

**Forschungszentrum Karlsruhe**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

**Wasserstoff- und Methanherzeugung  
aus nasser Biomasse**

**Hydrogen and Methane Production  
from Wet Biomass**



## Motivation

Der steigende Bedarf an Primärenergie bei gleichzeitiger Verknappung der fossilen Energieträger sowie der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre drängen nach einem stärkeren Einbezug regenerativer Energiequellen zur Energieerzeugung. Die sinnvolle energetische Nutzung von Biomasse kann hierzu einen wertvollen Beitrag leisten. Bei einem wesentlichen Teil der anfallenden Biomasse handelt es sich um nasses Material mit einem Wassergehalt von bis zu 95%. Der Energieinhalt dieser jährlich in Deutschland anfallenden Menge entspricht dem von 10-15 Millionen Tonnen Heizöl. Eine neue, dazu geeignete Umwandlungstechnologie mit dem Ziel der Wasserstoff- und Methanherzeugung wird im folgenden vorgestellt. Der Prozess liefert somit eine chemische, höherwertige und vielfältig nutzbare Energieform.

## Einsatzprodukte

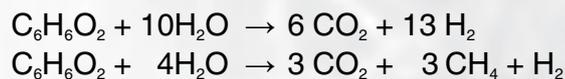
Für diesen neuen Prozess können Abfallbiomassen aus der Landwirtschaft, der Getränkeindustrie und der Lebensmittelindustrie sowie speziell angebaute Pflanzen („Energiepflanzen“) eingesetzt werden.

### Beispiele:

- Traubentrester
- Gülle
- Gewächshausabfälle
- Energiepflanzen (Ganzpflanzen)
- Klärschlamm
- Algen, Wasserpflanzen
- Zuckerrübenabfälle

## Methode

Der organische Anteil der Biomasse reagiert mit überkritischem Wasser, d.h. bei Temperaturen  $>374^{\circ}\text{C}$  und Drücken  $>220$  bar. Dabei wird nicht nur der in der Biomasse gebundene Wasserstoff, sondern zusätzlich auch Wasserstoff aus dem Wasser freigesetzt. Das Wasser dient also nicht nur als umweltfreundliches Lösungsmittel, sondern auch als Wasserstofflieferant. Typische Reaktionsbedingungen dieses als hydrothermale Vergasung bezeichneten Verfahrens sind Temperaturen um  $600^{\circ}\text{C}$  und ein Druck von 300 bar. Näherungsweise gilt für die Umsetzung von Biomasse:



Weitere Bestandteile des Produktgases sind vor allem Kohlendioxid,  $\text{CO}_2$ , und in sehr geringem Ausmaß Kohlenmonoxid,  $\text{CO}$ . Das hochwertige Produkt-Brenngas kann in Gasmotoren, Turbinen oder in Brennstoffzellen zur Stromerzeugung ohne aufwändige Konditionierung eingesetzt werden.

## Motivation

*The increasing demand on primary energy at concurrent shortage of fossil fuels as well as the increase in the carbon dioxide concentration in the atmosphere push for a stronger inclusion of renewable energy sources for the energy production. Reasonable energetic use of biomass could make a valuable contribution therefor. Essential part of the incidental residual biomass consists of wet material with a water content up to 95%. In Germany, the energy content of this rest biomass yearly corresponds those of 10-15 million tons of fuel oil. A new suitable conversion technology for the production of hydrogen and methane will be presented below. The process provides thus a chemical, high-value, and manifold usable form of energy.*

## Educts

*For this new process, waste biomass from agriculture, beverage and food industry as well as from fast growing plants („energy plants“) can be used as feedstock.*

### Examples:

- grape residue
- liquid manure
- greenhouse waste
- energy plants (usage of the whole plant)
- sewage sludge
- algae, aquatic plants
- sugar beet waste

## Method

*The organic matter of biomass reacts with supercritical water, i.e. at temperatures  $>374^{\circ}\text{C}$  and pressures  $>220$  bar. Hereby, hydrogen from biomass as well as hydrogen from water is gained. Thus, water is not only an environment-friendly solvent, but also a hydrogen source. Typical reaction conditions of this process – also known as hydrothermal gasification – are temperatures of  $600^{\circ}\text{C}$  and pressures of 300 bar. The following equations apply for the conversion of biomass:*

*Further components of the product gas are mainly carbon dioxide,  $\text{CO}_2$ , and a small amount of carbon monoxide,  $\text{CO}$ . The high-grade burnable product gas can be used in gas engines, turbines or in fuel cells for the generation of electricity without complex conditioning.*

Wesentlicher Vorteil des neuen Verfahrens zur energetischen Nutzung nasser Biomasse ist der Wegfall der energieintensiven Trocknung der Ausgangsbiomasse, die bei den traditionellen Verfahren, die einen trockenen Eingangsstoff erfordern, notwendig ist.

*Main advantage of the new procedure for the energetic use of wet biomass is the omission of the energy-intensive drying of the biomass feedstock, necessary for traditional processes requiring a dry feedstock.*

### Vorteile des Verfahrens der hydrothermalen Vergasung nasser Biomasse sind:

- keine Vortrocknung des Edukts
- nahezu vollständiger Umsatz
- ohne Katalysatorzusatz
- hoher thermischer Wirkungsgrad
- sauberes Produktgas, da kaum Teer- und Rußbildung
- direkte Erzeugung von Wasserstoff und Methan
- Anreicherung von Wasserstoff durch einfache Gaswäsche mit Wasser
- Produktgas unter hohem Druck verfügbar
- geringe Kompressionsarbeit

### Advantages of the hydrothermal gasification process of biomass are:

- no drying of the educt
- nearly complete conversion
- without addition of catalyst
- high thermal efficiency
- clean product gas as almost no tar and soot formation
- direct generation of hydrogen and methane
- easy accumulation of hydrogen by simple gas scrubbing with water
- product gas under high pressure available
- low compression work

## Anlagenbeschreibung

Die Pilotanlage VERENA (Versuchsanlage zur energetischen Nutzung agrarwirtschaftlicher Stoffe) wurde für einen Gesamtdurchsatz von 100 kg/h Biomasse mit bis zu 20% Trockensubstanz konzipiert.

Im **Feedsystem** wird die Biomasse gegebenenfalls mit Wasser vermischt, zerkleinert, konditioniert und in Form einer Lösung, Dispersion oder Suspension mit einer Hochdruckpumpe auf bis zu 300 bar verdichtet und in das **Reaktionssystem** gefördert. Im Reaktionssystem wird dieser Biomasse-Feed in einem Wärmetauscher und Vorheizer aufgeheizt und bei Temperaturen von bis zu 600 °C im Reaktor umgesetzt. Die Reaktionsprodukte sind Wasserstoff, Kohlendioxid, Methan, Ethan und Spuren von Kohlenmonoxid. Diese Produktgase bilden mit überschüssi-



## Description of the plant

*The pilot plant VERENA (German acronym for „experimental facility for the energetic use of biomass“) is designed for a total throughput of 100 kg/h of biomass with up to 20% dry organic matter.*

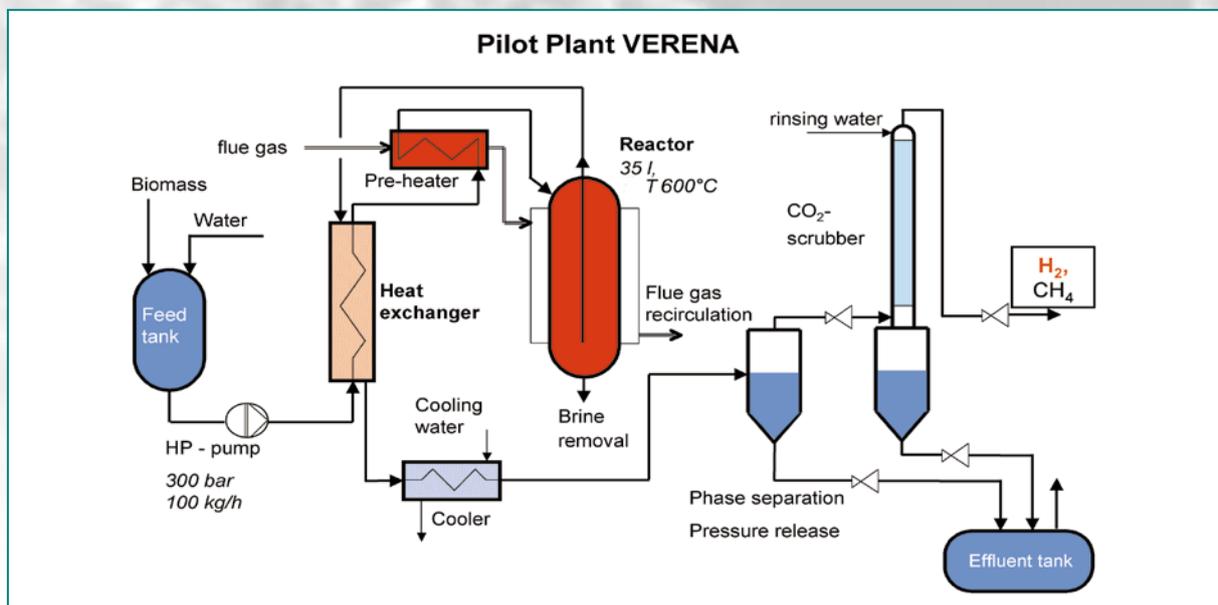
*In the **feed system**, if necessary, biomass is mixed with water, crushed and conditioned. The educt in form of a solution, a dispersion or a suspension is then compressed up to 300 bar with a high pressure pump and delivered to the reaction system. In the **reaction system**, the feed is heated up in a heat-exchanger and a pre-heater and converted in the reactor at temperatures up to 600 °C. The reaction products are hydrogen, carbon dioxide, methane, ethane, and traces of carbon monoxide. These product gases form a homogeneous phase with excess process*

gem Prozesswasser eine homogene Phase. Die benötigte Reaktionsenergie wird durch Rauchgasbeheizung des Vorheizers und des Reaktors aufgebracht. Die den Reaktor verlassenden Produkte werden im Gegenstrom durch den Wärmetauscher geführt und geben ihren Wärmeinhalt an den aufzuheizenden Biomasse-Feed ab. Beim Abkühlen des Produktgases wird die Restwärme mittels Kühlwasser, das zur Warmwassergewinnung verwendet werden kann, abgeführt, und das Produktgas trennt sich von der Wasserphase. Im **Abscheidesystem** werden die gebildeten Reaktionsgase vom Prozesswasser durch ein- oder zweistufige Druckentspannung abgetrennt. Der zweite Abscheider ist mit einem CO<sub>2</sub>-Wäscher ausgerüstet. Das Produktgas wird zur Energieerzeugung oder zur chemischen Nutzung verwendet. Das Prozesswasser kann ohne weitere Behandlung in den Vorfluter eines Klärwerkes eingeleitet werden.

Die **Energiebilanz** bei der Vergasung eines 15 Gew. % Methanol-Feeds liefert folgende Eckdaten: Energieverbrauch der Heizung 41 kW<sub>th</sub> und nur 2 kW<sub>e</sub> an elektrischer Energie. Das Produktgas hat einen unteren Heizwert von 85 kW<sub>th</sub>, zusätzlich werden 11 kW<sub>th</sub> an Warmwasser gewonnen. Der theoretische thermische Wirkungsgrad des Prozesses liegt bei 80%. Aus Maissilage können aus 100 kg Trockensubstanz ca. 22 Nm<sup>3</sup> Wasserstoff, 18 Nm<sup>3</sup> Methan, 4 Nm<sup>3</sup> Ethan und 1 Nm<sup>3</sup> Propan produziert werden.

*water. The required reaction energy is brought up in the pre-heater and the reactor by flue gas heating. The discharging products are conducted in reverse flow through the heat-exchanger and transfer their heat-content to the biomass feed. By cooling down the product gas, the remaining heat is dissipated via cooling water, what can be used as source of hot water, and the product gas separates from the water phase. In the **separation system**, the formed reaction gases are separated from the process water by one or two step pressure relief. The second separator is equipped with an integrated CO<sub>2</sub> scrubber. The product gas is used for energy production or for chemical applications. The process water can be discharged in a prefloder of a sewage treatment plant.*

*The **energy balance** for the gasification of a feed with a methanol content of 15 wt.% shows the following basic data: energy consumption for heating 41 kW<sub>th</sub>, for electric energy only 2 kW<sub>e</sub>. The product gas obtained has a lower heating value of 85 kW<sub>th</sub>, additionally 11 kW<sub>th</sub> in form of hot water can be gained. The theoretical thermal efficiency of the process is about 80%. From 100 kg dry organic matter of the feedstock maize silage about 22 Nm<sup>3</sup> hydrogen, 18 Nm<sup>3</sup> methane, 4 Nm<sup>3</sup> ethane and 1 Nm<sup>3</sup> propane can be produced.*



Weitere Informationen erhalten Sie von / For further information please contact:

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Institut für Technische Chemie, Bereich Chemisch-Physikalische Verfahren

Dr. Nikolaos Boukis, Telefon: +49 7247 82-4825, Fax: +49 7427 82-2244, E-Mail: nikolaos.boukis@itc-cpv.fzk.de

Prof. Dr. Eckhard Dinjus, Institut für Technische Chemie, Bereich Chemisch-Physikalische Verfahren

Telefon: +49 7247 82-2401, Fax: +49 7427 82-2244, E-Mail: office@itc-cpv.fzk.de

Stabsabteilung Marketing, Patente und Lizenzen (MAP)

Dr. Thomas Kröner, Telefon: +49 7247 82-2590, Fax: +49 7247 82-5523, E-Mail: info@map.fzk.de

Postfach 3640, 76021 Karlsruhe, Germany

Internet: [www.fzk.de](http://www.fzk.de)