

Biogastagung 2005; Haus Düsse, 15. April 2005

Innovative Techniken bei Biogasanlagen im Sinne des EEG 2004

Biogastagung 2005 -
Biogas boomt: Trends und Technik

Haus Düsse, 15. April 2005

Dr.-Ing. Stephan Kabasci

Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen



Fraunhofer Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Gliederung

- **Begrüßung, Einleitung**
- Innovative Techniken im EEG 2004
- Brennstoffzellen
- Gasturbinen
- Gasaufbereitung zu Erdgasqualität
- Trockenfermentation
- Zusammenfassung

Biogastechnik - Angebot von Fraunhofer UMSICHT

- Erstellung von **Machbarkeitsstudien** und **Gutachten** zu Biogasanlagenprojekten (einschl. Wirtschaftlichkeitsanalyse und Energieversorgung)
- **Projektentwicklung** und Akquisition von Fördermitteln
- **Analysen von Einsatzstoffen** (z. B. Schwermetalle, Nährstoffe und Gasertrag) **und von Gärprodukten** gemäß BioAbfV
- Durchführung kontinuierlicher **Laborfermentationen**
- **Planung und Bau von Versuchs-, Pilot- und Demonstrationsanlagen**
- **Prozessprüfung** an bestehenden Biogasanlagen nach Bioabfallverordnung
- **Betriebsunterstützung** durch Fernüberwachung der Anlagen, biologische Betreuung
- **Forschungsvorhaben** zur Weiterentwicklung von Vergärungsprozessen



EEG 2004:

Innovative Techniken

Hintergrund:

- Anreiz zum Einsatz innovativer, besonders energieeffizienter, umwelt- und klimaschonender Anlagentechniken

Anreiz:

- Erhöhung der Mindesteinspeisevergütung um 2,0 ct/kWh

VORAUSSETZUNG:

- Anlage **muss** – zumindest zeitweise – in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden (Abgabe von Wärme außerhalb der Biogasanlage)

Technologieliste:

- thermochemische Vergasung
- **Trockenfermentation**
- **Gas aus Biomasse wird auf Erdgasqualität aufbereitet**
- Einsatz von **Brennstoffzellen**, **Gasturbinen**, Dampfmaschinen, Organic-Rankine-Cycle-Anlagen, Mehrstoffgemisch-Anlagen, insbes. Kalina-Cycle-Anlagen, oder Stirling-Motoren

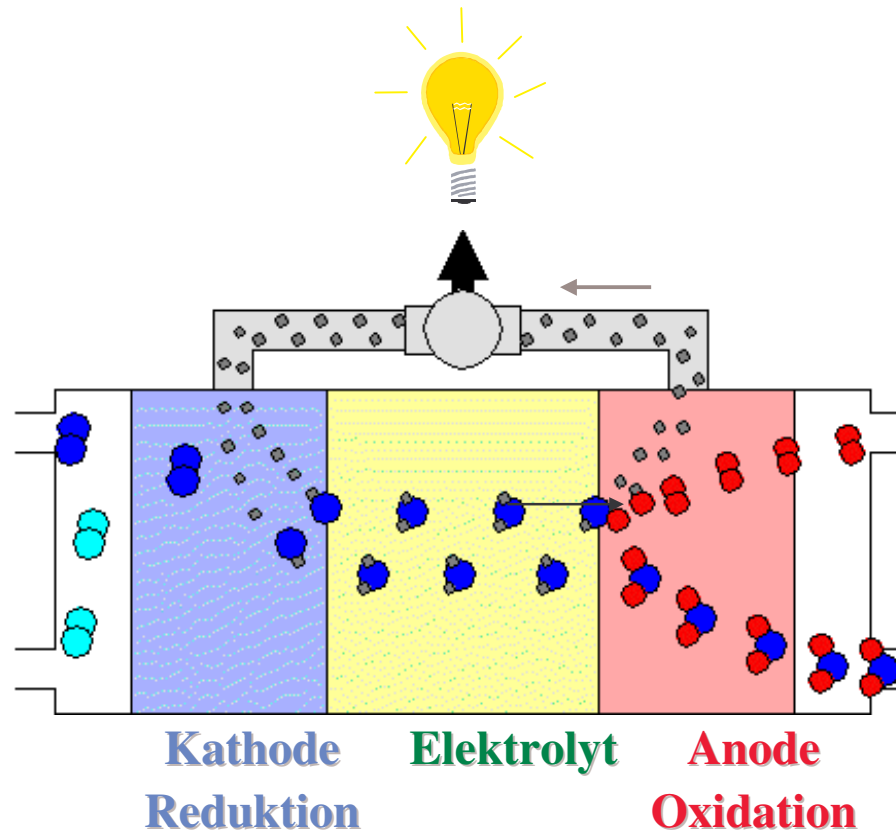
Dynamisierung:

- Anpassung an den Stand der Technik durch Benennung in Rechtsverordnung (BMU im Einvernehmen mit BMVEL und BMWA) - zurzeit noch nicht möglich, Liste ist abschließend!



Brennstoffzelle: Funktionsprinzip

- chemische Energie \Rightarrow Strom
- räumliche Trennung der Reaktionspartner durch einen Elektrolyten
- Elektronenaustausch über äußeren Stromkreis
- Anodenreaktion: Oxidation des Brenngases
- Kathodenreaktion: Reduktion von Sauerstoff



Brennstoffzelle: Einteilung nach Bauarten

| Kurzbezeichnung | PEMFC | PAFC | MCFC | SOFC |
|--------------------|--|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | polymer electrolyte membrane fuel cell | phosphoric acid fuel cell | molten carbonate fuel cell | solid oxide fuel cell |
| Betriebstemperatur | 80-100 °C | 160-210 °C | 650 °C | 750-1000 °C |
| Brenngas | H ₂ | H ₂ | H ₂ , CO | H ₂ , CO |
| Reforming | extern | extern | intern | intern |
| Wirkungsgrad | 40 % | 40 % | 50 % | 52 % |
| Klärgas/Biogas | x | x | xx | x |
| Spez. Preis | ca. 10.000,- €/kW | - | 8.000 €/kW | Prototyp |



Brennstoffzelle: Anforderungen Gaszusammensetzung

| Komponente | PEFC | PAFC | MCFC | SOFC |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Partikel | staubfrei | staubfrei | < 1 mg/m³ < 1 µm | < 1 mg/m³ < 1 µm |
| HCl | < 500 mg/m³ | < 0,1 mg/m³ | < 0,1 mg/m³ | < 1 mg/m³ |
| HF | < 10 mg/m³ | < 0,1 mg/m³ | < 0,01 mg/m³ | k. A. |
| KW | k. A. | < 0,1 mg/m³ | < 100 mg/m³ | k. A. |
| Si-Verb. | k. A. | < 0,1 mg/m³ | k. A. | k. A. |
| H₂S, COS | < 0,1 mg/m³ | < 0,1 mg/m³ | < 0,1 mg/m³ | < 1 mg/m³ |
| CO | 10-100 mg/m³ | k. A. | Brenngas | |
| N₂ | < 5 Vol. % | Inert | Inert | |
| CO₂ | < 5 Vol. % | Inert | Inert | |



Brennstoffzelle: Klärgasreinigung Köln-Rodenkirchen

Demonstrationsbetrieb einer ONSI-PAFC mit gereinigtem Klärgas

- Gasstrom 30 - 90 m³/h
- Eintritt 25 °C, wasserdampfgesättigt
- zwei parallele Gaskühler abwechselnd in Betrieb
- Energieeinsparung durch inneren Wärmetausch
- vollautomatischer Betrieb
- modulare Bauweise
- über 10.000 Bh
- keine CO₂-Trennung



Brennstoffzelle: Klärgasreinigung Wuppertal-Kohlfurth

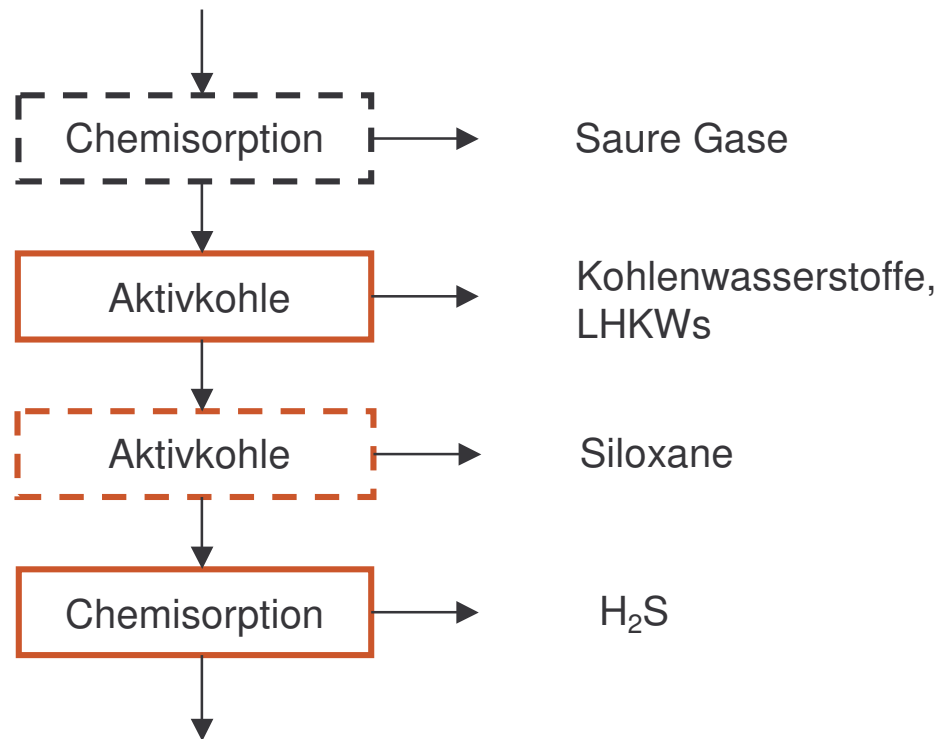
Versuchsbetrieb einer ANSALDO-MCFC mit gereinigtem Klärgas

- Gemeinschaftsprojekt mit der Uni Duisburg-Essen und dem Wupperverband
- Leistung BZ 1 kW_{el}
- keine CO₂-Abtrennung



Brennstoffzelle: Klärgasreinigung Wuppertal-Kohlfurth

Gasreinigung mittels mehrstufiger Sorption



Brennstoffzelle: Klärgasreinigung Wuppertal-Kohlfurth

Versuchsbetrieb einer ANSALDO-MCFC mit gereinigtem Klärgas

Ergebnisse:

- Gasreinigung trennt alle Minorkomponenten ab
- Durchbruchkurven zur Auslegung technischer Systeme wurden ermittelt

ANSALDO



n MCFC Test System



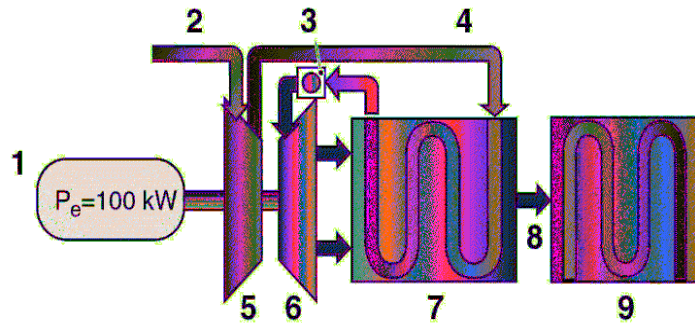
Brennstoffzelle: Brennstoffzelle PEM-Oberhausen

Demonstrationsbetrieb einer ALSTOM-PEMFC mit Erdgas und Grubengas

- Leistung BZ 210 kW_{el}
- weitere Bestandteile des Systems: Gasmotor-BHKW, Mikrogasturbine, USV
- 3.300 Betriebsstunden der Brennstoffzelle (vorgesehene Lebensdauer 3.000 Stunden)



Gasturbine: Prinzip der Mikro-Gasturbine



Vergleich zum Gasmotor

- Etwas geringerer Wirkungsgrad ($\eta_{el} = 30 \%$)
- Geringere Wartungskosten
- Niedrigere Emissionen (NO_x , CO, HC), leiserer Betrieb, schwingungsarm
- Höheres Temperaturniveau der Wärme
- Leistung 30 kW_{el} oder 100 kW_{el}



Bilder: Pro2 / Turbec



Gasturbine:

Innenleben der Mikro-Gasturbine

Turbec T 100:

- $95 \text{ kW}_{\text{el}}$, $\eta_{\text{el}} = 30,0\%$
- $141 \text{ kW}_{\text{th}}$, $\eta_{\text{th}} = 45,0\%$

Luftansaug-
filter

Turbine

Brennkammer

Rekuperator

Leistungselektronik



Gasturbine:

- Betrieb seit Anfang 2004
- ca 2.500 Betriebsstunden (Spitzenlasteinsatz)



Biogasturbine in Dorsten-Lembeck



Quelle: Loick Bioenergie GmbH



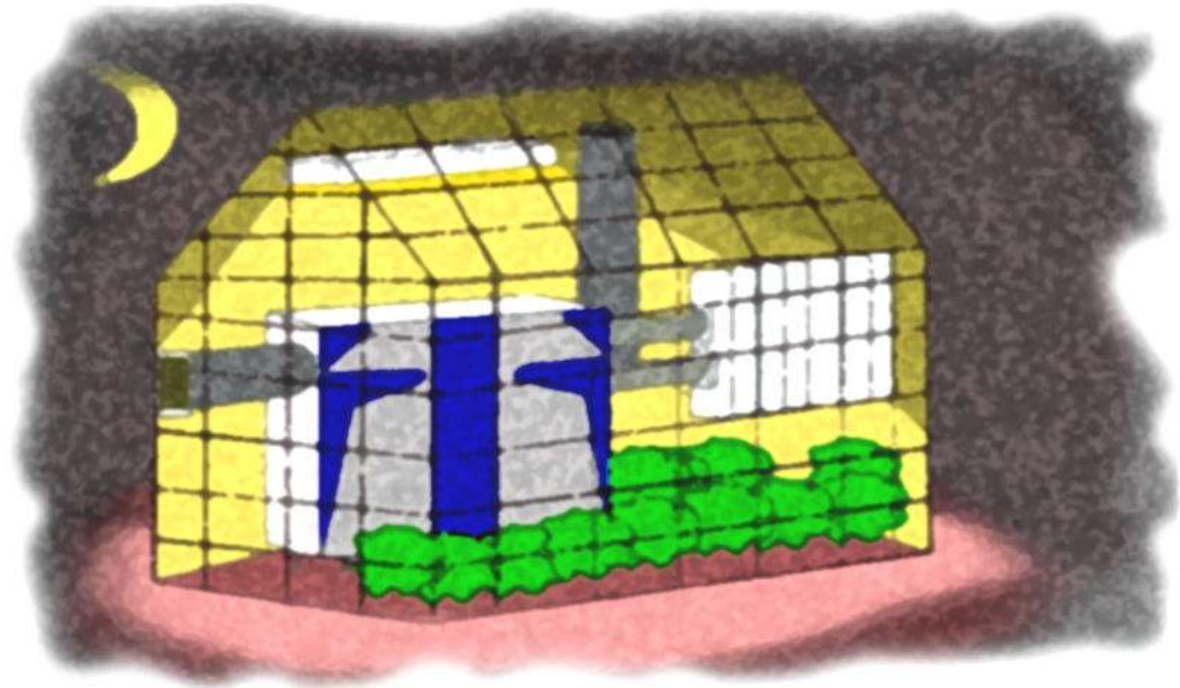
Gasturbine:

CO₂-Düngung von Gewächshäusern

Nutzung von:

- Strom
- Wärme
- Kohlendioxid (CO₂)

Steigerung der Erträge
um bis zu 40% durch
CO₂-Anreicherung der
Gewächshausluft aus dem
Gasturbinenabgas



Gasturbine: Anforderungen Gaszusammensetzung (Herstellerabhängige Daten)

| | | Gas-Ottomotor | MikroGasturbine |
|----------------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|
| Hauptkomponente: | CH ₄ | > 40 Vol.% | > 45 Vol.% |
| Feuchte: | H ₂ O | < 80 % r.F. | < 80 % r.F. |
| Spurengase: | H ₂ S | < 1.100 mg/m ³ | < 1.100 mg/m ³ |
| Angaben für Biogas | Cl + F | < 50 mg/m ³ | < 50 mg/m ³ |
| mit 50 % CH ₄ -Gehalt | Staub | < 10 mg/m ³ | < 10 mg/m ³ |
| | KW | keine Kond. | keine Kond. |
| | Si-Verb. | < 5 mg/m ³ | < 5 mg/m ³ |



Gasaufbereitung: Anforderungen zur Einspeisung

Anforderungen an die Beschaffenheit von Brenngasen in der öffentlichen Gasversorgung werden im DVGW-Arbeitsblatt G 260 (Januar 2000) geregelt.

(Neu: DVGW G 262 - Nutzung von regenerativ erzeugten Gasen)

| | | Biogas | Erdgas DVGW 260 |
|--|------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Hauptkomponenten: | CH ₄ | 50-65 Vol.% | > 84 Vol.% |
| | | | (Brennwert > 8,4 kWh/m ³) |
| | CO ₂ | 30-40 Vol.% | < 16 Vol.% |
| Feuchte: (<i>mesophil</i>) (<i>thermophil</i>) | H ₂ O | 4-6 Vol.% | keine Kond. |
| | | 10-15 Vol.% | keine Kond. |
| Spurengase: (Ausnahmen möglich) | H ₂ S | 50-10.000 mg/m ³ | < 5 mg/m ³ |
| | NH ₃ | < 100 mg/m ³ | k.A. |
| | KW-Verb. | < 10 mg/m ³ | keine Kond. |
| | Staub | Spuren | technisch frei |



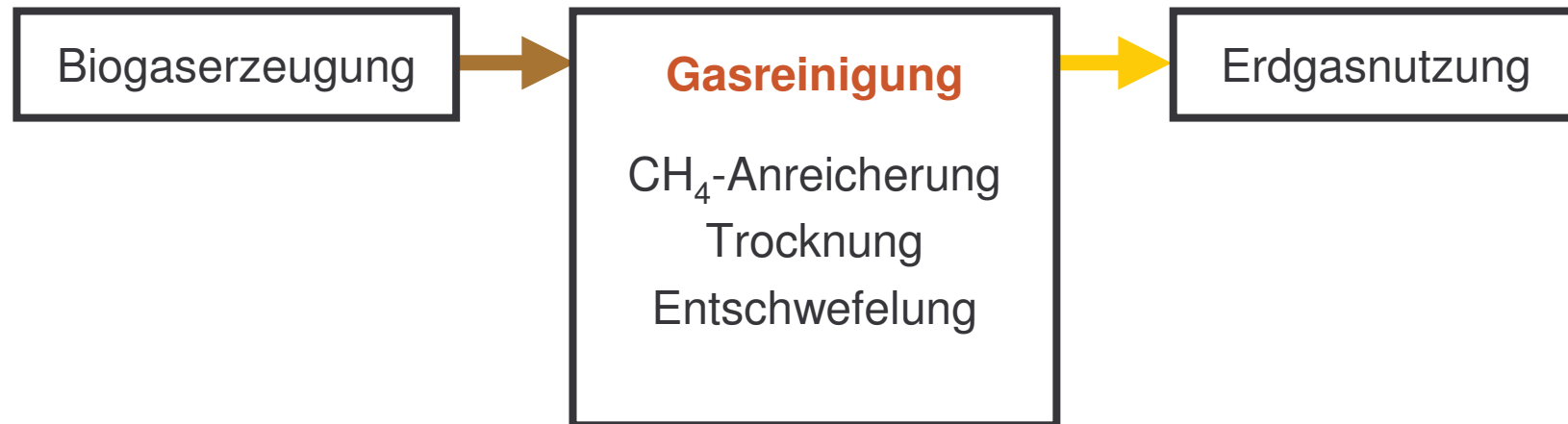
Gasaufbereitung: Anforderungen zur Einspeisung

Wichtigste Vorgaben des DVGW G 262

- Das Rohgas muss **gereinigt**, aufbereitet (entsprechend G 260) und auf den Netzdruck des Netzbetreibers **verdichtet** werden. In keinem Fall dürfen gesundheitliche Risiken vom aufbereiteten Gas ausgehen. Zur Einspeisung in ein Verteilungsnetz eines örtlichen GUV's muß das Gas nach G 280 **odoriert** werden.
- Das Gas kann entweder als **Austauschgas** oder als **Zusatzgas** (Gas zur Konditionierung) dem Netzbetreiber an der Übernahmeschnittstelle zur Verfügung gestellt werden.
- Für die Verwendung als Austauschgas ist die **Bestimmung der übergebenen Energiemenge** erforderlich.
- Für eine Verwendung als **Zusatzgas** zum Grundgas gilt dies gleichermaßen. Zusätzlich ist ein **Gasmischer** (G 213) notwendig und die Anforderungen bzgl. Verwendung und Abrechnung nach G 685 hinter dem Mischpunkt müssen gegeben sein.



Gaseinspeisung : Notwendige Aufbereitungsstufen



Gasreinigung: Verfahren zur Entschwefelung

Sulfidfällung

- Primärmaßnahme im Reaktor - bei Klärgas Nebeneffekt eisenhaltiger P-Fällungsmittel, 10 - 100 mg/m³ erreichbar

Waschverfahren

- bei Druckwasserwäsche bis < 5 mg/m³ erreichbar; mit Spezialwaschlösungen noch geringer

Adsorptive Verfahren

- Imprägnierte Aktivkohle (Kaliumiodid) als Adsorbens < 0,1 mg/m³ erreichbar
- Raseneisenerz als Adsorbens 5 - 100 mg/m³ erreichbar

Biologische Verfahren

- Lufteinblasung in Fermenter; Dauerleistung ca. 100 mg/m³ erreichbar, hohe Konzentrationsspitzen möglich
- Separate Wäscherkolonne; bis < 20 mg/m³ erreichbar



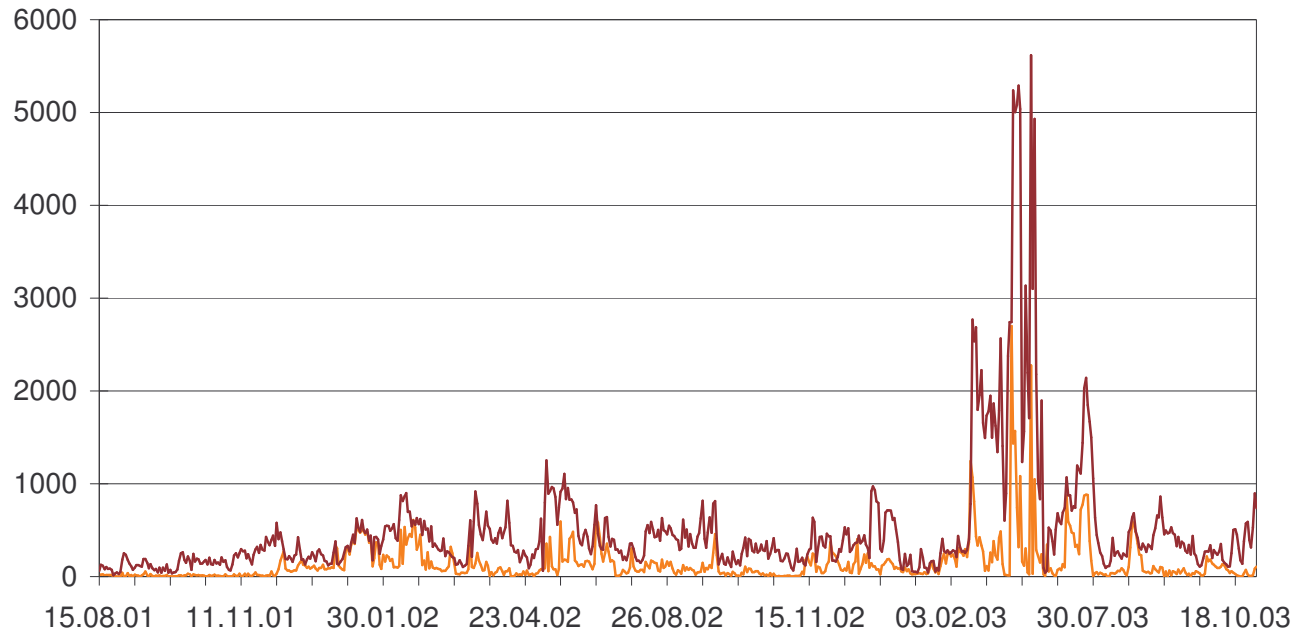
Gasreinigung: Messwerte Entschwefelung

H₂S-Gehalt bei einer Biogasanlage aus dem Messprogramm „Biogas Rheinland“

Entschwefelung durch Lufteinblasung in den Nachgärer

Quelle: LWK NRW; Kempkens, Besgen, 2003

Schwefelwasserstoffgehalt [ppm]



Mittelwerte: Messpunkt 1: 493,6 ppm
Messpunkt 2: 140,0 ppm

— Messstelle 2 nach Entschwefelung
— Messstelle 1 vor Entschwefelung



Gasreinigung:

Biogasanlage Dorsten-Lembeck



- Biologische Entschwefelung in Tropfkörperkolonne
- Gasstrom: 90 - 200 m³/h
- Gaseintrittskonzentrationen: 800 - 2000 mg/m³
- Gasaustrittskonzentrationen: < 20 - 50 mg/m³
- Schaltung direkt hinter Fermenter
(Druckverlust < 5 mbar)
- Verzicht auf Kiesfilter zur Aerosol- und
Schaumabscheidung
- Leistungsbedarf etwa 2 kW



Gasreinigung: Verfahren zur Methan-Anreicherung

Druckwechsel-Adsorption (PSA) (Stand der Technik)

(Anlagen in S und NL)

- Molekularsiebe auf Aktivkohlebasis als Adsorbens
Adsorption von CO₂ bei 8 - 10 bar; Desorption bei 0,05 bar
CH₄ > 96 Vol.% erreichbar

- das Gas sollte entfeuchtet (konkurrierende Sorption von Wasserdampf) und entschwefelt sein (Desorption an Luft)

- Kosten (Herstellerangabe) 6 ct/Nm³ Produktgas (250 m³/h)

Waschverfahren (Stand der Technik)

(Anlagen in S und CH)

- Druckwäsche in Wasser; CH₄ > 96 Vol.% erreichbar
simultane Entschwefelung möglich, Entfeuchtung dahinter

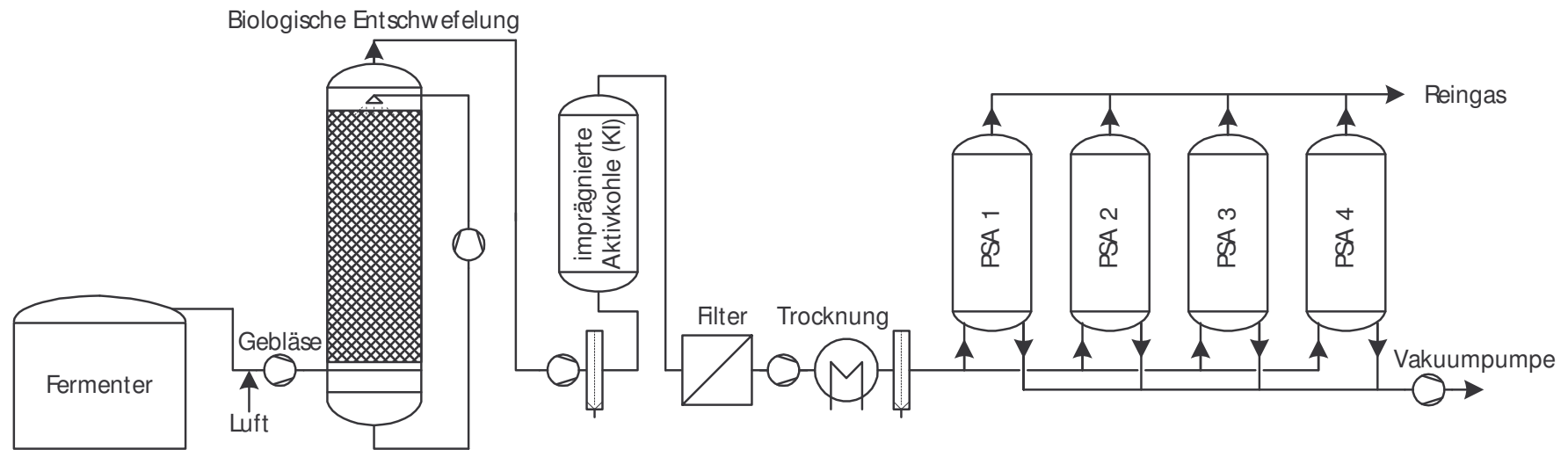
- Kosten (Herstellerangabe) 10 ct/Nm³ Produktgas (100 m³/h)

Membranverfahren (Pilotstadium)

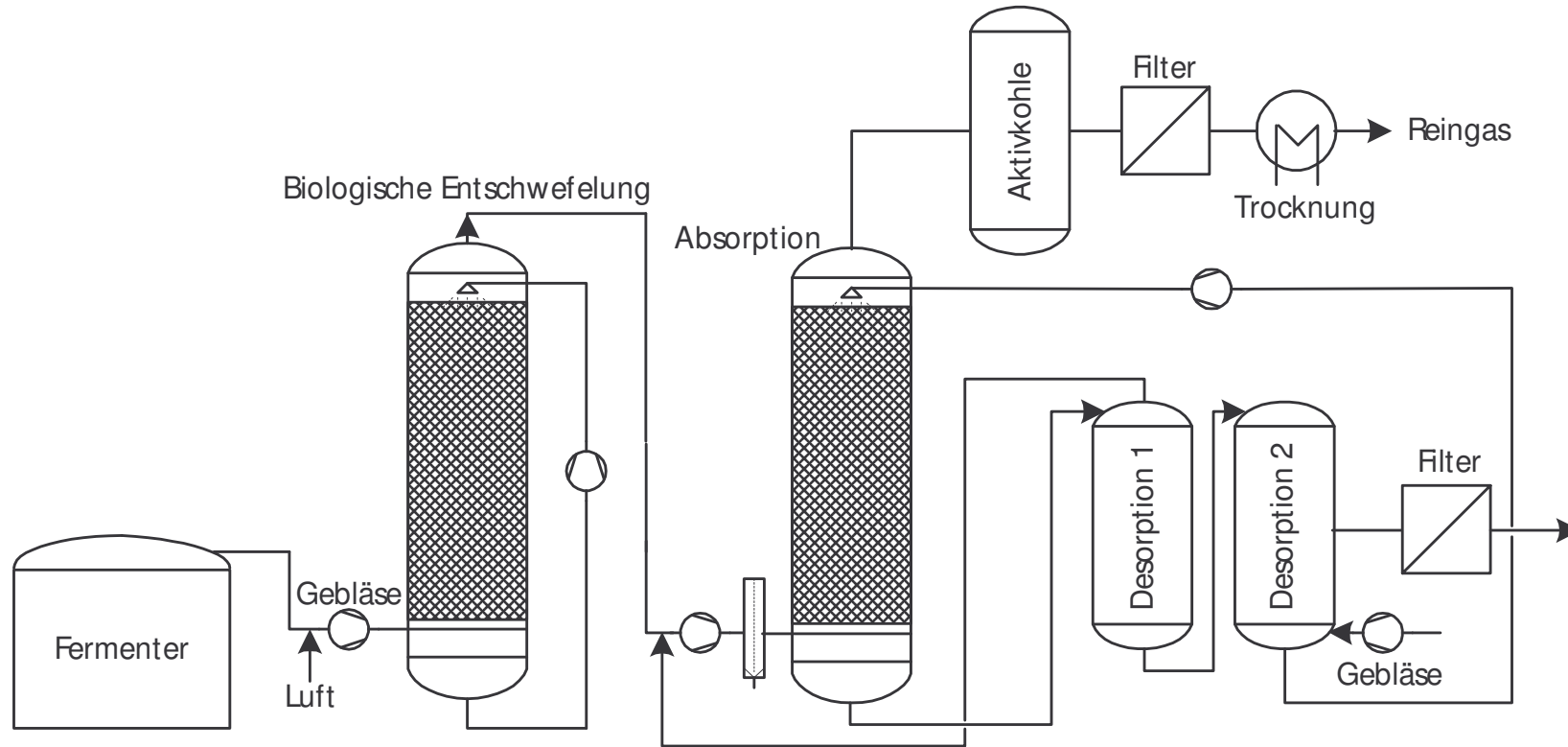
- Trennung durch nichtporöse Polymermembranen;
CH₄ > 96 Vol.% erreichbar



Gasreinigung: Schema Druckwechsel-Adsorption



Gasreinigung: Schema Druckwasserwäsche



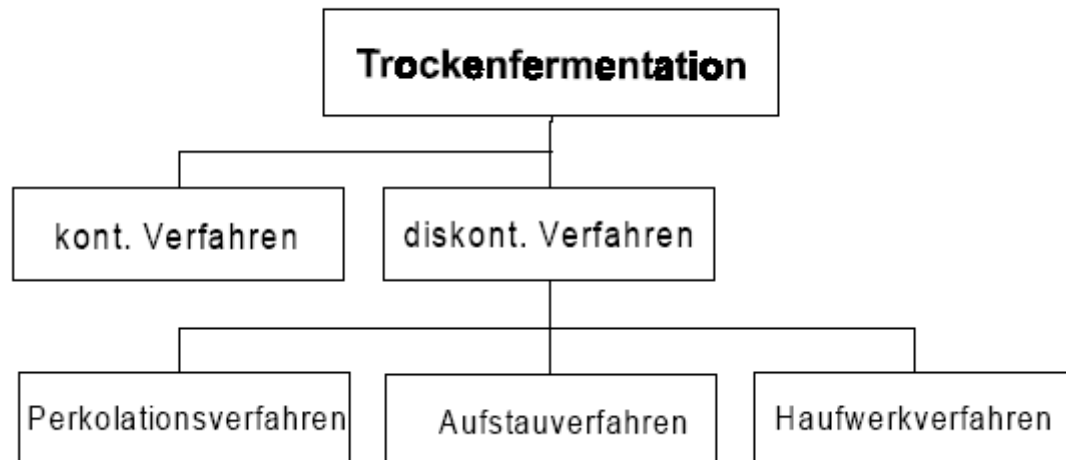
Gasreinigung: Beispiele Methan-Anreicherung

| Verfahren | Hersteller | Einige Referenzanlagen | Bemerkungen |
|--|-------------------|---|--|
| Auswaschung von H ₂ S und CO ₂ mittels Druckwasserwäsche | Flotech | 6 Anlagen in Schweden z.B. 3. Generation in Trollhättan (S) für CNG; 1 Anlage in Deventer (NL) für L-Gas 400 m ³ /h, zumindest zeitweise vollständig ins örtliche Netz | je nach Temperatur unterschiedliche CO ₂ -Auswaschg.; typische Kapazität 200 – 600 m ³ /h |
| Adsorption von H ₂ S und CO ₂ an Aktivkohle | Rüttgers-Carbotec | Helsingborg 200 m ³ /h CNG Stockholm 400 m ³ /h CNG Frederikstad 1000 m ³ /h Zürich-Samstagern, in Bachenbülach 40 m ³ /h Netzeinspeisung als H-Gas | Verfahrensbedingt sehr reines Produktgas; Typische Kapazität 150 – 1500 m ³ /h |



Trockenfermentation: Verfahrensvarianten

- Es gibt keine genaue Definition der Grenze zwischen Nass- und Trockenfermentation i.d.R. spricht man bis zu einem Trockenmassegehalt im Fermenter von 12-15 % von Nassfermentation, darüber Trockenvergärung.

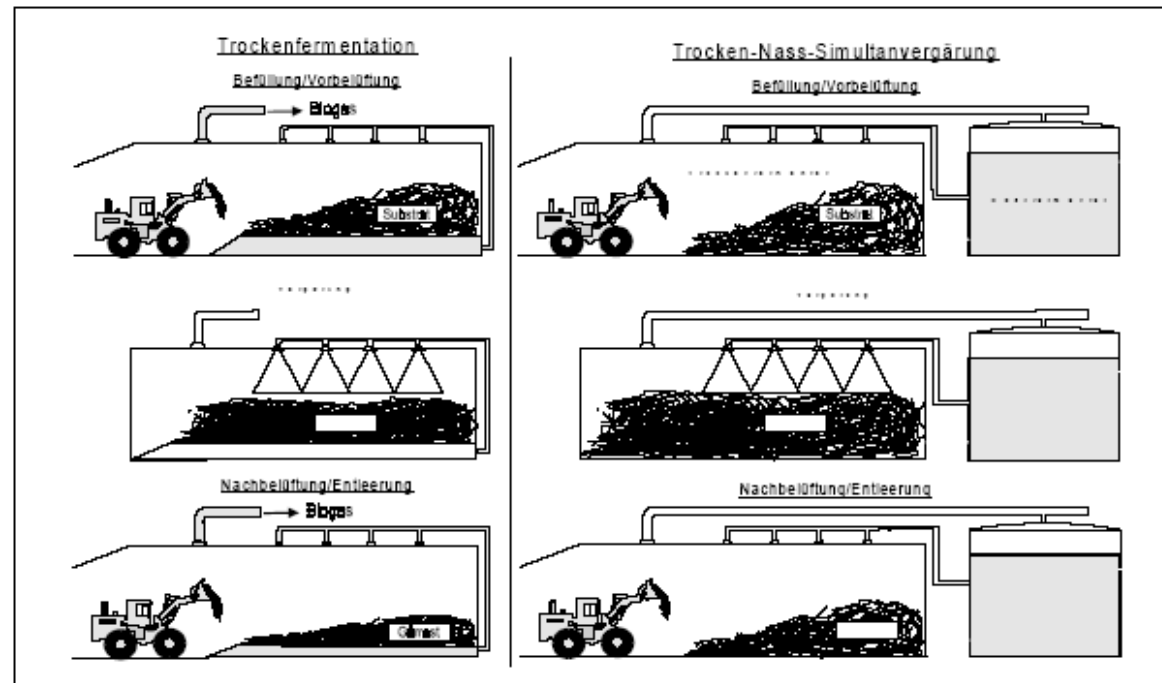


- kontinuierliche Verfahren sind zurzeit im Bereich der Behandlung kommunalen Bioabfalls verbreitet (Hersteller: Linde-KCA/BRV, Valorga, OWS-Dranco, Bühler KOMPOGAS)
 - alle gekennzeichnet durch hohe Investitionskosten
-



Trockenfermentation: Perkolationsverfahren

- erste Anlagen in der Landwirtschaft in Betrieb gegangen



Quelle: FNR



Trockenfermentation: InnoFerm-Technologie

Aktuelle Projektidee

- liegender, sich drehender zylindrischer Fermenter mit festen Einbauten „Drehrohr“
- geringer Verschleiß bei guter Durchmischung des gesamten Fermenterinhalt
- Technik bewährt bei der Kompostierung
- geeignet für große Bandbreite von Substraten

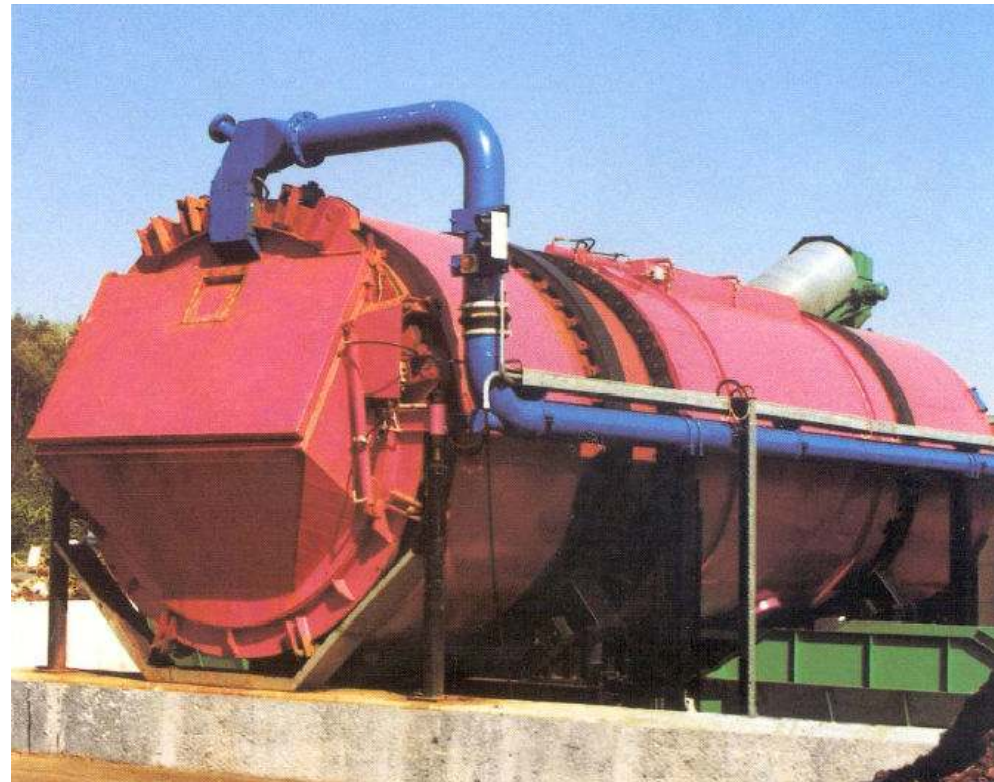
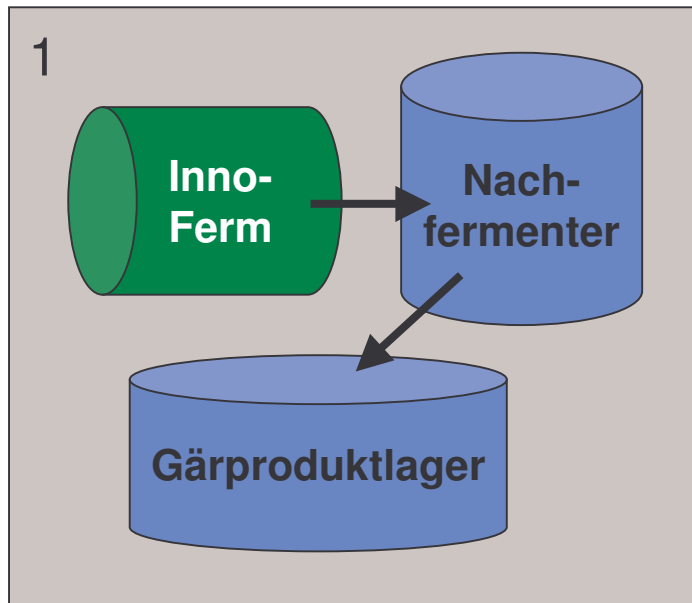


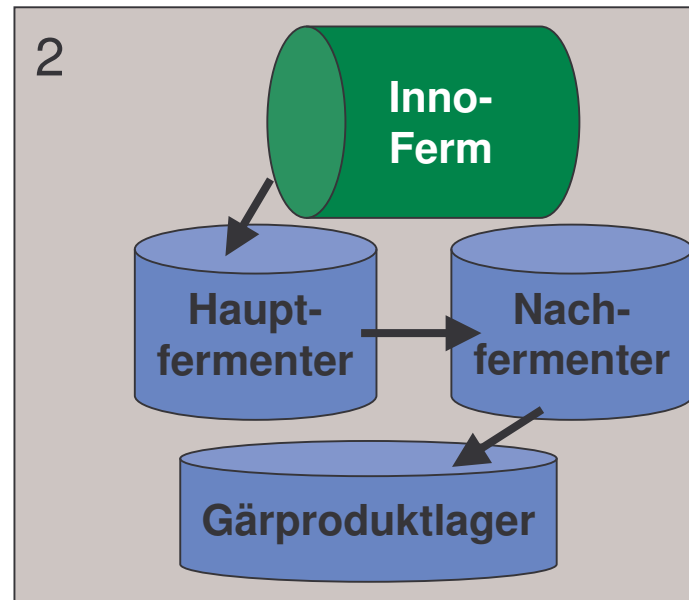
Foto: Industrie Service GmbH



Trockenfermentation: Einsatz InnoFerm-Technologie



1) als Hauptfermenter



2) als Vorfermenter

Quelle: Döhrmann Management
Beratung



Zusammenfassung: Innovative Techniken im EEG 2004

Brennstoffzellen

- Einsatz mit Klärgas/Biogas wurde demonstriert
- Weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt

Gasturbinen

- Einsatz mit Deponiegas/Biogas wurde demonstriert
- Wirtschaftlichkeit im Einzelfall zu prüfen

Gasaufbereitung

- Einsatz mit Klärgas/Biogas wurde demonstriert
- Wirtschaftlichkeit im Einzelfall zu prüfen
- Noch unklare Regelung, Gasnetzbetreiber muss mitmachen

Trockenfermentation

- Erste Anlagen in Betrieb
- Wirtschaftlichkeit muss noch gezeigt werden



Biogastagung 2005; Haus Düsse, 15. April 2005

Innovative Techniken bei Biogasanlagen im Sinne des EEG 2004

HERZLICHEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Dr.-Ing. Stephan Kabasci

Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen



Fraunhofer Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT