenden Restabfälle aufbereitet werden. Der Siebunterlauf gelangt nach einer Fe-Scheidung in eine Dosiereinheit, mit deren Hilfe Anlieferungsschwankungen aufgefangen werden. Eine

gezielte aerobe Hydrolyse findet nicht statt. In einem Mischer wird das Material auf einen Trockensubstanzgehalt von ca. 25–35% angemaischt und mit Hilfe einer Kolbenpumpe mit Vorpresseinrichtung in den Reaktor eingetragen. Die Vergärung wird ausschließlich im thermophilen Temperaturbereich betrieben, wobei die Erwärmung des Materials durch die Zugabe von Sattedampf erfolgt. Die Reaktoren werden als stehende zylindrische Behälter in Betonbauweise erstellt. Die Entnahme des Materials erfolgt am konisch ausgeführten Boden des Reaktors, während die angemaischten Abfälle und das rezirkulierte Material am Reaktorkopf zugeführt werden, sodass das Material den Reaktor nach unten durchströmt. Die hydraulische Verweilzeit beträgt etwa 20–30 Tage. Durch den großen Umwälzstrom bei dem Substrateintrag wird der Reaktorinhalt innerhalb zweier Arbeitstage umgewälzt, es liegt somit eine quasi-volldurchmischte Betriebsweise vor. Die Entwässerung des Gärrestes erfolgt mittels Siebschneckenpressen unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln.

VALORGA-Verfahren

Das VALORGA-Verfahren weist in der Aufbereitung der Abfälle Ähnlichkeiten mit dem DRANCO-Verfahren auf. Die Abfälle werden zunächst zerkleinert, auf eine Korngröße < 40mm abgesiebt und die Feinfraktion dem Reaktor nach Anmischung auf TS-Gehalte von 25 bis 35% mit einer Feststoffpumpe in den Reaktor gefördert. Die Erwärmung des Gärsubstrates erfolgt sowohl durch die Erwärmung des Prozesswassers für die Anmischung als auch durch Zudosierung von Sattedampf in den Reaktor. Ausgeführt sind die Reaktoren als stehende zylindrische Betonbehälter. Eine Besonderheit des Reaktors stellt die Mittelwand im Reaktor dar, die über etwa 2/3 des Reaktordurchmessers verläuft. Sie trennt den Ein- und Austrittsbereich des Gärmaterials, wodurch Kurzschlussströmungen vermieden werden sollen. Das Gärmaterial wird somit zu einer horizontalen kreisförmigen Förderrichtung gezwungen, sodass das System als Pfropfenstromverfahren angesehen werden kann. Die Durchmischung des Reaktorinhaltes erfolgt ohne mechanische Einbauten durch ein pneumatisches System. Periodisch wird Biogas im Kreislauf unter einem Druck von bis zu ca. 10 bar über Düsen am Reaktorboden vertikal eingepresst und auf diese Weise eine effektive Durchmischung angestrebt. Die Betriebsweise erfolgt wahlweise mesophil oder thermophil, mit hydraulischen Verweilzeiten zwischen etwa 14 und 28 Tagen. Ohne den Einsatz mechanischer Fördereinrichtungen werden die Gärreststoffe mittels Schwerkraft ausgetragen. Die Entwässerung ist zweistufig und besteht zumeist aus Siebschnecken- und Bandfilterpresse. Bei Bedarf wird eine Abscheidung feiner Inertstoffe aus dem Prozesswasser durch Hydrozyklone (Sandabscheidung) und Zentrifugen durchgeführt.

KOMPOGAS-Verfahren (Trockenfermentation Biothan GmbH)

Bioabfälle werden bei dem KOMPOGAS-Verfahren vorzerkleinert bzw. auf Korngrößen < ca. 80 mm gesiebt, einer Fe-Scheidung unterzogen und in einer zweiten Zerkleinerungsstufe mit einer Schneidscheibenmühle auf eine Korngrößen < 40mm konfektioniert und in einem Zwischenbunker gespeichert, wie in dargestellt. Die Speicherkapazität ist auf einen Zeitraum von ca. 3 Tagen ausgelegt und ermöglicht eine kontinuierliche Beschickung der Vergärung auch über das Wochenende. Eine gezielte aerobe Hydrolyse wird nicht vorgenommen. Die aufbereiteten Bioabfälle werden mit Prozesswasser auf einen Trockensubstanzgehalt zwischen ca. 25 und 30% angemaischt und mittels Feststoffpumpen quasi-kontinuierlich in den Reaktor eingetragen. Der liegende Reaktor arbeitet nach dem Pfropfenstromprinzip. Die anaerobe Behandlung des Substrates erfolgt ausschließlich bei thermophilen Temperaturen zwischen ca. 50 und 55°C. Der Reaktorzulauf wird in Doppelrohr-Wärmeübertragern erwärmt, während die Abstrahlungsverluste über eine Reaktorbeheizung ausgeglichen werden. Die Verweilzeit im Reaktor beträgt etwa 15–20 Tage. Der Reaktorablauf wird teilweise zur Animpfung des Inputmaterials mit aktiver Biomasse rückgeführt. Das überschüssige Material wird in einer zweistufigen Entwässerung mittels Siebschneckenpresse und Dekanter behandelt und der Dekanterablauf teilweise zur Anmischung der Abfälle genutzt. Die weitergehende Aufreinigung des Prozesswassers erfolgt in der Regel unter Zuhilfenahme von Flockungshilfsmitteln, wodurch der Trockensubstanzgehalt des Wassers auf unter 2% reduziert wird.

3. Die Kompostierung

Abschnitt (C) Kompostierung im 360°-Rundgang

Kompostierung - aerober Abbau

Unter der Kompostierung versteht man den Abbau organischer Substanzen unter Einfluss von Sauerstoff durch heterotrophe Mikroorganismen. Im Unterschied zum anaeroben Abbau findet kein Energiegewinn statt. Unterteilt werden die Kompostierungsverfahren nach der Bewegung des Rottegutes. Bei kontinuierlicher Bewegung spricht man von dynamischen Verfahren, wohingegen bei semidynamischen Verfahren das Rottegut nur in Zeitabständen umgesetzt wird.

Die Kompostierungsverfahren werden u.a. durch die Aktivität der Mikroorganismen beeinflusst. Diese benötigen optimale Lebensbedingungen, wie ein ausreichendes Nährstoffangebot, die Versorgung mit Sauerstoff und Wasser sowie ein entsprechendes Umgebungsmilieu. Für den Rotteverlauf ist damit auch die Struktur des Rottegutes entscheidend, da ein ausreichendes Luftporenvolumen für genügen Sauerstoff gewährleistet sein muss. Sind nicht genügend Poren vorhanden, können die Mikroorganismen mit zu wenig Sauerstoff nicht optimal arbeiten. Des Weiteren gilt der Wassergehalt als entscheidender Parameter, da die Mikroorganismen ihre Nährstoffe nur in gelöster Form aufnehmen können. Er sollte einen Mindestgehalt von 40 Gew. % während der Intensivrotte nicht unter- und einen Höchstgehalt von 65 Gew. % nicht überschreiten. Niedrigere Wassergehalte hemmen die Aktivität, höhere grenzen das für die Sauerstoffzufuhr verfügbare Luftporenvolumen zu sehr ein. Aus den vorgenannten Parametern ergibt sich, dass die Intensivrotte der maßgebliche Verfahrensschritt in einem Kompostwerk und die Einhaltung dieser Randbedingungen Voraussetzung für einen optimalen Rotteverlauf ist.

Intensivrotte

Erste, thermophile Phase(n) des mikrobiellen Ab- bzw. Umbaus (mikrobieller Abbau) unter aeroben Bedingungen mit hohem Sauerstoffbedarf. Die Intensivrotte dauert zwischen 7 und 14 Tagen und hat zum Ziel, in dieser Zeit einen maximalen Abbau und gleichzeitig die Hygienisierung des Materials zu erreichen. Dafür müssen über mehrere Tage Temperaturen von über 60 °C erreicht werden.

Anschließend an die Hauptrotte erfolgt die Nachrottezeit von 4–6 Wochen. Durch sie wird der Kompost stabilisiert. Die Nachrotte erfolgt in Mieten, wobei die biologische Aktivität abnimmt und in Folge die Temperatur absinkt.

Die Temperatur im Mietenkörper ist rückläufig, da mit zunehmendem Abbau die chemisch gebundene Energie geringer wird. Der Abbaugrad kann somit mit dem Temperaturverlauf abgeschätzt werden.

Kompost

Kompost ist das Endprodukt aerober Behandlungsverfahren zum Abbau organischer Substanz. Auch bei anaeroben Behandlungsverfahren organischer Abfallstoffe wird das entstehende feste Zwischenprodukt i.d.R. aerob weiterbehandelt, sodass letztendlich ebenfalls Kompost entsteht.

Für die Vermarktung von Kompost sind folgende Qualitätskriterien vorausgesetzt und sicherzustellen:

- hygienische Unbedenklichkeit
- weitgehende Freiheit von Verunreinigungen
- niedriger Gehalt an potentiellen Schadstoffen
- ausgewogene Gehalte an Nährstoffen (in Abhängigkeit vom Einsatzbereich im Pflanzenbau)
- gleichbleibende Produktqualität
- Lagerfähigkeit

Das Gütesicherungssystem der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V. überwacht die Einhaltung der einzelnen Qualitätskriterien durch:

- kontinuierliche und unabhängige Fremdüberwachung der Qualität
- Eigenüberwachung der Kompostproduktion durch den Betrieb
- Güterichtlinien zur Standardisierung der Produktqualität
- Deklarationspflicht von Komposteigenschaften und -inhaltsstoffen

- Empfehlungen als Basis für die fachgerechte Anwendung

Komposte, die diesen Anforderungen nicht genügen, haben am Markt kaum Chancen; ihre Einhaltung ist daher aus Gründen der Entsorgungssicherheit zwingend.

Wenn Sie mehr über die Prozesse der Kompostierung erfahren möchten, können Sie anschließend den virtuellen Rundgang über die Kompostierungsanlage Umpferstedt bei Weimar besuchen. Hier werden alle Schritte hin zu einem gütegesicherten Kompost detailliert erläutert.

📄 <https://360-degree.education/Umpferstedt/>

4. Biogas

Abschnitt (D) Gasaufbereitung im 360°-Rundgang

Was ist Biogas?

Die Hauptbestandteile von Biogas sind Methan (50–75 Vol.-%) und Kohlenstoffdioxid (25–50 Vol.-%). In sehr kleinen Mengen sind auch Wasserdampf, Sauerstoff, Stickstoff, Ammoniak, Wasserstoff und Schwefelwasserstoff vertreten. Das Methan im Faulgas stellt den Energieträger dar, sodass sich für Biogas ein Energiegehalt von 5,0 – 7,5 kWh/m³ Biogas ergibt. Es handelt sich um ein ungiftiges, geruchloses und brennbares Gas.

Bei Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Methan (CH₄) handelt es sich um farb- und geruchlose Gase. Beide zählen zu den bedeutendsten Treibhausgasen. Methan ist im Gegensatz zu Kohlenstoffdioxid hochentzündlich.

Schwefelwasserstoff ist unter dem Aspekt des Arbeitsschutzes besonders zu betrachten. Noch immer verursacht Schwefelwasserstoff tödliche Arbeitsunfälle, die vermeidbar gewesen wären. Es handelt sich um ein farbloses, leicht entzündliches und hoch giftiges Gas. Zu erkennen ist es schon in sehr geringen Konzentrationen an seinem starken Geruch nach verfaulten Eiern. Bei steigender Konzentration wird es schwerer das Gas zu erkennen, da die Geruchsrezeptoren betäubt werden. Das Gas hat eine höhere Dichte als Luft und sammelt sich am Boden. Besondere Vorsicht gilt also in geschlossenen Bereichen, wo das Gas nicht entweichen kann. Es sollte immer ein Schwefelwasserstoffdetektor mitgeführt werden, der bei Anzeichen von Schwefelwasserstoff Alarm schlägt.

Exkurs BHKW / Verstromung

Das produzierte Biogas wird in Deutschland zu großen Teilen direkt am Entstehungsort verstromt. Die Stromerzeugung beruht auf dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Bei der KWK wird die Energie gleichzeitig in mechanische bzw. elektrische und nutzbare Wärme umgewandelt. Zur Verstromung vor Ort werden in der Regel Blockheizkraftwerke (BHKW) verwendet. Diese bestehen aus Verbrennungsmotor und Generator. Der Motor wird mit Biogas betrieben, welcher den Generator antreibt und somit Strom erzeugt wird. Für die Verstromung von Biogas werden insbesondere Gas-Otto-Motoren und Zündstrahlmotoren eingesetzt. Die parallel zur Stromerzeugung produzierte Wärme wird zur Beheizung vor Ort genutzt oder in die zu versorgenden Objekte bzw. ins Nahwärmenetz eingespeist.

5. Naturschutz & Geschichte

Abschnitt (E) Ausgleichs- und Naturschutzmaßnahmen und Historie (F) im 360°-Rundgang

Jedes große Bauprojekt, wie auch die Biothan-Biogasanlage, greift stark in das vorhandene Ökosystem ein. Deshalb müssen bei den Planungen und im Bau immer Ausgleichs- und Naturschutzmaßnahmen berücksichtigt werden, um die durch die Anlage anschließend versiegelten Flächen zu kompensieren und den Artenschutz zu sichern. Dazu werden externe Planungsbüros hinzugezogen, die u.a. zusammen mit Biologen die vorhandene Flora und Fauna untersuchen und Vorschläge erarbeiten, wie vorhandene Arten ggf. umgesiedelt und neue Rückzugsorte geschaffen werden können. Dabei spielt auch die Vorgeschichte des Geländes eine entscheidende Rolle. Im Fall der Biothan Biogasanlage

handelte es sich zuvor um einen Militärstützpunkt der USA mit dort stationierten, mobilen Abschussrampen für Raketen.

Im 360°-Rundgang erhalten Sie direkten Einblick in die Arbeit der Biologen. Es gibt Informationen zu den kartografierten Insekten, Tieren und Pflanzen und Einblicke in das entworfene Pflegekonzept und die Umsetzungskosten der geplanten Maßnahmen. Nach Ende des Baus und im regulären Betrieb der Anlage müssen zudem regelmäßige Kontrollen durchgeführt werden, wie sich die Flora und Fauna entwickelt, um ggf. steuernd einzugreifen und einer Verwaldung und Verbuschung entgegenzuwirken.

01 – Start

1/2 – Einleitung & Anleitung

Herzlich Willkommen auf der Vergärungsanlage der Firma Biothan GmbH bei Fulda, einer der modernsten Biogasanlagen Deutschlands. Hier werden aus Biomüll, Essensresten, Supermarktabfällen und Gülle Biogas produziert. Wie das alles funktioniert, erfahren Sie hier im 360°-Rundgang.

Mit dem Rundgang laden wir Sie ein, die Biogasanlage in Großenlöder bei Fulda zu erkunden und Einblicke in ihre Arbeit zu erhalten. Mit Hilfe von 50 Wegepunkten führt der Rundgang in sechs themenbasierten Abschnitten über das Gelände. Dabei führt er Sie an den Bereichen der Nass- und Trockenfermentation, der Kompostierung und der Gasaufbereitung, sowie der Gaseinspeisung vorbei. Zudem finden Sie weitere Informationen über die Historie und die Ausgleichsmaßnahmen in Großenlöder.

Die Navigation durch den Rundgang erfolgt über Ihre Maus oder Ihr Touchpad. Mit einem haltenden und bewegendem Klick in ein Panorama oder mittels Pfeiltasten können Sie sich in alle Richtungen umschaun. Über das Mausrad kann die Ansicht vergrößert oder verkleinert werden. Mit Hilfe der Wegpunkte werden Sie über das Gelände geleitet und folgen dem Rundgang über die blinkenden weißen Positionsfelder oder Pfeile. An jedem der Punkte sind Informationen in Form von Texten, Bildern oder Videos abrufbar, indem Sie auf die entsprechenden Piktogramme klicken. Gibt es mehrere Informationen, sind diese durchnummeriert (z.B. 1/3).

Im Bereich unten links befinden sich Navigationshilfen. Diese beinhalten ein Impressum mit Datenschutzerklärung und Quellenangaben (Piktogramm: Person), einen Überblick über die einzelnen Standorte auf dem Gelände (6 kleine Quadrate), eine Online-Karte zur Orientierung (Googlemarker), ein Luftbild (Grundriss) mit den einzelnen Wegepunkten, die Sie von dort aus auch auswählen können und ein Glossar (Piktogramm: i), in dem Sie die wichtigsten Fachbegriffe nachschlagen können.

Oben rechts haben Sie zudem die Möglichkeit mit Hilfe des Pull-down Menüs den Ton ein- und auszuschalten und in den Vollbildmodus zu wechseln. Die Videosequenzen (Drohnenflüge) können Sie über das dann erscheinende Vorspulen Piktogramm unten rechts überspringen.

Und nun wünschen wir Ihnen viel Spaß beim Erkunden der Anlage!

2/2 – Feuerlöschteich / Regenwasserspeicher

Der Regenwasserspeicher sammelt unbelastete Niederschlagsabwässer, wie Regen und Tauwasser. Gleichzeitig fungiert der Speicher als Feuerlöschteich. Niederschlagswasser aus verschmutzten Bereichen dient als Anmaischwasser in den Gärbehältern. [1]

Die sich in den eckigen Klammern befindenden Zahlen [1] beziehen sich auf die verwendete/n Literatur / Quellen, die im Impressum zu finden sind.

02 – Die Biothan GmbH

1/3 – Die Biothan GmbH

Im Landkreis Fulda betreibt die Biothan GmbH eine in ihrer Art einmalige Bio-Erdgas-Anlage, in der aus regionalen organischen Reststoffen Biomethan (Bioerdgas) erzeugt wird. Das Unternehmen ist der RhönEnergie Fulda Gruppe zugehörig, welche zu den wenigen Energieproduzenten in Deutschland gehört, die solch eine Anlage betreiben.

Die Besonderheit der Anlage liegt im Betrieb und in der Energieerzeugung mit dem Verzicht auf nachwachsende Rohstoffe. Es werden ausschließliche organische Reststoffe verwendet. Somit besteht keine Konkurrenz zu Nahrungsmittel- bzw. Futterpflanzen und landwirtschaftlichen Flächen, was für höhere Pachtpreise für Landwirte sorgen würde. Darüber hinaus wird durch die Produktion von Biomethan die Abhängigkeit von Gasimporten verringert. Das Konzept der Biothan GmbH unterstützt die Energiewende auf lokaler Ebene.

Nach der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 2009/28 EG) versteht man unter „Biomasse“ den biologisch abbaubaren Teil von Erzeugnissen, Abfällen und Reststoffen der Landwirtschaft mit biologischem Ursprung (einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige einschließlich der Fischerei und der Aquakultur sowie den biologisch abbaubaren Teil von Abfällen aus Industrie und Haushalten“.

Es handelt sich also um natürliche organische Stoffe, zu denen nachwachsende Rohstoffe (z.B. Mais) und biogene Reststoffe, wie der Inhalte der braunen Tonne, Nahrungsmittelreste und Fette aus dem Handel oder der Gastronomie sowie landwirtschaftliche Reststoffe wie Gülle gehören. Die Nutzung der Biomasse ermöglicht durch ihre Wetterunabhängigkeit und damit Berechenbarkeit eine zuverlässige Energieversorgung. Über die Vergärung in einer Biogasanlage lässt sich der Energiegehalt der organischen Stoffe nutzen. In diesem Fall geht es insbesondere um biogene Reststoffe, die in der Anlage verwendet werden. Die enthaltene Energie und die Nährstoffe werden zu 100 % genutzt und somit eine Verschwendung von Ressourcen verhindert. Es erfolgt eine Umwandlung in die Wertstoffe Bio-Erdgas und Düngeprodukte.

Auf der Biothan-Anlage wird das entstehende Biogas sofort zu Bio-Erdgas (Biomethan) veredelt. Dieses kommt dann als Heiz- und Antriebsenergie zum Einsatz und kann in das Erdgas-Netz eingespeist werden. Damit ist es an jeder angeschlossenen Abnahmestelle verfügbar. Konventionelle Biogasanlagen hingegen verstromen das Gas vor Ort und verwenden die anfallende Wärme oft nicht. Die Produktion von Biomethan ist also sehr energieeffizient. [1]

2/3 – Wertstoffhof

Auf der Anlage befindet sich der Wertstoffhof des Zweckverbandes Abfallsammlung für den Landkreis Fulda und wird im Auftrag der Gemeinde Großenlütder betrieben. Es können Altpapier, Altmetall, elektrische/elektronische Kleingeräte, Leuchtstofflampen, Grünabfälle, Altglas, Altholz (aus Bau-, Umbau- und Renovierungsmaßnahmen), mineralischer Bauschutt und unverwertbare Baurestabfälle angeliefert werden. In einigen Fällen fallen dabei auch Gebühren bei der Abgabe an.

Am Wertstoffhof kann RAL-zertifizierter und qualitätsgeprüfter Kompost der Anlage erworben werden. [1]

3/3 – Desinfektionsbecken

Pathogene Keime stellen ein Problem dar, da sie Erkrankungen auslösen können. Zur Vermeidung von Keimeintrag und -austrag müssen die ankommenden und abfahrenden LKWs das Desinfektionsbecken benutzen. Bei der Durchfahrt werden dabei die Reifen desinfiziert. [3]

03 – Verwaltungsgebäude und Waage

1/1 – Verwaltungsgebäude und Waage

Am Biothan – Standort besichtigen zahlreiche Besuchendengruppen eine der weltweit modernsten Anlagen zur Verarbeitung organischer Reststoffe. Im Verwaltungsgebäude ist dafür neben den Büroräumen der Mitarbeitenden auch ein Seminarraum angelegt. [1]

Direkt neben dem Eingang befindet sich auch ein Raum zur Bedienung und Überwachung der Waagen. Um die Stoffströme der Anlage zu verfolgen und nachvollziehen zu können, fahren die LKWs bei der Ankunft und Abfahrt über die Waage, sodass die Differenz und damit die Inputmenge bzw. die Biomassemengen bestimmt werden können. [3]

04 – Auswahl der Teilrundgänge

1/1 – Auswahl der Teilrundgänge

An diesem Punkt können Sie die einzelnen Abschnitte der Anlage auswählen und in getrennten Rundgängen besichtigen.

Zur Verfügung stehen die Bereiche der Nassfermentation (blau = A), Trockenfermentation (orange = B) und Kompostierung (braun = C), sowie Informationen zur Gasaufbereitung und -einspeisung (rosa = D). Darüber hinaus werden die Besonderheiten des Standortes bezogen auf die Ausgleichsmaßnahmen (grün = E) und seine Historie (schwarz = F) dargestellt.

Alternativtext für Moodle-Teilrundgänge

1/1 – Auswahl der Teilrundgänge

An diesem Punkt können Sie die einzelnen Abschnitte der Anlage auswählen und in getrennten Rundgängen besichtigen.

Auswählbar ist hier erst einmal nur der erste Abschnitt der Nassfermentation (blau = A).

Die weiteren Abschnitte der Trockenfermentation (orange = B), Kompostierung (braun = C), Gasaufbereitung und -einspeisung (rosa = D), Ausgleichsmaßnahmen (grün = E) und Historie (schwarz = F) werden nach Beendigung der Quizfragen nach und nach im SDG-Campus freigeschaltet.

Folgen Sie vor der Auswahl des ersten Abschnitts dem blinkenden Punkt rechts zu den Biofilter- und den Photovoltaikanlagen, die für alle Rundgänge gleichermaßen relevant sind.

1/1 – Ende Nassfermentation

Mit Beendigung des ersten Abschnitts zur Nassfermentation (blau = A), können Sie nun zum SDG-Campus zurückkehren und die Multiple Choice-Fragen beantworten. Nach erfolgreichem Quiz wird daraufhin der zweite Abschnitt zur Trockenfermentation (orange = B) freigeschaltet.

Sie können dieses Fenster nun schließen. Der nächste Abschnitt wird über einen separaten Link aufgerufen.

1/1 – Auswahl der Teilrundgänge (350x280)

Hier können Sie nun in den Abschnitt der Trockenfermentation (orange = B) starten.

Nach Beendigung dieses Abschnitts, beantworten Sie wieder die Multiple Choice-Fragen im SDG-Campus, um den nächsten Abschnitt der Kompostierung (braun = C) freizuschalten.

05 – Biofilteranlagen

1/1 – Biofilteranlagen

Die Biofilter werden zur Reinigung der Abluft eingesetzt und dienen damit dem Emissionsschutz. Dabei wird die Geruchsbelastung maßgeblich verringert. Auf dem Trägermaterial des Filters siedeln sich Mikroorganismen an, welchen die Geruchsstoffe als Nährstoffe dienen. Die bekanntesten Biofilter sind Kompost- und Rindenmulchfilter. [8 S.G-3]

Auf der Anlage gibt es zwei getrennte Filter für die Abluft der Bereiche der Nass- und Trockenfermentation, sowie der nachgelagerten Kompostierung. Auch Hallenluft wird gefiltert.

Darüber hinaus haben die Biofilter einen vorgeschalteten sauren Wäscher für hochbelastete Abluftströme (z.B. von Rottetrommeln, Mietenabluft aus Saugbelüftungen). Über eine Befeuchtungstrecke werden Geruchsstoffe ausgewaschen, was konzentrationsmindernd wirkt. [1][4]

06 – Photovoltaikanlagen

1/1 – Photovoltaikanlagen

Direkt auf dem Gelände wird auf drei Dachflächen und einer großen Freifläche mit großen Photovoltaik-Anlagen regenerativer Strom erzeugt. Die gewonnene Solarenergie wird direkt für die Prozesse auf der Biothan-Anlage genutzt. Somit kann der Eigenstromverbrauch der Anlage größtenteils abgedeckt und zusätzlich erzeugter Strom ins Netz eingespeist werden. [1]

A1 – Start Nassfermentation

1/1 – Die Nassfermentation

Bei der Nassfermentation handelt es sich um ein kontinuierliches Vergärungsverfahren mit einem Trockensubstanzgehalt < 15 Gew.-% im Fermenter. Verwertet werden Marktückläufer (abgelaufene, verpackte Lebensmittel), Biertreber, Altbrot/Backabfälle, Lebensmittelfehlchargen, Speisereste und Gülle [2].

Die Nassvergärung umfasst eine Behandlungskapazität von 26.000 Mg/a Gewerbeabfällen und 6.500 Mg/a Gülle. Daraus entstehen 3.600 Mg/a Biomethan und 27.000 Mg/a flüssige Gärprodukte [1].

Das Fließschema zeigt die einzelnen Schritte im Prozess der Nassfermentation. In den folgenden Wegpunkten werden diese detailliert erläutert.

A2 – Anlieferung organischer Reststoffe

1/1 – Anlieferung organischer Reststoffe

In der Annahmehalle der Nassfermentation werden organische Reststoffe angenommen, die von verschiedenen Anlieferern stammen. Die Anlieferung kann über mehrere Wege ablaufen, das Material wird am Ende in der unterirdischen Mischgrube zusammengeführt. Rohgülle kann direkt über einen Rohranschluss eingeleitet werden. Trockene Reststoffe wie Treber (Rückstände des Braumalzes bei der Bierherstellung) oder Altbrot, welche direkt eingetragen werden können, können im Flachbunker gelagert und bei Bedarf über den Schüttgutrichter zugeführt werden. Alle weiteren Reststoffe werden von LKWs direkt in die Annahmemulde / Aufnahmebunker gekippt [3].

Fließschema: Annahme organischer Reststoffe

A3 – Rohgülleannahme & Schüttgutrichter

1/2 – Schüttgutrichter / Rohgülleanschluss / Senkrechtührwerk

Über den Schüttgutrichter können zerkleinerte Lebensmittelreste ohne Störstoffe (Kleie und andere feine Materialien) und flüssige organische Gewerbeabfälle in den Vorlagen- und Mischbehälter eingeliefert werden.

Die Rohgülle wird zumeist außerhalb des Gebäudes direkt in den Rohgüllelagertank angeliefert. Aber auch hier in der Halle kann sie dem Vorlagen- und Mischbehälter über Rohgülleanschluss zugeführt werden.

Der Mischbehälter unterhalb des Bodengitters wird durch einen Senkrechtührwerk kontinuierlich durchmischt.

2/2 – Warnsignale

Zentral in der Nassfermentationshalle befindet sich eine Warnsignalampel (Ton- und Lichtsignale), die die Mitarbeitenden über eine zu hohe Konzentration an giftigen Gasen in der Raumluft bzw. im Tank informiert.

Angezeigt werden Schwefelwasserstoff (H_2S), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Methan (CH_4).

A4 – Annahmemulde

1/3 – Annahmemulde / Aufnahmebunker

In die Annahmemulde werden alle Lebensmittelreste mit Störstoffen eingeliefert. Die Mulde oder auch Bunker genannt, besteht aus Edelstahl und fasst 100 m³ (2 LKW-Ladungen). Dort wird das Material über vier Querförderschnecken, eine Trogförderschnecke und eine Schrägförderschnecke von links nach rechts und weiter nach oben zur Weiterverarbeitung in der Hammermühle transportiert [2].

2/3 – Lebensmittel mit Störstoffen

Die angelieferten Marktrückläufer (abgelaufene, verdorbene Lebensmittel) und Lebensmittelfehlchargen sind zumeist noch original verpackt (in Pappe, Papier und Plastik). Sie werden mit samt ihrer Verpackung in die Annahmemulde gegeben.

3/3 – Prozessüberwachung Substratannahme

Kontrolliert und gesteuert werden die Substratannahme und die anschließenden Prozesse in der Nassfermentationshalle über eine Schalttafel. Hier können unter anderem der Druck, der Durchfluss, aber auch die Temperatur und der Füllstand im Mischbehälter kontrolliert werden.

Auch die Funktion der Siebung, der Pasteurisierung, des Heizwassers und der Trennmühle können hier überprüft und eingestellt werden.

A5 – Mischbehälter

1/1 – Mischbehälter & Exzentrerschnecke

Hier ist der Mischbehälter unterhalb der Annahmemulde zu sehen. Der Edelstahltank fasst 100 m³ und wird durch einen Senkrechtührwerk, das oben neben dem Rohgülleanschluss zu sehen ist, kontinuierlich durchmischt. Zudem verfügt er über eine Abluftabsaugung.

Hier kommen alle ankommenden und aufbereiteten (nach der Entfernung der Störstoffe) organischen Reststoffe zusammen. Das Volumen entspricht dabei einer Tagesration. Die Dosierung zum nächsten Prozessschritt, der Aneorobisierung, erfolgt über eine Exzentrerschneckenpumpe. Diese eignet sich besonders für Medien mit hohem Feststoffgehalt (> 10 Gew.-% Trockensubstanz) und oder hoher Viskosität [2].

A6 – Trennverfahren

1/3 – Trennverfahren

In der Hammermühle wird das angelieferte Material wenn nötig automatisch maschinell entpackt und in der Trommel über ein 12 mm Lochsieb vorgesiebt. Die mechanische Entpackung erfolgt über stumpfe Schlegel. Zur Verdünnung werden Rezirkulate beigemischt, bevor das Material der Nassfermentation (Gewerbeabfälle und Gülle) über ein Rohr in den Mischbehälter weitergeleitet wird. [2]

In der Rohrleitung erfolgt eine 0,5 mm Absiebung über Filtersiebe. Das zweistufige Siebverfahren trennt Störstoffe wie z.B. Kunststoffteile ab [1]. Die Hammermühle ist anfällig für Störstoffe und muss bis zu 4-mal in der Woche geöffnet werden [3]. Nach ca. 6 Monaten bzw. ca. 6000 Mg Durchsatz sind die Schlegel abgenutzt und müssen getauscht werden. [2]

2/3 – Feinabsiebung

Am Ende des Prozesses der Nassfermentation werden die Gärprodukte in die Annahmehalle zurückgeführt und durchlaufen eine nachgeschaltete Siebung auf 3 mm zur Fremdstoffabscheidung. Die Siebtechnik der Anlage erreicht einen Abscheidegrad von 0,04 % Kunststoff in der Trockenmasse was deutlich unter den aktuellen und zukünftigen Grenzwerten liegt. Die separierten Störstoffe werden hier in den Container der Annahmehalle geleitet und als Ersatzbrennstoffe energetisch verwertet. [2]

3/3 – Pasteurisierung & Hygienisierung

Nach der Feinabsiebung werden die Gärreste aus dem Nachgärer zur nachgeschalteten Pasteurisierung geleitet. Hier erfolgt eine Hygienisierung bevor die Gärprodukte auf die Lager verteilt werden. Dabei handelt es sich um eine Vollstrom-Endhygienisierung in drei Behältern in Parallelschaltung. Das Material muss dazu für mindestens eine Stunde bei mindestens 70 °C gehalten werden. Die Hygienisierung ist für das spätere Ausbringen der Gärreste notwendig. [2]

A7 – Ausgesiebtes Material

1/2 – Entwässerung der Reststoffe

Die Reststoffe der Hammermühle durchlaufen eine Pressschnecke (rotes Rohr) zur Entwässerung und werden anschließend hier im Container gelagert.

Zusätzlich werden hier die feinen Störpartikel der Feinsabsiebung der Vergärstufe dem Container zugeführt (silbernes Rohr) [3].

2/2 – Verwertung der Reststoffe

Die aus der Hammermühle abgetrennten Störstoffe werden als Ersatzbrennstoff energetisch verwertet (Heizwert ca. 20500 kJ/kg) [2]. Aus diesem Grund ist auch die Entwässerung mithilfe einer Pressschnecke bedeutend.

Jährlich fallen ca. 1.460 Mg/a Störstoffe an [1]. Zum Teil nehmen Anlieferer auch gleich Anteile der Reststoffe für den Eigenbedarf mit, da die Biothan selbst keinen Abfall für die Heizkesselanlage verwendet, sondern dabei Hackschnitzel zum Einsatz kommen. Der Rest wird von Firmen zur Verbrennung abgeholt [3].

A8 – Rohgüllaagertank

1/1 – Rohgüllaagertank

Hinter der Nassfermentationshalle befindet sich der Rohgüllaagertank. Die Rohgülle kann somit in beliebig gewünschten Mengen dem Prozess zugeführt werden [1].

Der Rohgüllaagertank besteht aus Ort beton und verfügt über ein Fassungsvermögen von 500 m³. Er wird über ein Tauchmotorrührwerk und ein Senkrecht rührwerk durchmischt. Die Rohgülle kann über zwei Stützen an der Annahmeplatte eingelassen werden [2]. In der Annahmehalle selber gibt es einen Rohranschluss der die Rohgülle auch direkt in die Vorlagebehälter führen kann.

A9 – Vorlagebehälter Außen

1/1 – Vorlagebehälter Außen

Auf der Anlage sind zwei Vorlagebehälter aus Ort beton mit je 400 m³ Fassungsvermögen vorhanden. Sie ermöglichen eine kontinuierliche Prozessführung, da sie für den Ausgleich und die Speicherung des Materials über mehrere Tage sorgen. Bei einer Bestückung von Montag bis Freitag ist dadurch auch die Grundlage für den anaeroben Abbau in den Fermentern am Wochenende gesichert. Man spricht dadurch auch von Speichern.

Die Vorlagebehälter fungieren als Sedimentationsbecken und sorgen für das Absinken von Sand und schweren Störstoffen. Darüber hinaus beginnt bereits die Hydrolyse des Materials. Die Behälter sind in der Regel in Reihe geschaltet, können aber auch parallel betrieben werden [2]. In diesem Prozessabschnitt findet eine erste Gasbildung statt, sodass die Vorlagenbehälter an das Gassystem angeschlossen sind [3].

Fließschema: Speicherung und Hydrolyse

A10 – Vorlagebehälter Innen

1/1 – Vorlagebehälter Innen

Die Vorlagenbehälter müssen einmal im Jahr geleert und gereinigt werden. Dabei wird die Wandheizung sichtbar, welche fakultativ eingesetzt werden kann. Des Weiteren ist eine Trennwand von 1 m Höhe, das Senkrechtührwerk und der Schutzanstrich der Innenwände vor Betonkorrosion zu erkennen.

Die folgenden Abbildungen zeigen das Innere des entleerten Behälters mit technischen Erklärungen des Aufbaus. Das letzte Bild zeigt den Behälter in gefülltem Zustand.

A11 – Orientierungspunkt Gärbehälter

1/1 – Orientierungspunkt Gärbehälter

Zur besseren Orientierung auf dem Gelände ist an dieser Stelle ein Orientierungspunkt ohne weitere Informationen eingesetzt. Aus dem Inneren des Vorlagenbehälters gelangt man so zum Gärbehälter und dem Anaerobbehälter.

A12 – Fermenter / Anaerobbehälter

1/1 – Fermenter

Über Pumpen gelangt das Material nach der Sedimentation zunächst in den ersten Fermenter links und anschließend in den zweiten Fermenter rechts (Nachgärer).

Zwischen den Fermentern befinden sich zwei Maschinencontainer mit technischen Geräten zur Gasanalyse und zur Überwachung der Pumpen und Heizungen [2].

Fließschema: Vergärungsstufe

A13 – Rührkesselreaktoren

1/3 – Rührkesselreaktoren

Die Fermenter sind zwei kontinuierlich betriebene Rührkesselreaktoren (continuous stirred tank reactor, CSTR) im Reihenbetrieb (Rührkesselkaskade). Die Anaerobbehälter sind Ortbetonbehälter mit je einem Arbeitsvolumen von 2.200 m³, je zwei Paddelrührwerken und gasdichten Tragluftdächern. Der Vergärungsprozess findet im mesophilen Temperaturbereich statt. Dafür wird die Temperatur der Fermenter mit Heizschlangen auf 40-42° C gehalten. [2]

2/3 – Feinabsiebung

Bevor die Gärprodukte in das Lager weitergeleitet werden, durchlaufen sie eine nachgeschaltete Siebung auf 3 mm zur Fremdstoffabscheidung. Die Siebtechnik der Anlage erreicht einen Abscheidegrad von 0,04 % Kunststoff in der Trockenmasse was deutlich unter den aktuellen und zukünftigen Grenzwerten liegt.

Die separierten Störstoffe werden in den Container der Annahmehalle geleitet und als Ersatzbrennstoffe energetisch verwertet. [2]

Dieser Prozessschritt ist ebenfalls in Position A6 – Trennverfahren zu finden.

3/3 – Pasteurisierung

Nach der Feinabsiebung werden die Gärreste aus dem Nachgärer zur nachgeschalteten Pasteurisierung geleitet.

Es erfolgt eine Hygienisierung bevor die Gärprodukte auf die Lager verteilt werden. Dabei handelt es sich um eine Vollstrom-Endhygienisierung in drei Behältern in Parallelschaltung. Das Material muss dazu für mindestens eine Stunde bei mindestens 70 °C gehalten werden. Die Hygienisierung ist für das spätere Ausbringen der Gärreste notwendig. [2]

Dieser Prozessschritt ist ebenfalls in Position A6 – Trennverfahren zu finden.

A14 – Gärrestlager

1/1 – Gärrestlager

Zu unterscheiden gilt es in ein Verteillager und drei Ausbringlager. Es handelt sich um vier Ortbetonbehälter ohne Dämmung mit je zwei Stabrührwerken.

Das Verteillager hat ein Fassungsvermögen von 5.100 m³ und ein gasdichtes Tragluftdach. Es ist an das Gasfassungssystem angeschlossen und verfügt über eine Pumpstation, um die Gärprodukte auf die Ausbringlager zu verteilen. Diese weisen je ein Fassungsvermögen von 4.500 m³ auf und verfügen einmal über ein gasdichtes Tragluftdach und zweimal über einschalige Gasdächer. Sie sind nur an das Schwachgassystem angeschlossen, welches in das Heizhaus führt [2].

A15 – Flüssigdüngerabholung

1/2 – Flüssigdüngerabholung aus Gärrestlager

Der Dünger muss Qualitätsanforderungen erfüllen, um für die Ausbringung akzeptiert zu werden. Deshalb erfolgt zur Verminderung von Fremdstoffen eine Feinabsiebung über eine Schneckenpresse vor der Ausbringung. Die Qualität wird von der Bundesgütegemeinschaft Kompost gesichert.

Zwischen Frühjahr und Herbst erfolgt die Ausbringung des Düngers in die Landwirtschaft, wobei die Gärprodukte für Ackerland und Grünland zugelassen sind. Im Jahr wird eine Menge von 27.000 Mg Dünger ausgebracht [2].

2/2 – Ausbringung Flüssigdünger

Video

B1 – Start Trockenfermentation

1/1 – Die Trockenfermentation

Bei der Trockenfermentation handelt es sich um ein kontinuierliches Vergärungsverfahren mit einem Trockensubstanzgehalt zwischen 25-40 Gew.-% im Fermenter. Verwertet werden größtenteils feste Reststoffe aus biologischen Abfällen der Biotonne, Blumenabfälle, Fallobst, Garten- und Parkabfälle, Getreidefehlchargen und Zuckerrübenpressschnitzel o.ä. [2].

Die Trockenvergärung umfasst eine Behandlungskapazität von 22.000 Mg/a Biotonne, 8.000 Mg/a Gewerbeabfälle und 3.000 Mg/a Grünabfälle. Daraus entstehen 3.600 Mg/a Biomethan und 11.000 Mg/a flüssige Gärprodukte sowie 12.500 Mg/a Kompost [1].

Probleme treten im Prozess durch eingetragenen Sand und Steine über die generell stark stoffbelastete Biotonne auf. Darüber hinaus besteht das Problem der Gasertragsschwankungen durch täglich variierende Mengen der Abfallarten und -sorten.

Das Fließschema zeigt die einzelnen Schritte im Prozess der Trockenfermentation. In den folgenden Wegpunkten werden diese detailliert erläutert.

B2 – Anlieferung Bioabfall

1/2 – Anlieferung Bioabfall

Die Unternehmen können selbstständig den Bioabfall in der Annahmehalle abladen. Dabei unterscheiden sich die Ablademöglichkeiten je nach LKW-Modell. Das Material wird in der Halle mit Radladern transportiert. Diese verfügen über ein eigenes Luftfiltersystem, sodass innerhalb des Radladers gereinigte Luft vorherrscht. [3]

Fließschema: Annahme organischer Reststoffe

2/2 – Lagerboxen

In der Halle sind vier Lagerboxen zur Sortierung des ankommenden Materials vorgesehen. Es werden auch Kleie und alte Brötchen angeliefert und separat gelagert, um die Anlage im Sommer zusätzlich zu bestücken, wenn wenig Bioabfall anfällt.

B3 – Zerkleinerung & Siebung des Bioabfalls

1/1 – Zerkleinerung & Siebung des Bioabfalls

Zuerst kommt das Material mit dem Radlader in die Schredderanlage (rechts, Radladerbeschickung). Anschließend durchläuft der Bioabfall über ein Förderband einen Magnetscheider. Die ausgesiebten Metalle werden in einem Container gesammelt. Im nächsten Schritt werden grobe Störstoffe über ein Sternsieb entfernt. Der aufbereitete Biomüll wird anschließend im Bunker für die automatische Beschickung gelagert. [2]

B4 – Siebung des Materials

1/3 – Schredderanlage

Die Schredderanlage besteht aus einem Zweiwellenzerkleinerer mit einer Kapazität von 45 Mg/h. Die Schredderwalzen müssen halbjährig bzw. nach ca. 11.500 Mg Durchsatz ausgetauscht werden. [2]

2/3 – Magnetscheider / Metallabscheider

Der Magnetscheider / Metallabscheider hat eine Abscheidemenge von ca. 20 Mg/a. Die ausgesiebten Metalle werden im Container gesammelt (48 Mg/a) und anschließend entsorgt. [1]

3/3 – Sternsieb

Das Sternsieb hat eine Siebgröße von 60 mm. Durch diese Grobabsiebung der Störstoffe kann das Siebmaterial als Strukturmaterial zum Pressen und für die Kompostierung genutzt werden. Das Sternsieb hat dabei eine Kapazität von 250 m³/h.

Das Unterkorn (≤ 60 mm) wird über ein Verteilförderband weiter in den Lagerbunker für aufbereitete Bioabfälle geleitet, wohingegen das Überkorn (≥ 60 mm) mehrfach im Kreis geführt wird, bis das Material zu schlecht ist und für die Verbrennung separat gelagert wird. In diesem Sortierprozess können Kunststoffe nicht ausgesiebt werden, da diese zu nass und damit zu schwer sind. [2]

B5 – Lagerbunker / Automatisierter Kran

1/1 – Lagerbunker / Automatisierter Kran

Der aufbereitete Biomüll (Unterkorn des Sternensiebs) wird im Bunker gelagert. Der Bunker wird acht Stunden am Tag bestückt, dies reicht dann auch für die Nacht. Der Bunker bietet einen Ausgleich für mehrere Tage, um Sonn- und Feiertage oder Tage ohne Anlieferung auszugleichen.

Mittels eines automatischem Krahnbahnsystems wird die Dosierbunkerwaage oben bestückt. Die Dosiereinrichtung besteht aus einem Vorlagebehälter mit Wägezellen. Wenn zwei Tonnen erreicht sind, wird der Fermenter mit dem Material über Stopfschnecken bestückt. Zur Reduktion von Schwefelwasserstoff wird Eisenhydroxid zugegeben. [2]

B6 – Prozess der Trockenfermentation

1/2 – Trockenfermentation im Gärbehälter

Bei der Trockenfermentation werden zwei doppelwandige Pfropfenstrombehälter (kontinuierlicher Rohrbehälter) eingesetzt. Es handelt sich dabei um zwei liegende Fermenter mit Langachsührwerk, die parallel betrieben werden [3]. Die Anaerobreaktoren verfügen über eine Kapazität von 30.000 Mg/a und haben jeweils ein Arbeitsvolumen von 1.300 m³. Direkt nach dem Eintrag des Materials wird es mit Rezikulat verdünnt, bevor es für 20–25 Tage im Fermenter verweilt. Die Vergärung läuft im thermophilen Temperaturbereich bei 55 °C ab. [2]

1. Fließschema: Vergärungsstufe

2. Aufbau Fermenter

3. Blick in den leeren Fermenter

2/2 – Blick in den gefüllten und aktiven Fermenter

B7 – Überdrucksicherung des Gärbehälters

1/1 – Überdrucksicherung

Das überschüssige Gas tritt an dieser Stelle aus und wird zum Speicher geleitet. Der Prozess wird dadurch vor Über- und Unterdruck gesichert. [3]

B8 – Austrag Fermenter

1/1 – Austragung der Gärprodukte

Über zwei hydraulisch betriebenen Kolbenpumpen werden die Gärprodukte aus dem Fermenter ausgetragen und weiter zur Fest-/Flüssigtrennung (Separation) in die Aerobisierungshalle geleitet. [2]

B9 – Orientierungspunkt Aerobisierungshalle

1/1 – Orientierungspunkt Aerobisierungshalle

Zur besseren Orientierung auf dem Gelände ist an dieser Stelle ein Orientierungspunkt ohne weitere Informationen eingesetzt.

B10 – Aerobisierungshalle – Separation

1/2 – Siebschneckenpressen

Zwei Siebschneckenpressen (grün) pro Fermenter entwässern das Material, trennen es also in eine Fest- und eine Flüssigkomponente auf. Sie verfügen über eine Kapazität von 100 Mg/d [2]. Dafür ist das erwähnte Strukturmaterial entscheidend, da ohne das Material eine matschige Konsistenz entsteht und die Pressen nicht richtig funktionieren. [3]

2/2 – Dekanter

Im Dekanter (blau) wird anschließend auch der Sand des Flüssiganteils noch entfernt. Das entsandete Presswasser wird rezykliert und u.a. für den Trockenfermenter und Speicher verwendet. Der Presskuchen (Festanteil) wird weiter zur Kompostierung bzw. Gärrestkonditionierung transportiert.

B11 – Aerobisierungshalle – Intensivrotteboxen

1/2 – Belüftete Intensivrotte / Intensivrotteboxen

Das feste Gärprodukt der Trockenfermentation wird in die fünf Intensivrotteboxen verladen. In den Boxen mit je 144 m³ Volumen verbleibt das Material ein bis zwei Wochen. Um den Anaerobprozess zu stoppen und Methanemissionen zu vermeiden, wird der feste Gärprodukt in den Boxen intensiv von unten zwangsbelüftet. Die Abluft der Intensivrotten wird oben abgezogen und gelangt in die Biofilter. Nach der Intensivrotte wird das Material zur Nachkompostierung transportiert. [2]

2/2 – Materialkonsistenz nach Separation bei zu wenig Strukturmaterial

B12 – Gärproduktelager

1/1 – Gärproduktelager & Ausbringung

Das Presswasser aus der Separation wird weiter zur Speicherung in die zwei Gärproduktlager geleitet. Dabei handelt es sich um zwei Ortbetonbehälter ohne Dämmung mit je 3.200 m³. Diese haben keine Rührwerke und sind an das Gasfassungssystem angeschlossen. Nach ca. einem Jahr müssen die Gärbehälter mit einem Spezialsaugfahrzeug von Sedimenten bereinigt werden. Des Weiteren dienen die gasdichten Tragluftdächer als Biogasspeicher für die Trockenfermentation. [2]

Der Flüssigdünger wird in gleicher Weise wie bei der Nassfermentation ausgebracht. Zur Verminderung von Fremdstoffen erfolgt eine Feinabsiebung über eine Schneckenpresse vor der Ausbringung. Anschließend können LKWs wie bei der Nassfermentation den Dünger direkt über Rohranschlüsse in ihre Tanks laden [2]. Im Jahr wird eine Menge von 11.000 Mg Flüssigdünger ausgebracht. [1]

C1 – Start Kompostierung

1/1 – Einleitung Kompostierung

In der Vergärungstechnologie wird zwischen dem biologischem Abbaugrad (maximaler Abbaugrad der Organik) und dem technischen Abbaugrad (Abbaugrad am Ende der Verweilzeit im Fermenter) unterschieden. Wird ein Substrat nicht vollständig abgebaut, verbleibt ein Restgaspotential. Um Emissionen von Treibhausgasen im Sinne des Klimaschutzes so gering wie möglich zu halten, sollte der technische Abbaugrad nah am biologischen liegen.

Zur Reduktion des Restgaspotentials werden flüssige Gärprodukte in Gärproduktlagern gasdicht abgedeckt und feste Gärprodukte kompostiert.

Fließschema: Kompostierung

C2 – Belüftete Intensivrotte / Intensivrotteboxen

1/1 – Belüftete Intensivrotte / Intensivrotteboxen

Das feste Gärprodukt der Trockenfermentation wird in die fünf Intensivrotteboxen verladen. In den Boxen mit je 144 m³ Volumen verbleibt das Material ein bis zwei Wochen. Um den Anaerobprozess zu stoppen und Methanemissionen zu vermeiden, wird der feste Gärprodukt in den Boxen intensiv von unten zwangsbelüftet. Die Abluft der Intensivrotten wird oben abgezogen und gelangt ebenfalls in die Biofilter. Nach der Intensivrotte wird das Material zur Nachkompostierung transportiert [2].

An dieser Stelle überschneiden sich die Teilrundgänge Trockenfermentation (B) und Kompostierung (C).

C3 – Nachkompostierung / Mieten

1/1 – Nachkompostierung / Mieten

Der Inhalt der Boxen wird in die Halle in Dreiecksmieten umgesetzt. Hier verbleibt das Material drei bis sechs Wochen. Dabei erfolgt alle zwei Wochen eine Durchmischung mit einem frei verfahrbaren Umsetzgerät. Die Kompostierung erfordert keine gezielte Regelung, ist aber von den Einflussfaktoren der Belüftung, des Wassergehaltes; der Temperatur, des Luftporenvolumens, des pH-Wertes und des C/N-Verhältnisses abhängig.

Die Nachkompostierung ist darüber hinaus durch die Wärmeeinwirkung im Rotteprozess für die Hygienisierung verantwortlich. Durch die hohen Temperaturen über einen längeren Zeitraum werden Keime abgetötet. Zur Bestätigung müssen die Temperaturen der Mieten regelmäßig geprüft werden.

Bild 1: Online-Temperatur-Lanze zur Temperaturüberwachung der Mieten.

Bild 2: Wärmebildaufnahme der Freiluftmieten

C4 – Siebung

1/2 – Siebung

Trotz vorgeschalteter Störstoffabtrennung in der Trockenfermentation sind noch viele Störstoffe im Kompost enthalten. Für den Kompostierungsprozess ist dies erwünscht, da die Fremdstoffe Struktur geben und dadurch die Sauerstoffversorgung und damit Kompostierung erleichtern. Dadurch wird allerdings am Ende des Reifeprozesses eine Störstoffabtrennung des fertigen Kompostes nötig. Dazu wird eine mobile Siebanlage mit einem Trommelsieb (10 mm) eingesetzt. Der Kompost wird in zwei Durchläufen gesiebt. Die Störstoffe werden gesammelt und später thermisch verwertet. [3]

2/2 – Trommelsieb & ausgesiebte Störstoffe

Mit Hilfe solcher Trommelsiebe (10 mm Lochgröße) werden die Störstoffe aus dem fertigen Kompost herausgesiebt.

C5 – Mietenumsetzer

1/1 – Mietenumsetzer

Die Dreiecksmieten verbleiben drei bis sechs Wochen in der so genannten Rottehalle. Mit diesem frei verfahrbaren Mietenumsetzer erfolgt dabei alle zwei Wochen eine erneute Durchmischung.

C6 – Fertiger Kompost

1/3 – Fertiger Kompost

Der Kompost stellt ein hochwertiges und nährstoffreiches Produkt der Trockenfermentation dar. Auf der Anlage werden ca. 12.500 Mg/a produziert [1]. Die Hauptabsatzzeiten für Kompost liegen im Frühjahr und Herbst, weswegen Lagerkapazitäten bis zu einem halben Jahr auf der Anlage vorhanden sein müssen [4]. Eingesetzt wird der Kompost in der Landwirtschaft, sowie im Garten- und Landschaftsbau. Auch Privatleute können den Kompost über den Wertstoffhof beziehen [3]. Der Kompost ist durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost RAL-gütesichert. [1]

2/3 – Flüssige Gärprodukte

Auch der Flüssigdünger, der am Ende der Fermentationsprozesse entsteht, ist RAL-gütesichert und wird wegen seiner wertvollen Nährstoffe in der Landwirtschaft eingesetzt. Die Ausbringung erfolgt auf regionalen Feldern durch die Landwirte selbst oder durch externe Dienstleister. Die beinahe Geruchslosigkeit des Flüssigdüngers stellt einen Vorteil gegenüber der Gülle dar. [1].

Abgeholt wird der Flüssigdünger direkt am Gärproduktelager (Punkt B12 der Trockenfermentation) durch LKWs.

3/3 – Kompostierungsanlage Umpferstedt

Für einen noch detaillierteren Einblick in den Kompostierungsprozess empfehlen wir den virtuellen Besuch der Kompostierungsanlage Umpferstedt bei Weimar. Diese lokale Anlage bildet in kleinerem Maßstab, aber inhaltlich sehr viel ausführlicher, die einzelnen Prozesse der Kompostierung ab.

Folgen Sie dem Link zur Anlage: <https://360-degree.education/Umpferstedt/>

D1 – Gastransport zur Aufbereitung

1/2 – Gastransport

Auf der ganzen Anlage wird das Gas über Rohre verteilt und geleitet. Diese sind mit gelben Pfeilen bzw. Markierungen gekennzeichnet. Dabei ist in Rohbio-, Produkt- und Schwachgas zu unterscheiden.

Das Rohbiogas beschreibt das Gas vor der Aufbereitung, danach wird es als Produktgas beschrieben. Das Schwachgas betitelt die Gase aus den Gärrestelagern, welche nicht in die Aufbereitung, sondern direkt in das Heizhaus geleitet werden. Das Schwachgas aus der Gasaufbereitung wird ebenfalls in die Gärrestelager und von da mit ins Heizhaus geleitet. [3]

2/2 – Notfackel

Rechts neben dem Gasaufbereitungscontainer befindet sich die Notfackel. Diese dient der Betriebssicherheit und dem Emissionsschutz. Die Fackel verbrennt kontrolliert Biogas, welches nicht gespeichert werden kann und verhindert unkontrolliertes Ablassen von Biogas. [3]

D2 – Aufbereitung des Biogases

1/1 – Aufbereitung des Biogases

Die Umwandlung von Rohbiogas zu Produktgas wird auch Veredlung bezeichnet. Dabei entzieht man dem Rohbiogas in einem Spezialverfahren Schwefel, Kohlendioxid und Wasser und hebt so den Gehalt an brennbarem Methan auf über 96 Vol.-% an. Es entsteht dabei hochwertiges Biomethan, das wie Erdgas eingesetzt und eingespeist werden kann. [1]

D3 – Aufbereitungscontainer

1/2 – Aufbereitungscontainer

Im Aufbereitungscontainer sind viele technischen Geräte zu erkennen u.a. zwei Verdichter (links) und zwei Vakuumpumpen (rechts) die für den Prozess benötigt werden. [3]

2/2 – Film Gasaufbereitung

Der verlinkte Film „Biogasaufbereitung mit Membrantechnologie für Biogasanlagen | Wie funktioniert es?“ der Firma Bright Renewables erklärt, welche Schritte notwendig sind, um das erzeugte Rohbiogas zu Biomethan zu veredeln, sodass es in das reguläre Erdgasnetz eingespeist werden kann.

Die Aufbereitungsanlage in Fulda stammt von Hitachi Zosen INOVA, funktioniert aber nach dem gleichen Prinzip.

<https://www.youtube.com/watch?v=9OqX-IDF398>

D4 – Heizhaus

1/1 – Heizhaus

Das Schwachgas aus den drei Gärrestelagern wird in die Biomasseheizkesselanlage geleitet. Es wird nicht aufbereitet, da es eine verminderte Qualität aufweist und kann demnach nicht eingespeist werden. Im Heizhaus gibt es eine Restgasverbrennungsanlage, die das Schwachgas zusammen mit Hackschnitzeln im Heizkessel zur Wärmenutzung verbrennt. [3]

D5 – Biomasseheizkesselanlage

1/1 – Biomasseheizkesselanlage

Mit der in der Biomasseheizkesselanlage erzeugten Wärme werden neben den Verwaltungsgebäuden vor allem die Vorlagebehälter und Fermenter beheizt. Denn nur bei gleichbleibender Temperatur sind auch die Abbauprozesse und damit die Biogaserzeugung stabil.

D6 – Exkurs: BHKW / Verstromung

1/1 – Exkurs: BHKW / Verstromung

Die Einspeisung des Biogases in das reguläre Erdgasnetz, so wie es hier auf der Biothan-Anlage in Fulda der Fall ist, kann als Alleinstellungsmerkmal hervorgehoben werden. Denn im Regelfall wird das gesamte vor Ort erzeugte Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung mit Hilfe von Blockheizkraftwerken (BHKWs) verwendet:

Das produzierte Biogas wird in Deutschland zu großen Teilen direkt am Entstehungsort verstromt. Die Stromerzeugung beruht auf dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Bei der KWK wird die Energie gleichzeitig in mechanische bzw. elektrische und nutzbare Wärme umgewandelt. Zur Verstromung vor Ort werden in der Regel Blockheizkraftwerke (BHKW) verwendet. Diese bestehen aus Verbrennungsmotor und Generator. Der Motor wird mit Biogas betrieben, welcher den Generator antreibt und somit Strom erzeugt wird. Für die Verstromung von Biogas werden insbesondere Gas-Otto-Motoren und Zündstrahlmotoren eingesetzt. Die parallel zur Stromerzeugung produzierte Wärme wird zur Beheizung vor Ort genutzt oder in die zu versorgenden Objekte bzw. ins Nahwärmenetz eingespeist.

Bild: Beispiel für den Aufbau eines BHKWs

D7 – Wärmespeicher

1/1 – Wärmespeicher

Links neben dem Heizhaus befindet sich ein großer silberner Wärmespeicher. Dieser dient als Pufferspeicher für die im Heizhaus erzeugte Wärme und hilft dabei die Kontinuität der Abbauprozesse abzusichern. [3]

D8 – Biogaseinspeiseanlage

1/1 – Biogaseinspeiseanlage

Vor der Einspeisung des aufbereiteten Gases wird es noch einmal verdichtet. Das eingespeiste Gas hat dieselbe Qualität wie herkömmliches Erdgas und kann genauso vielseitig zum Heizen, zur Erzeugung von Warmwasser, für Strom- und Prozesswärme in Gasturbinen und zum Betanken von Erdgasfahrzeugen verwendet werden. Mit dem Biomethan aus der Nass- und Trockenvergärung kann jährlich der Wärmebedarf von ca. 2.400 Haushalten mit Heizenergie gedeckt werden. Das in der Biothan-Anlage erzeugte Bio-Methan wird von der RhönEnergie Fulda vermarktet. [1]

E1 – Ausgleichsmaßnahmen / Naturschutz

1/1 – Ausgleichsflächen

Der Bau der Biogasanlage greift in das Ökosystem auf dem Finkenberg ein. Um für die Flora und Fauna einen Ausgleich zu schaffen, wurden 3,6 ha der 11 ha als Ausgleichsfläche umgestaltet. Diese Ausgleichsfläche wird für die Umsiedlung und Erhaltung der vorhandenen Arten verwendet und dient

damit dem Artenschutz. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf den Reptilien (Zauneidechse, Schling- und Ringelnatter) und Schmetterlingen (Rotklee-Bläuling).

Für den funktionalen Ausgleich wurden mehrere Maßnahmen umgesetzt. Die Entsiegelung des asphaltierten Wegenetzes ermöglichte die Entwicklung einer Grasvegetation und damit des Artenreichtums. Insbesondere flugschwache Schmetterlinge bevorzugen diese blütenreiche Grasvegetation. Die Entbuschung und Verjüngung der vorhandenen Heide schaffte einen ökologisch wertvollen Übergangsbereich zum anschließenden Wald. Die Verjüngung wird durch Beweidung mit Schafen umgesetzt und ermöglicht ein Vegetationswachstum von Arten der Eiablage- und Raupenpflanzen für Schmetterlinge. Die Entbuschung verhindert zudem die Ausbildung eines Kiefernwaldes und schafft einen stark besonnten Bereich als optimalen Lebensraum für Reptilien. Die Verteilung von Wurzelstücken und das Anlegen von südexponierten Lesesteinhaufen bieten zusätzliche Verstecke und Sonnenplätze für wechselwarme Reptilien [9].

E2 – Exkurs: Planung & Kontrolle

1/4 – Exkurs: Planung & Kontrolle

Die hier einsehbaren PDFs erläutern die Planungen und späteren Kontrollen der Ausgleichsmaßnahmen auf dem Gelände der Biogasanlage. Neben der detaillierten Bestandsaufnahme von Pflanzen und Tieren, kann ein Einblick in die Arbeiten zur Planung von Ausgleichsflächen bei Großbauprojekten gewonnen werden. Die Unterlagen verstehen sich als weiterführende Literatur für alle Interessierten.

2/4 – Landschaftspflegerischer Begleitplan zum Bau einer Biogasanlage in Großenlöder

3/4 – Pflegekonzept Ausgleichsfläche „Am Finkenberg“

4/4 – Erfolgskontrolle der Tagfalter- und Widderchenfauna auf der Ausgleichsfläche der Biothan GmbH am Finkenberg

F1 – Historie

1/2 – Historie des Geländes

Die Biothan-Anlage befindet sich auf einem ehemaligen Militärgelände auf dem u.a. Raketenabschussrampen der US-Streitkräfte stationiert waren. Davon sind noch immer die Überreste zweier durch Aufschüttungen abgegrenzte, quadratische Flächen zu erkennen, auf denen die Militär-LKWs mit Raketen positioniert waren. Auch die Überreste eines Bunkers sind noch zu erkennen, der heute als Stall umfunktioniert wurde, in dem die zur Beweidung eingesetzten Schafe Unterschlupf finden.

2/2 – Zur Entstehung der Biogasanlage

Gegründet wurde die Biothan GmbH 2009 als Tochterunternehmen zweier Unternehmen, die 2013 mit einem weiteren Unternehmen zur RhönEnergie Fulda fusionierten. Für den Bau wurden insgesamt ca. 30 Millionen Euro investiert und keine öffentlichen Zuschüsse verwendet.

Eine Besonderheit der Anlage liegt im Einbezug der Bürgerinnen und Bürger der Gemeinde Großenlöder bei der Vorplanung, sodass bei der Veröffentlichung der Pläne kein einziger Einspruch oder Widerstände auftraten. Im Normalfall ist bei der Realisierung solch großer Anlagen mit Einwänden von verschiedenen Interessengruppen zu rechnen. [1]

F2 – Nachnutzung

1/1 – Nachnutzung

Die Freiflächen der Raketenabschussrampen werden unterschiedlich genutzt. Die Biothan GmbH nutzt sie in ihrem Bereich als Lagerfläche für den eigenen Grünschnitt. Im Bereich der Ausgleichsmaßnahmen wurde eine der Flächen zu einem Feuchtbiotop renaturiert, so dass sich hier an und im Tümpel entsprechende Gräser, Falter, Amphibien und Reptilien ansiedeln können.

Quellenangaben

1 – Website Biothan GmbH

2 – Vorlesung Wiese

3 – Infos der Besichtigung am 24.05.2023

4 – Vorlesung Kraft

5 – Buch Handbuch zur Bilanzierung von Biogasanlagen für Ingenieure – Band I

6 – Buch Anaerobtechnik - Abwasser-, Schlamm- und Reststoffbehandlung, Biogasgewinnung; 3., neu bearbeitete Auflage

7- WW62

8- WW63

9- Unterlagen Frau Kahlert vom BIL Witzenhausen