

Die Vergasung organischer Abfälle

Dipl.-Ing. Helmut Schalles
IKR Ingenieurbüro für Kunststoffverarbeitung & Recycling
Franziskanerstr. 17, D – 51491 Overath

Einleitung

Die bisher klassische Entsorgung organischer Abfälle, sofern nicht anderweitig verwertbar, war und ist die thermische Verwertung (= Verbrennung) mit teilweise energetischer Nutzung. Die energetische Nutzung erfolgt mit bescheidenen Wirkungsgraden, die bei einer Verstromung in der Regel unter 25% liegen. Im Klartext bedeutet dies, dass von dem eingetragenen Heiz- bzw. Brennwert der organischen Abfälle mehr als 75% verloren gehen.

Als Alternative mit höheren Energierückgewinnungs-Wirkungsgraden (elektrisch bis zu 35% und thermisch + elektrisch gesamt bis zu 85%) hat sich die Vergasung von organischen Abfällen entwickelt.

Die Vergasung ist ein chemisch-physikalischer Vorgang, in dem organische Produkte unter Hitze und in einer speziellen, sauerstoffarmen Atmosphäre in ein gasförmiges und brennbares Produkt umgewandelt werden.

Am bekanntesten ist das Prinzip des Holzvergasers, der insbesondere nach dem 2. Weltkrieg für den Betrieb von Kraftfahrzeugmotoren eingesetzt wurde.

Aber: es gibt kein universales Vergasungs-Verfahren!

Vergasungstechniken

Für die Vergasung organischer Abfälle stehen diverse technische Optionen zur Verfügung. Je nach Abfallart – fest oder flüssig, Biomasse oder auch Kunststoff, reine Organik oder schadstoffbelastet – und je nach Verwendung des erzeugten Gases für eine Wärme-, Strom- oder Kraftstoffproduktion stehen unterschiedliche Vergasertechniken zur Verfügung, die zusätzlich noch mit unterschiedlichen Prozessparametern und auch in Kombination untereinander betrieben werden (- können -).

Und: Vergasung kann auch feste Rückstände hinterlassen.

Der nachfolgende Bericht soll daher eine Richtungs- und Entscheidungshilfe für potentielle Interessenten, Investoren und Anwender sein.

Nachdem die Abfallart (= Brennstoff) definiert ist, muss sich der Anwender zunächst einmal grundsätzlich für eine Vergasungstechnik entscheiden.

Hier stehen 3 Vergasungstechnologien zur Verfügung:

- die Festbettvergasung
- die Wirbelschichtvergasung
- die Flugstromvergasung

Vereinfacht dargestellt liegt bei der **Festbettvergasung** der feste, stückige Brennstoff wie in einem normalen Feuerofen auf einem Rost. Die notwendige Hitze wird über eine unvollständige Verbrennung des Brennstoffs in sauerstoffarmer Atmosphäre erzeugt.

Die Festbettvergasung kann sowohl unter Druck als auch mit Unterdruck betrieben werden. Im Gleichstromverfahren wird das Verbrennungsmedium – in der Regel Luft – direkt in die heiße Vergasungszone geleitet und das erzeugte Gas unter dem Rost nach unten abgesaugt.

Im Gegenstromverfahren wird das Verbrennungsmedium unter dem Rost zugeführt und nach oben durch den Brennstoff abgesaugt.

Die Unterschiede liegen in der Gastemperatur, die beim Gleichstromverfahren deutlich höher liegt, und in der angestrebten Gaszusammensetzung und Gasqualität.

Die **Wirbelschichtvergasung** entspricht weitestgehend einer Wirbelschichtverbrennung, die unter Sauerstoffmangel betrieben wird. Das heiße Verbrennungsmedium wird dabei durch ein Gitter in eine Wirbelschichtkammer geblasen. Die über diesem Gitter befindlichen, mittel bis fein vermahlenden Brennstoffpartikel werden dabei aufgewirbelt und vergast. Die Vermahlung des Brennstoffes (= größere Oberflächen) und die Verwirbelung dienen einer Verbesserung des Wärmeüberganges. Die Vergasung findet dabei in kürzester Zeit statt.

Bei der **Flugstromvergasung** werden zu Pulver feinvermahlener Brennstoff bzw. pastöse / flüssige Fette und Öle oder sonstige pumpfähige organische Gemische eingesetzt. Der Brennstoff wird fein verteilt in die Brennkammer eingedüst, wo er schlagartig vergast. Die Flugstromvergasung findet in der Regel unter teilweise hohem Druck statt. Diese Vergasungstechnik ist auch mit einem Festbettvergaser kombinierbar, indem oberhalb des Koksбетtes Brennstoff als Pulver oder flüssig in den Verbrennungsraum eingedüst wird.

Je nach Vergasertyp ist bei dem eingesetzten Brennstoff der Aschegehalt zu berücksichtigen. Darüber hinaus bilden sich bei niederen Vergasungstemperaturen Koks (= unverbrannter Kohlenstoff) und bei hohen Temperaturen Schlacken. Diese Vorgänge sind fließend und neben der Temperaturführung auch durch das Verbrennungsmedium (Luft oder reiner Sauerstoff und / oder Wasserdampf) beeinflusst.

Während Wirbelschichtvergaser aschesensibel sind, da eine entstehende Asche je nach Art nur schwierig ausgetragen werden kann, gibt es bei den Festbettvergäsern spezielle Rostausführungen auch für höheren Ascheaustrag. Bei Druckvergäsern kommen besondere Schleusensysteme oder abdichtende Austragsschnecken zum Einsatz.

Am wenigsten kritisch reagiert der Flugstromvergaser auf sich bildende Asche, da diese nach unten fällt und mechanisch ausgetragen werden kann. Bei Druckvergäsern ist auch hier analog zum Festbett-Druckvergaser mit Schleusensystemen zu arbeiten, um einen Druckabfall zu verhindern.

Das Grundprinzip der Vergasung

Das Grundprinzip der Vergasung ist die unvollständige Verbrennung des eingesetzten Brennstoffes. Diese findet üblicherweise bei Temperaturen ab $> 500^{\circ}\text{C}$ statt. Die heutigen Vergaseranlagen arbeiten in der Regel mit Temperaturen zwischen $850 - 1.200^{\circ}\text{C}$, wobei auch Prozesse bis über 2.000°C bekannt sind.

Die unvollständige Verbrennung entsteht durch eine Unterversorgung des Verbrennungsprozesses mit Sauerstoff. Die Kohlenwasserstoffverbindungen werden vollständig gebrochen und durch Anlagerung von Sauerstoff im Idealfall zu CO = Kohlenmonoxid und H_2 = Wasserstoff gespalten.

Der Vergasungsprozess ist prinzipiell exotherm, es wird Wärmeenergie freigesetzt. Die energetischen Wirkungsgrade liegen bei der Vergasung je nach Vergasertyp und Prozessführung bei $80 - 95\%$.

Die Pyrolyse

Ein anderes Verfahren der Aufspaltung von Kohlenwasserstoffverbindungen soll in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben.

Die Pyrolyse (griechisch: pyr = Feuer / lysis = Auflösung) ist ein Prozess der thermischen Spaltung von chemischen Verbindungen, wobei durch Temperatur ein Bindungsbruch innerhalb von großen Molekülen erzwingen wird. Meist geschieht dies unter Ausschluss von Sauerstoff, um im Gegensatz zur Vergasung eine Verbrennung zu verhindern.

Die Pyrolyse erfolgt in der Regel bei Temperaturen ab ca. 350°C , wobei dann bei organischen Abfällen die vorhandenen Kohlenwasserstoffketten in kürzere Kettenmoleküle gecrackt (= gebrochen) werden.

In der reinen Pyrolyse werden Koks, Öl und Gas gewonnen. Bei niederen Temperaturen ergibt sich ein höherer Ölanteil, bei hohen Pyrolysetemperaturen steigt der Gasanteil.

Die Pyrolyse verläuft endotherm. Aufgrund der fehlenden Verbrennung muss ihr die für den Prozess erforderliche Wärme von außen zugeführt werden.

Häufig wird die Pyrolyse bei den sogenannten Verölungstechniken, teilweise auch als Direktverflüssigung von Kohlenstoffverbindungen bezeichnet, eingesetzt.

Hier gibt es eine Vielzahl von Verfahren, die mit unterschiedlichen Drücken und Temperaturen, mit und ohne Hydrierung (= Zugabe von Wasserstoff) sowie mit und ohne Einsatz von Katalysatoren agieren.

Im Gegensatz zur Vergasung, bei der die Herkunft des Brennstoffes nicht unbedingt entscheidend ist, muss bei den Verölungstechniken besonders auf die Grundqualität des Inputmaterials geachtet werden. Schadstoffe werden im Gegensatz zur Vergasung nicht oder nur unzureichend zerstört, die nach der „Verölung“ vorliegenden Kohlenwasserstoffmoleküle sind meist nicht sauber und nicht homogen und bedürfen einer weiteren Raffinierstufe. Im Gegensatz zu Behauptungen diverser Lieferanten von derartigen Verölungsanlagen sind die gewonnenen Öle zwar grundsätzlich für Verbrennungsprozesse geeignet, aber sie sind für einen Dauerbetrieb heute noch nicht motorentauglich.

Vielfach wird die Pyrolyse einer Hochtemperatur-Vergasung vorgeschaltet, um nur bestimmte Anteile der eingesetzten Brennstoffe zu vergasen.

Beispiel: aus Kunststoffen wird bei Temperaturen zwischen 350 – 450°C relativ viel Pyrolyseöl produziert, welches überwiegend aus reinen Kohlenwasserstoffen besteht.

Dieses Öl wird dann in einer Flugstromvergasung weiter aufgespalten in Wasserstoff und Kohlenmonoxid (= als Resultat der unvollständigen Verbrennung).

Das Pyrolysegas wiederum wird für die Beheizung der Pyrolysekammer genutzt.

Vergasungskonzepte

Entscheidend für alle Prozesse bei der Vergasung – Vergaserart, Druck und Temperatur, mit oder ohne vorgeschalteter Pyrolyse, Kombinationsbetrieb etc. – sind die Definition des Inputmaterials :

- saubere oder verschmutzte organische Abfälle
- Mischabfälle mit hohem Aschegehalt
- Energiegehalt
- Zustand und Körperform
- Trockengrad
- Kontinuierliche Verfügbarkeit

und die Definition des zu erzeugenden Gases und dessen Verwendung:

- Brenngas, z.B. für Heizzwecke, Betrieb eines Dampfkessels etc.
- Generatorgas, z.B. für eine motorische Nutzung
- Synthesegas, z.B. für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen und andere synthetische Anwendungen

In der Praxis tauchen die unterschiedlichsten Varianten der Vergasungstechniken auf. Im Grunde ist die Vergasungstechnik recht einfach, denn es ist eine natürliche Reaktion nicht nur der organischen Verbindungen, die Zustandsform unter Einfluss von Wärme zu ändern. Aber die organischen Abfälle stellen in der Regel keine reinen Kohlenwasserstoffverbindungen dar. Außerdem treten bei der Molekülsplaltung je nach Druck und Temperatur neue chemische Reaktionen auf, sodass sich wieder neue Moleküle bilden können, die nicht in jedem Falle gewünscht sind, und die Größe der Molekülsplaltung ist verfahrenstechnisch auch nur begrenzt beeinflussbar. Andere in den Brennstoffen enthaltene chemische Elemente und Moleküle, z.B. in Farben und Stabilisatoren enthaltene Schwermetalle, erfordern einen zusätzlichen Aufwand für ihre Entfernung.

Vor dem Einsatz eines über die Vergasung erzeugten Gases, gleich welcher Verwendung, ist somit immer auch eine Gasreinigung und ggf. Abtrennung von unerwünschten Komponenten erforderlich. Dies geschieht in der Regel in einer Trocken- und Nassreinigung, wobei das Gas zusätzlich auch auf die gewünschte Gebrauchstemperatur abgekühlt wird. Nasslösliche Gaskomponenten werden ausgewaschen (z.B. Salzbildner) und mit dem Waschmedium ausgeschleust. In der Trockenreinigung werden über die Zugabe geeigneter Chemikalien die unerwünschten Gaskomponenten „gebunden“ und ausgeschieden. In der Regel entscheidet die Gasreinigung über die Einsatzqualität des erzeugten Gases.

Wie bereits oben erwähnt, gibt es kein universales Vergasungsverfahren. In der Praxis, und die beschränkt sich zur Zeit noch weitestgehend auf Entwicklungs- und Versuchsanlagen, werden ein- bis mehrstufige Vergasungsverfahren genutzt, welche teilweise noch durch weitere chemische und physikalische Verfahren ergänzt werden. Es ist zum derzeitigen Stand der Entwicklung der Vergasungstechnik unmöglich, ein einheitliches Bild aller Alternativen und Möglichkeiten darzustellen. Die nachfolgenden Fallbeispiele sind daher nur eine kleine Auswahl aus einer Vielzahl von Möglichkeiten und Unmöglichkeiten. Sie erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Fallbeispiele für die Vergasung organischer Abfälle

1. Verwertung von – schadstoffbelastetem - Altholz

Zum Einsatz kommt bevorzugterweise ein Festbettvergaser.

Das Altholz wird – z.B .mit einem Schredder – grob zerkleinert.

Sofern das Altholz feucht ist, wird es auf ca. 15% Restfeuchte getrocknet.

Für die Trocknung kann die Abwärme des Vergasers genutzt werden.

Die Vergasung erfolgt bei Temperaturen von 850 – 1.200 °C.

Bei niedriger Temperatur entstehen als Produkte Koks (= als Aktivkohle), Teer und Gas.

Der Teer muss über zusätzliche Prozesse (z.B. eine Nachverbrennung) eliminiert werden.

Die Aktivkohle wird als eigenständiges Produkt ausgeschleust, das Gas (Heizwert ca.10 – 15 MJ/Nm³) wird nach Reinigung entweder als Brenngas für den Betrieb eines Dampfkessels oder für den Betrieb eines sogenannten Schwachgasmotors mit nachgeschaltetem Stromgenerator genutzt.

Bei höheren Vergasungstemperaturen reduziert sich der Teergehalt bis gegen Null und auch der Koksanteil reduziert sich zugunsten des erzeugten Gases.

Bei Einsatz von Sauerstoff als Verbrennungsmedium und Hochtemperatur-Wasserdampf (> 600°C) lässt sich auch hochqualitatives Synthesegas erzeugen.

2. Verwertung von Frischholz

Das Holz wird zunächst durch Lagerung vorgetrocknet. Nach einer Grobzerkleinerung wird es thermisch auf ca. 15% Restfeuchte endgetrocknet, wobei die Abwärme des Vergasers genutzt werden kann. Auch hier empfiehlt sich der Einsatz eines Festbettvergaser.

Bei hohen Vergasertemperaturen $> 1.150\text{ °C}$ entsteht ein Synthesegas mit hohen Kohlenmonoxid – und Wasserstoffanteilen, welches für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen in einem Fischer-Tropsch – Reaktor geeignet ist.

In Ländern mit einem „Erneuerbare Energien-Gesetz“ wie Deutschland und der damit verbundenen Förderung der Nutzung von Biomassen zur Stromerzeugung empfiehlt sich allerdings hier allein schon aus rein finanziellen Gründen die Verstromung.

3. Verwertung von Speiseresten und Marktabfällen

Diese Art der organischen Abfälle hat in der Regel Feuchtigkeitsgrade von $> 60\%$.

Hier sind besondere Verfahren erforderlich, die Abfälle zu verdichten und auf ca. 15 – 20% Restfeuchte herunterzutrocknen. Es empfehlen sich mechanische Techniken, da eine thermische Trocknung bei den hohen Wassergehalten äußerst kostenintensiv ist.

Zu berücksichtigen ist dabei allerdings die Behandlung und Weiterleitung / Nutzung des ausgepressten Wassers.

Da die mechanische Verdichtung in der Regel mit einer Pelletierung bzw. Brikettierung gekoppelt wird, sind für die Vergasung sowohl Festbett- als auch Wirbelschichtvergaser geeignet. Je nach Prozessführung kann hier ein Brenngas für den Betrieb eines Dampfkessels, ein Generatorgas für den Einsatz eines Schwachgasmotors oder ein Synthesegas für die Herstellung von Fischer-Tropsch-Kraftstoffen gewonnen werden.

4. Verwertung von Biomasse über Gasreformierung

Bei diesem Verfahren wird die vorbehandelte / getrocknete Biomasse pyrolytisch in Koks und Gas umgesetzt. Das Gas wird in einen Reformier geleitet und dort durch Umsetzung mit Wasserdampf zu einem wasserstoffreichen Gas „veredelt“.

Der Koks wird ausgeschleust und in einer externen Feuerung zur Erzeugung der erforderlichen Prozesswärme verbrannt.

Der für die Gasreformierung erforderliche Dampf wird über die Nutzung der Restwärme des Produktgases bei der Gaskühlung erzeugt.

Das erzeugte Gas ist aufgrund eines hohen Wasserstoffanteiles sowohl für die Verstromung über einen Gasmotor als auch für den Einsatz in Brennstoffzellen geeignet.

Des weiteren eignet es sich auch für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe.

5. Verwertung von Altfetten / Altölen

In der Regel werden diese Abfallarten mit der Flugstromtechnik vergast.

Die Fette und Öle werden durch Wärmezufuhr, wobei die Abwärme des Vergasers genutzt werden kann, in ihrer Viskosität soweit abgesenkt, dass sie leichtfließend und pumpfähig sind.

Danach werden sie durch einen Düsenbrenner, gleichzeitig mit Sauerstoff als Verbrennungsmedium und Wasserdampf, in den Vergasungsreaktor eingeblasen.

Der gesamte Vergasungsvorgang erfolgt in der Regel unter hohen Drücken bis zu 100bar.

Je nach Sauerstoffmenge können Temperaturen von über 2.000 °C erreicht werden.

Dabei werden alle organischen Verbindungen vollständig in Kohlenmonoxid und Wasserstoff gespalten. Eventuell vorhandene mineralische Bestandteile werden aufgeschmolzen und als inerte Schlacke abgeschieden.

Der Vorteil dieses Vergasungsverfahrens liegt in der hohen Qualität und Reinheit des erzeugten Synthesegases.

Auch feste organische Abfälle können über diese Technik hochwertig vergast werden, sie müssen aber vorher – und dies ist ein kostenintensiver Nachteil – aufwändig aufbereitet und zu verdüsungsfähigem Pulver vermahlen werden.

6. Verwertung von gemischten Abfällen

Mischabfälle, z.B. aus Haushaltsabfällen, enthalten einen hohen Organikanteil bestehend aus Speiseresten, Papier, Kunststoffen etc. und sind meist nur sehr aufwändig zu sortieren.

In jüngerer Zeit werden diese Abfälle mehr und mehr mit teilweise unbefriedigendem Ergebnis in sogenannten „mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen“ aufbereitet. Dabei werden die Abfälle nach einer groben Vorsichtung zunächst zerkleinert und durch Siebung in mehrere Stoffströme (Feinfraktion – Grobfraktion) aufgeteilt. Der Hauptanteil der biologischen Organik befindet sich danach in der Feinfraktion, die unter Luftzufuhr aerob oder in geschlossenen Reaktoren unter Luftabschluss anaerob weiterbehandelt wird, bis ein vorher definierter Grad des biologischen Abbaues erreicht wird.

Die Grobfraktion, bestehend aus Papier, Kunststoffen usw., wird entweder zu Ersatzbrennstoff aufbereitet oder direkt verbrannt.

Als Alternative bietet sich auch hier wieder die Vergasung an.

Die Abfälle werden nach einer – bei hohem Feuchtigkeitsgehalt - groben Vortrocknung ohne weitere Vorbehandlung und ohne Zerkleinerung in einem Schubboden-Pyrolysator bei Temperaturen bis 750 °C vergast. Das Gas wird in einer zweiten Brennkammer unter Zufuhr von Luft oder Sauerstoff und bevorzugt unter Zugabe von Hochtemperatur-Wasserdampf bei Temperaturen über 1.200 °C vollständig in seine Grundmoleküle zerlegt.

Je nach Prozessparametern lässt sich mit diesem Verfahren aus gemischten, unsortierten Abfällen einfaches Brenngas bis zu hochqualitativem Synthesegas erzeugen.

Zusammenfassung

Die Vergasung ist für organische Abfälle heute bereits eine klare Alternative zur Verbrennung oder zu sonstigen Aufbereitungstechniken.

Obwohl die Technik an sich alt ist (siehe Holzvergaser), hat sich aufgrund geänderter Anforderungsprofile beim Abfall und bei der Verwendung / Nutzung der erzeugten Vergaserprodukte eine Vielzahl von unterschiedlichen Vergasungsmethoden entwickelt, die eine Standardisierung in Zukunft weitgehend ausschließen wird.

Hinzu kommt, dass die Patentrechts-Situation bei der Vergasung von Abfällen völlig unübersichtlich ist. Viele Altpatente sind abgelaufen. Jedes Forschungsinstitut, jeder Anlagenbauer und teilweise auch schon einige Anwender haben eigene Erfindungen und Rechte angemeldet, die sich teilweise überschneiden.

Die meisten neuen Entwicklungen sind auch noch nicht ausreichend langzeiterprobt.

Und dennoch bietet die Vergasung das nötige Potential zur Bewältigung unserer modernen Abfallprobleme. Entscheidend ist, dass der interessierte Investor nicht gutgläubig auf Zusagen und Versprechungen hört, sondern sich selbst ausreichend informiert und überzeugt.

Wenn das vorgesehene Endprodukt, mit dem in der Regel die Investition amortisiert werden muss, feststeht und definierbare Abfälle in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, dann gibt es auch heute schon bei der Vergasung brauchbare Lösungen.

Dipl.-Ing. Helmut Schalles

geb. 1943, ist freiberuflich tätiger Verfahreningenieur.

Seit 1968 befasst er sich mit der Verarbeitung von Kunststoffen und der Wiederverwertung von Kunststoffabfällen. Nachdem zunächst die werkstoffliche Abfallverwertung im

Vordergrund stand, hat er sich in den letzten 10 Jahren verstärkt auch mit der energetischen Nutzung von werkstofflich nicht verwertbaren Abfällen befasst.

Und da die meisten Kunststoffe der organischen Chemie angehören, war auch die Beschäftigung mit der biologischen Organik eine logische Folge.