LNG-Gewinnung aus Biogas

Nutzbarmachung dezentraler
Biogasquellen
als Energiespeicher
und
als Alternative zur Verstromung vor Ort

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Agenda

- Ziele der Biogasaufbereitung und –umwandlung zu LNG
- Funktionsweise der Tieftemperatur-Desublimation
- Mögliche Anwendungsgebiete
- Vorteile für Anlagenbetreiber und Kommunen
- Versuche zum Verfahren und dessen Auslegung

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Ziele

- Erzeugung eines hochwertigen Energieträgers
- Erneuerbare Energien über lange Zeiträume speichern
- Die im Biogas enthaltene Energie vollständig nutzen
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit bestehender Anlagen
- Stoffliche oder energetische Nutzung des im Rohgas enthaltenen CO_2

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

LNG, ein hochwertiger Energieträger

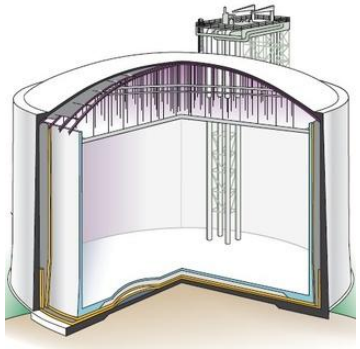
- Flüssigerdgas bei t = -162 °C
- Volumenreduktion auf ein 600stel

  Bsp. 1 m³ Erdgas = 1,7 l LNG

  Einsatz zur Energiespeicherung und zum Energietransport

  Energieinhalt ca. 5,9 kWh/l, im Vergleich Super-Benzin 8,8 kWh/l
- Hauptkomponente mit bis zu 99 Vol.-% Methan
- 28 % des Gesamterdgases in Form von LNG transportiert

Quelle: seanews.com.tr



Quelle: lusas.com

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK

Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Speicherproblematik in Deutschland

- fossile Stromerzeuger werden durch EE ersetzt
- EE wie Windkraft und solare Strahlung höchst volatil
- zum Ausgleich werden bereits 2020 bis zu 40 TWh an Speicherbedarf benötigt (Sterner, 2011)
- skandinavische Wasserkraft oder vorhandene Erdgasnetz einzige realistische Lösungsmöglichkeit (Sterner, 2011)
- Drittes Standbein: Energiespeicherung in Form von LNG

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Geringer Methanschlupf entscheidend

- wirtschaftliche Relevanz
- Treibhauspotential von Methan 25-fach höher als CO_2

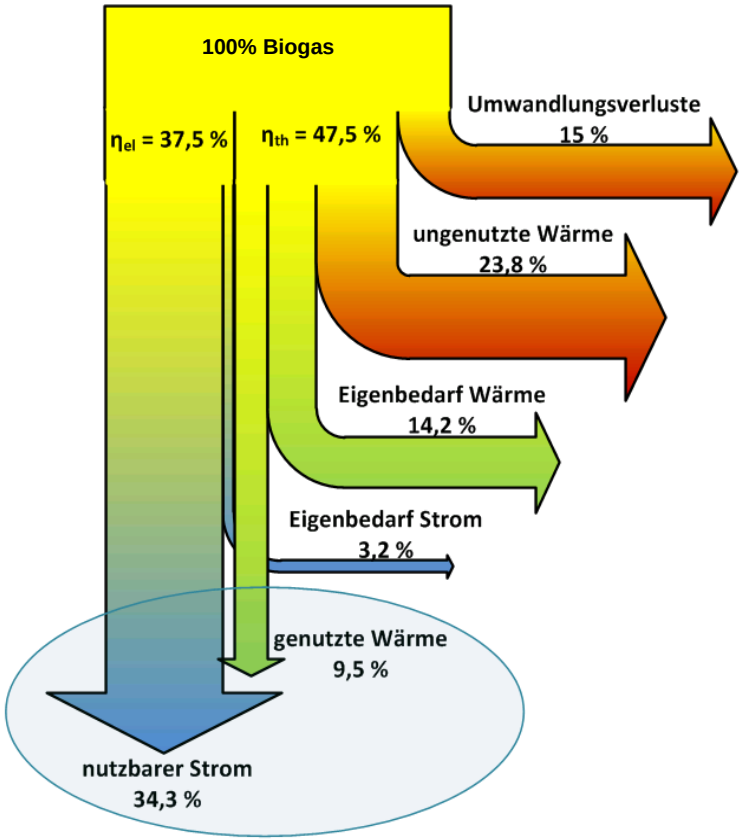
Art der Trennung	Verfahren, Technologie	Investitions-kosten	Betriebs-kosten	CH_4 Reinheit	Anmerkung
Membran-abtrennung	Polymermembrangas -trennung trocken	-	k.A.	> 85 %	nur Pilotanlagen, hoher Methanschlupf
Absorption (nass)	Selexolverfahren	-	--	> 96 %	hoher Energieaufwand, nur große Volumenströme
	Druckwasserwäsche	++	-	> 96 %	Praxiserprobt, am weitesten verbreitet
Adsorption (trocken)	Druckwechseladsorption	+	+	> 95 %	Praxiserprobt, erfordert Trocknung und Entschweflung
Kühlung	Rektifikation	--	k.A.	> 98 %	nur für sehr große Gasvolumenströme
	Ausfrierung	--	k.A.	> 99 %	CO_2 Verwertung möglich nur Pilotanlagen

++ Investitions-/Betriebskosten sehr niedrig; + Investitions/Betriebskosten niedrig
-- Investitions-/Betriebskosten sehr hoch; - Investitions-/Betriebskosten hoch

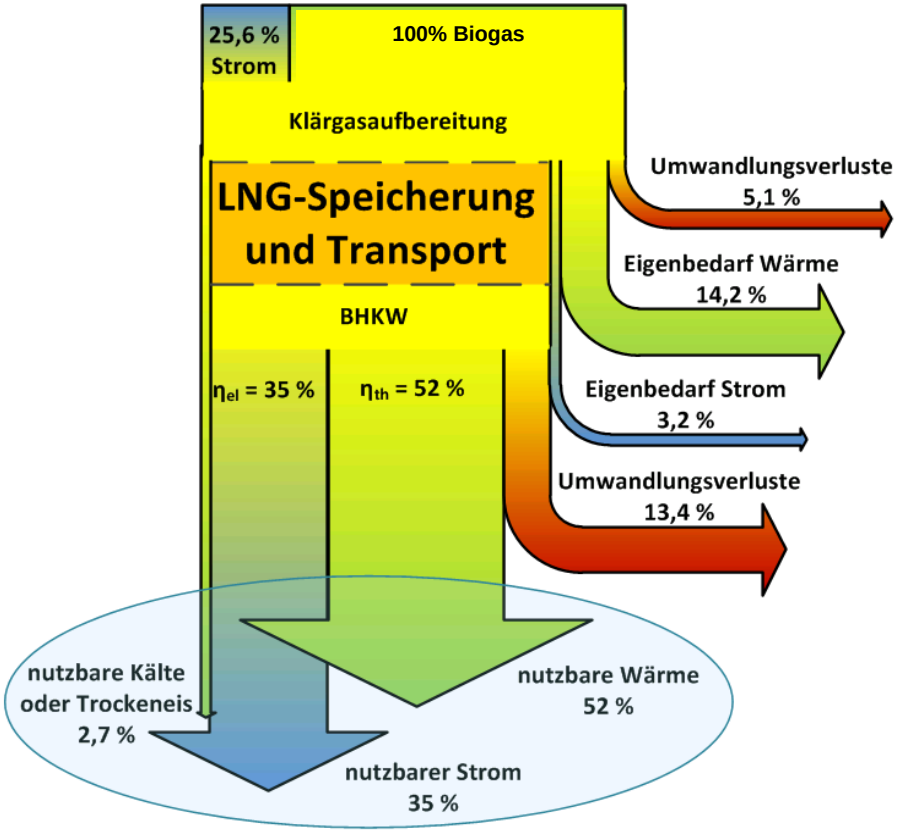
verändert und ergänzt nach Kaltschmitt M.

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Zeitliche und örtliche Entkopplung von Erzeuger- und Verbrauchsstrukturen



nutzbarer Anteil



nutzbare Anteil

links: Stand der Technik (Annahme: 50 % der entstehenden Wärme werden genutzt)
rechts: LNG-Herstellung und –speicherung, wärmegeführt und entkoppelt zur dezentralen Nutzung

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Steigerung der Wirtschaftlichkeit

- Verkauf des LNG als alternativen Kraftstoff
- Teilnahme am Regelenergiemarkt möglich
- Strom-, Wärme-, und Kältenutzung
- Vermarktung von Trockeneis
- Durch modulare Bauweise ab ca. 25 Nm^3/h Rohgas anwendbar

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

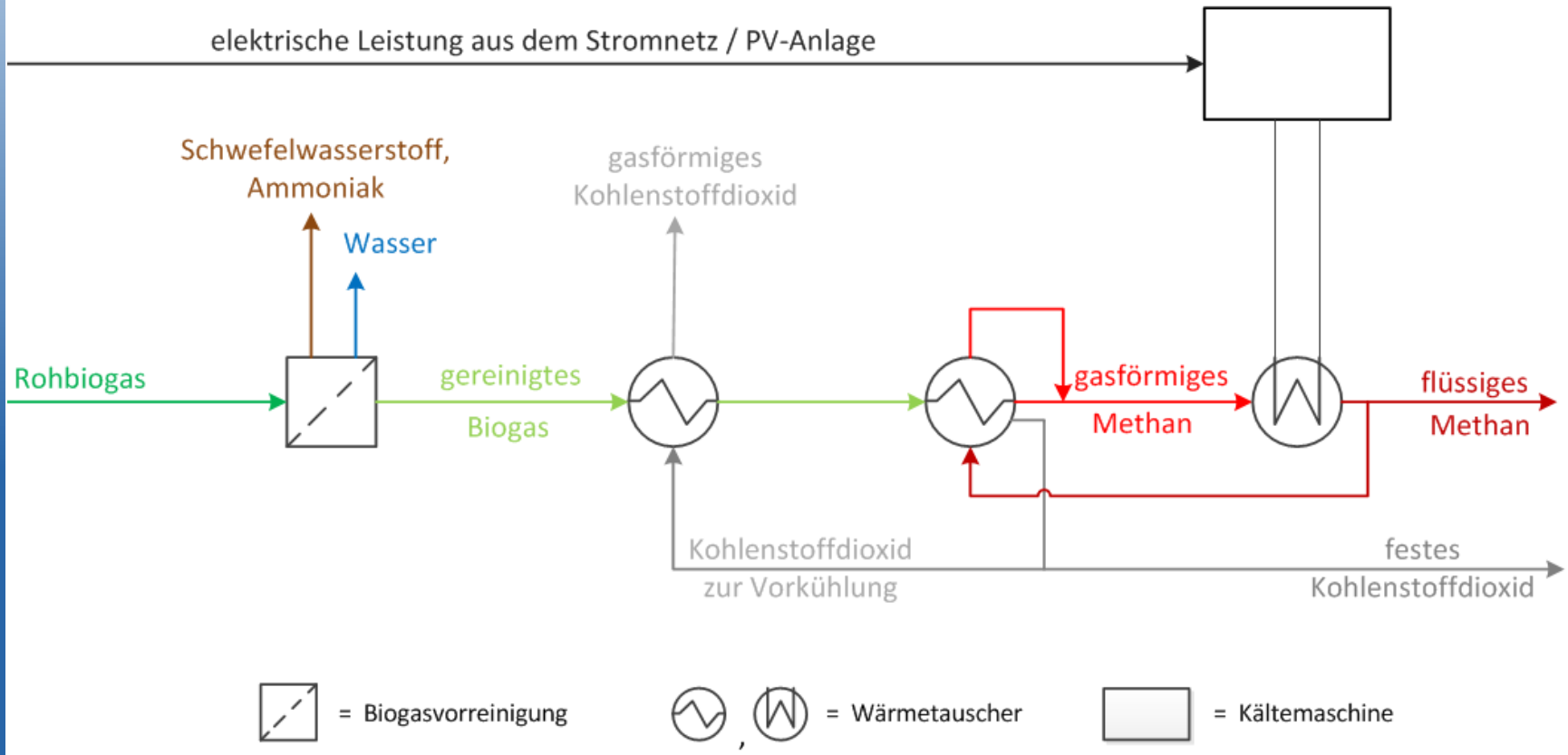
Trockeneis

- Entsteht bei -78,5 °C aus gasförmigen Kohlendioxid
- Schmilzt nicht sondern sublimiert (verdampft) rückstandsfrei
- 3-fache Energiegehalt gegenüber Eis
- Verwendung in der Lebensmittel-, Kunststoff- oder Stahlindustrie

Quelle: trockeneis4you

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Tieftemperatur-Desublimation



FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Betrachtung der Wärmeströme

Der Wärmestrom für das Biogas setzt sich aus Vorkühl-, Ausfrier-, und Verflüssigungswärmeströmen zusammen

$$\dot{Q}_{\mathrm{KG}} = \dot{Q}_{\mathrm{VK}} + \dot{Q}_{\mathrm{AF}} + \dot{Q}_{\mathrm{VF}}$$

Vorkühl-, und Ausfriervorgänge enthalten CH_4 und CO_2, beim Verflüssigen wird nur der CH_4-Anteil berücksichtigt

$$\dot{Q}_{\mathrm{VK}} = \dot{m}_{\mathrm{CH_4}} \cdot c_{\mathrm{p,CH_4}} \Big|_{T_{\mathrm{A}}}^{T_{\mathrm{VK}}} \cdot \left(T_{\mathrm{A}} - T_{\mathrm{VK}}\right) + \dot{m}_{\mathrm{CO_2}} \cdot c_{\mathrm{p,CO_2}} \Big|_{T_{\mathrm{A}}}^{T_{\mathrm{VK}}} \cdot \left(T_{\mathrm{A}} - T_{\mathrm{VK}}\right)$$

$$\dot{Q}_{\mathrm{AF}} = \dot{m}_{\mathrm{CO_2}} \cdot c_{\mathrm{p,CO_2}} \Big|_{T_{\mathrm{VK}}}^{T_{\mathrm{DS}}} \cdot \left(T_{\mathrm{VK}} - T_{\mathrm{DS}}\right) + \dot{m}_{\mathrm{CO_2}} \cdot h_{\mathrm{Sub,CO_2}} + \dot{m}_{\mathrm{CO_2}} \cdot c_{\mathrm{p,CO_2}} \Big|_{T_{\mathrm{DS}}}^{T_{\mathrm{AF}}} \cdot \left(T_{\mathrm{DS}} - T_{\mathrm{AF}}\right) + \dot{m}_{\mathrm{CH_4}} \cdot c_{\mathrm{p,CH_4}} \Big|_{T_{\mathrm{VK}}}^{T_{\mathrm{AF}}} \cdot \left(T_{\mathrm{VK}} - T_{\mathrm{AF}}\right)$$

$$\dot{Q}_{\mathrm{VF}} = \dot{m}_{\mathrm{CH_4}} \cdot c_{\mathrm{p,CH_4}} \Big|_{T_{\mathrm{AF}}}^{T_{\mathrm{VF}}} \cdot \left(\vartheta_{\mathrm{AF}} - \vartheta_{\mathrm{VF}}\right) + \dot{m}_{\mathrm{CH_4}} \cdot h_{\mathrm{Verd,CH_4}}$$

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Betrachtung der Wärmeströme

Beispiel: 1 Nm³/h Biogas benötigt 247,6 W auf einem Niveau von – 162 °C

$$\dot{Q}_{\mathrm{KG}} = 36{,}2\ \mathrm{W} + 140\ \mathrm{W} + 69{,}4\ \mathrm{W} = 247{,}6\ \mathrm{W}$$

Mittels Kälterückgewinnung lassen sich durch die Verstromung von 1 Nm³ Biogas 2 Nm³ Biogas aufbereiten und zu LNG umwandeln

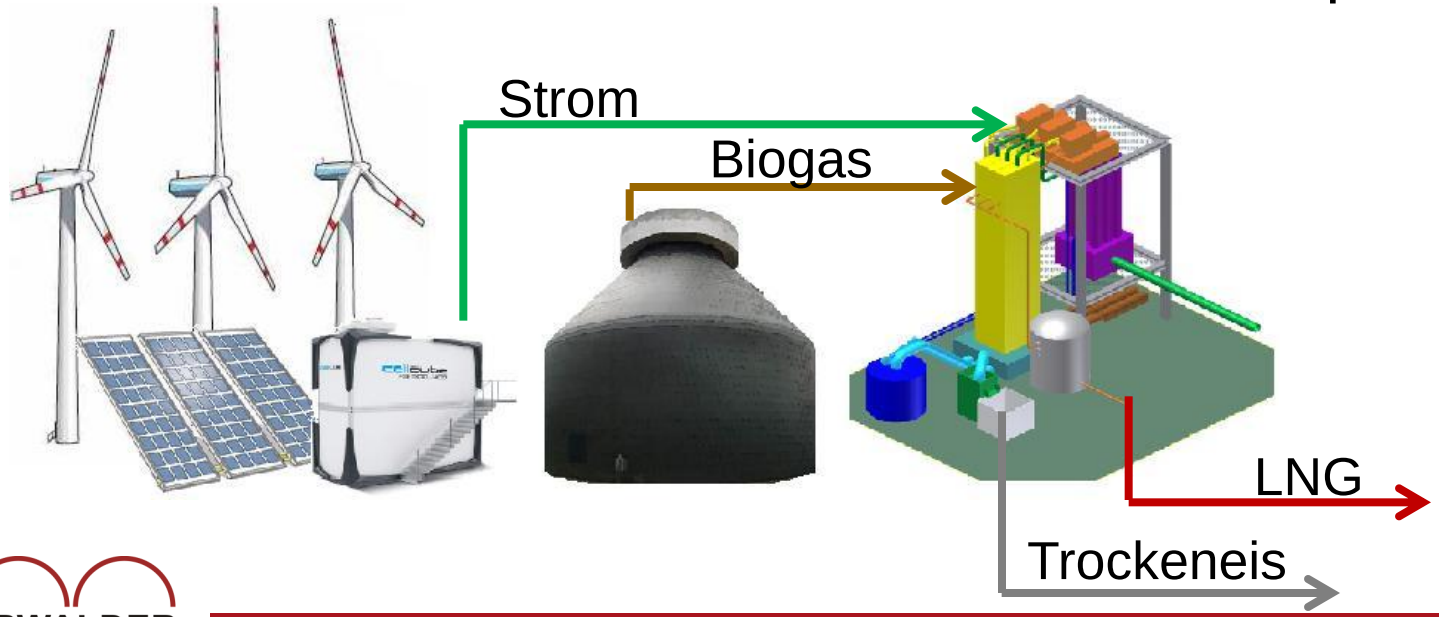
$$w_{\mathrm{real}} = w_{\mathrm{min,Biogas}} / (\eta_{\mathrm{Stromerz.}} \cdot \eta_{\mathrm{Kältem.}})$$

$$w_{real} = \frac{0{,}23 \frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{Nm^3}_{\mathrm{Biogas}}}}{0{,}4 \cdot 0{,}2} = 2{,}88\ \frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{Nm^3}_{\mathrm{Biogas}}}$$

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Wirkungsgradsteigerung durch regionalen Energieverbund

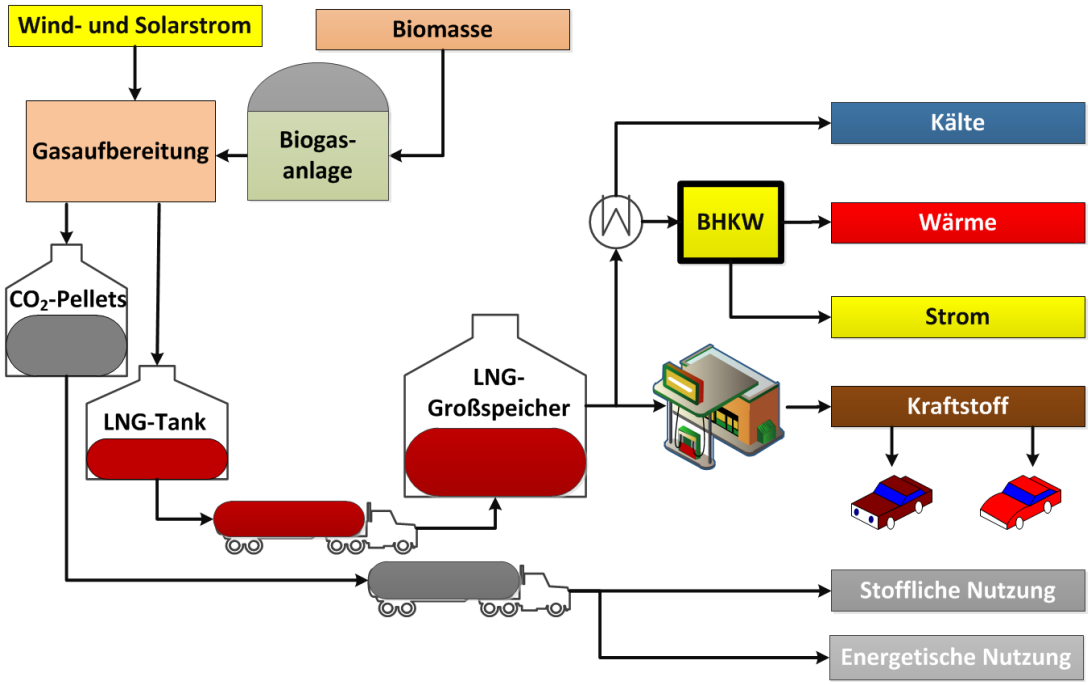
- Verschaltung von Biogasanlagen mit Stromerzeugern wie Windkraftwerke oder Photovoltaikanlagen
- Pro Nm^3 Biogas wird nur ca. 1 kWh_{el} nötig
- Hohe Betriebszeit durch Batterien als Zwischenspeicher



FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Lokales, autarkes Versorgungsnetz

- Unabhängig zu Transportnetzen
- Regionaler Verbund aus Erzeuger und Verbraucher
- Lokale Wertschöpfung, nachhaltige Entwicklung



FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Vorgaben zur Realisierung des TTD-Verfahrens

- Modularer Aufbau
- Verwendung von vorhandenen marktgängigen Komponenten
- Verfahren bei niedrigem Druck ($p < 100$ mbar ü)

  → CO_2 fällt als Feststoff aus

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Entwicklungsaufgabe

- Wärmetauscher zur Gastrennung von CO_2 und CH_4
  → keine technischen Vorbilder
- Konzept Wärmetauscher:
  → Kühlung mit Flüssigmethan
  → Gewinnung von CO_2 als Feststoff
- Bestätigung der Bemessungstheorie für TTD-Wärmetauscher

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Technische Umsetzung

- Herstellung des LNG durch Verflüssigung des Biomethans
- Speicherung des LNG
- Abscheidung des Kohlendioxids im TTD-Modul (Kühlmittel: LNG)
- Austrag des festen Kohlendioxids (Trockeneis)
- Rückgewinnung der Kälte aus dem Trockeneis (Vorbehandlung)
- Pelletierung des überschüssigen Trockeneises

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Fragen zu Projektbeginn

- Bestätigung der Bemessungstheorie
- Wie desublimiert das CO_2 (Flocken, Partikel)?
- Kommt es zur Bildung von CO_2-Schichten auf den WT-Oberflächen?
- Wie hoch ist der partikuläre Anteil?
- Wie gut ist der Wärmeübergang bei laminarer Strömung im WT?
- Welche Volumenströme/Geschwindigkeiten sind möglich?
- Können künstlich Turbulenzen erzeugt werden?

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

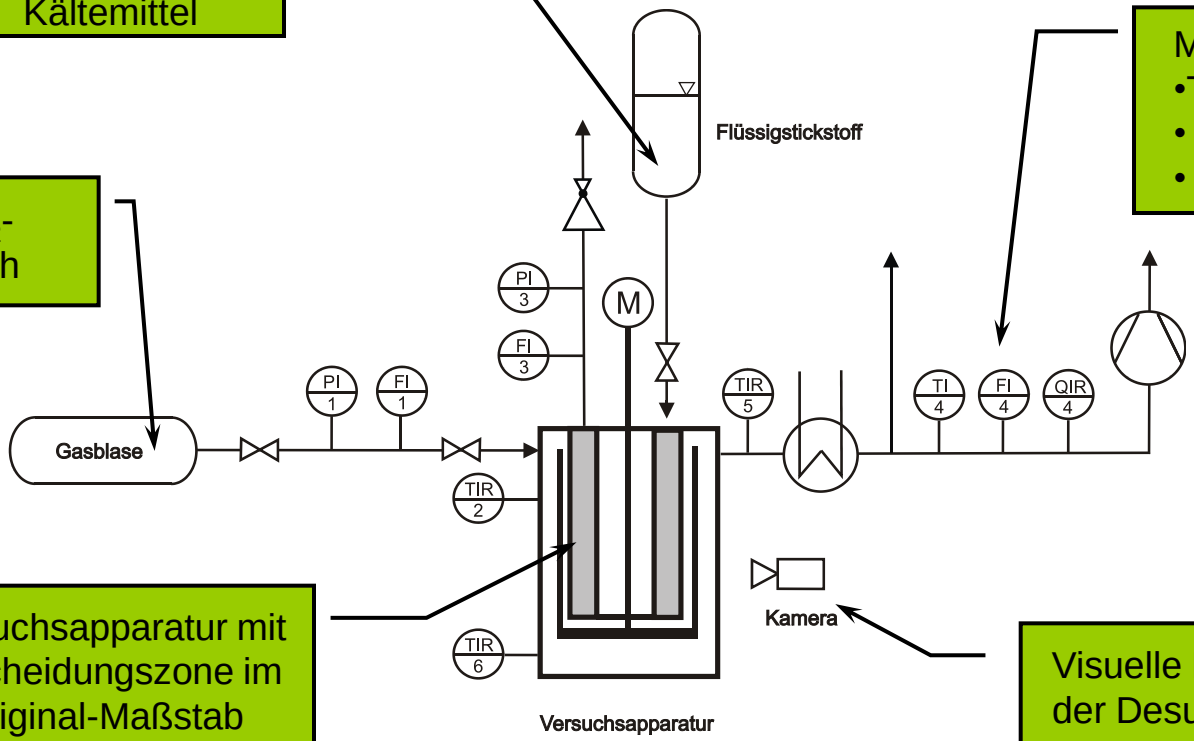
Verfahrensschema Versuchsaufbau

Vorversuch an der TU in Dresden

Flüssigstickstoff bei 14 bar als Kältemittel

Messung von:
- Temperatur
- Massenstrom
- CO_2-Gehalt

CO_2-N_2-Gemisch



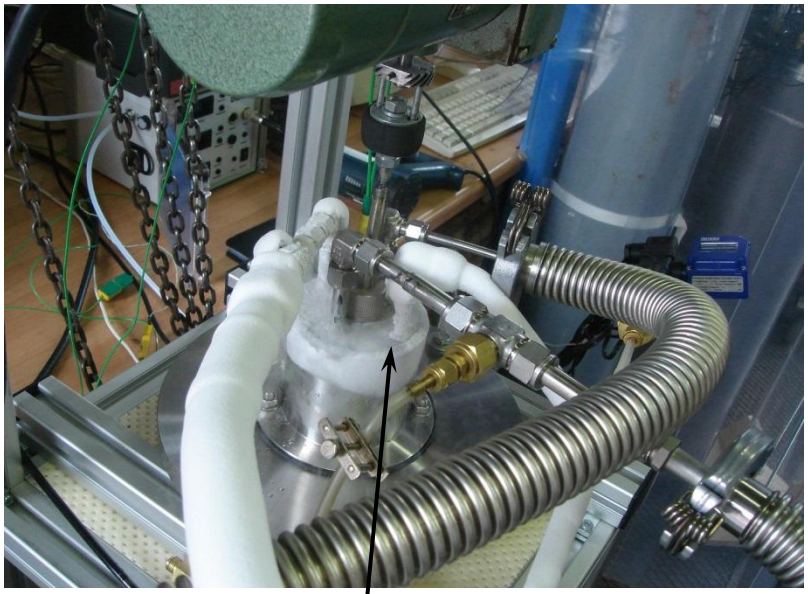
Versuchsapparatur mit Abscheidungszone im Original-Maßstab

Visuelle Beobachtung der Desublimation mit Foto-Dokumentation

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

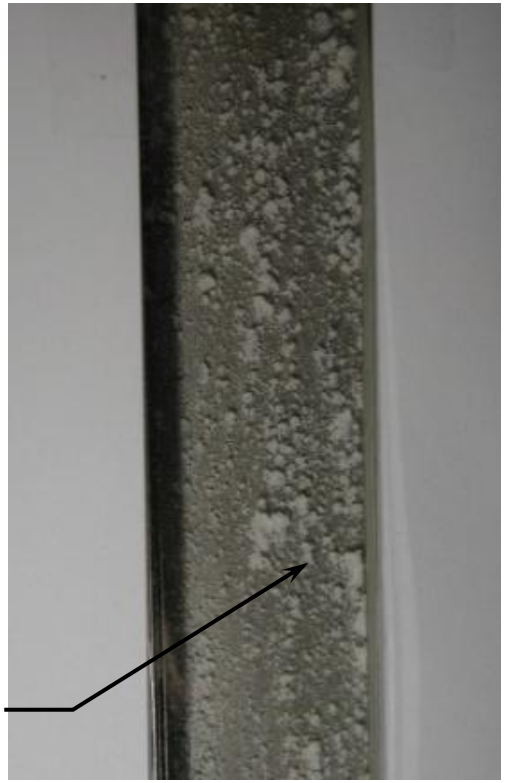
Versuch

Deutsches und europäisches Patent zum Verfahren erteilt



Versuchs-apparatur

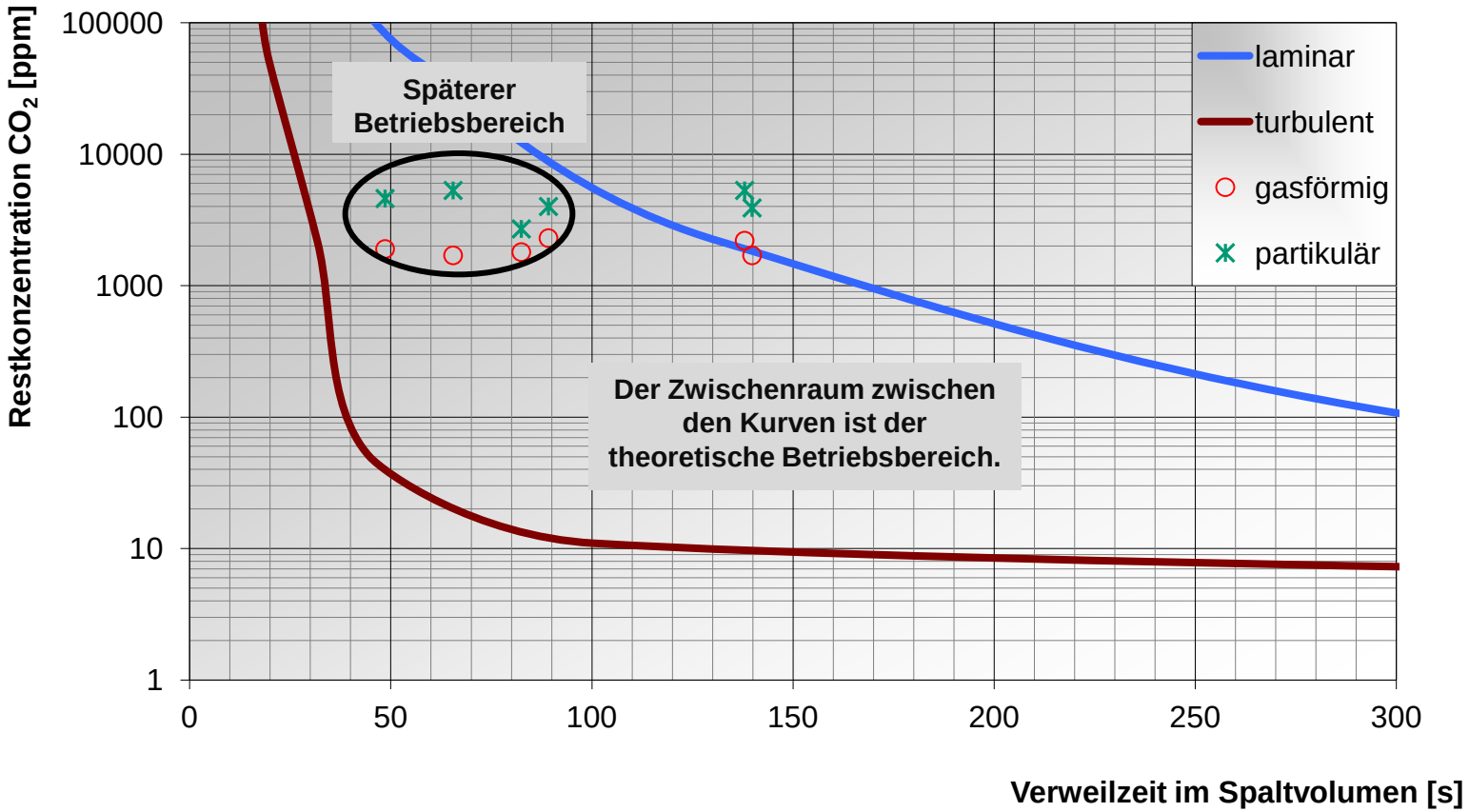
Trockeneisablagerungen, die sich kontinuierlich ablösen



FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK

Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Ergebnisse der Versuche zur Bestätigung der Bemessungstheorie



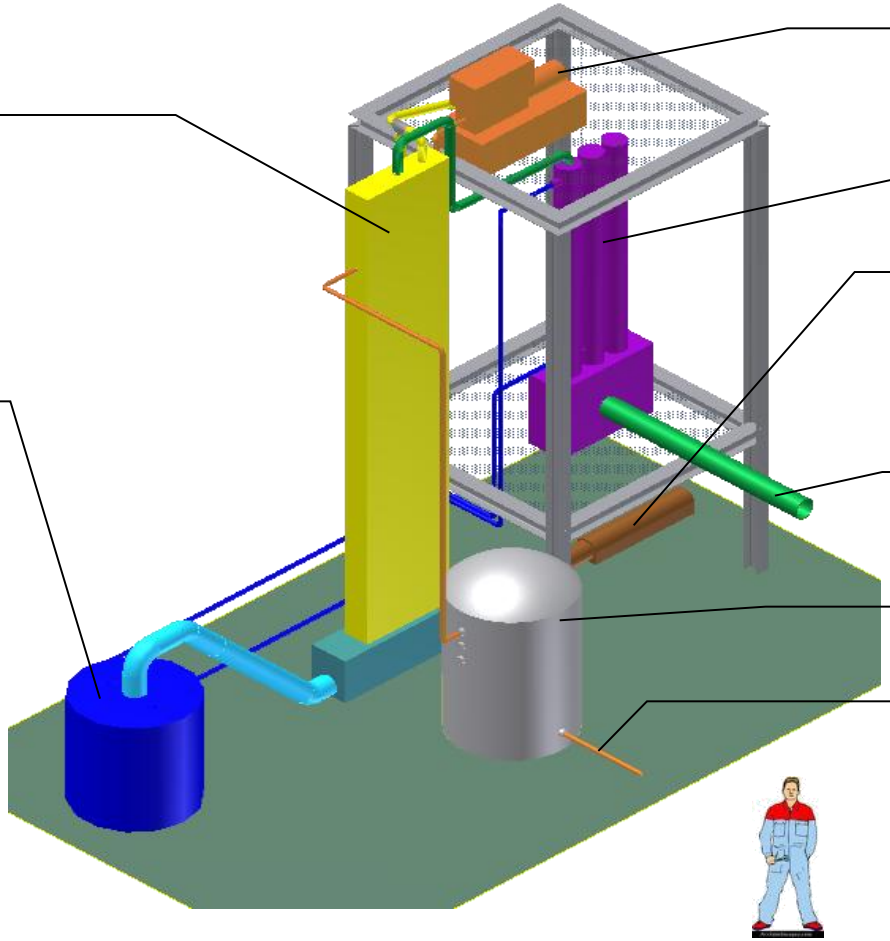
FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Ergebnisse der Versuche zur Bestätigung der Bemessungstheorie

- Die theoretisch ermittelten Bemessungsgrundlagen des Wärmetauschers zur Abscheidung von CO_2 haben sich bestätigt.
- Bei der Abscheidung entsteht festes CO_2, das in Flocken ausfällt. Dabei werden ca. 99 % abgeschieden. Es bilden sich keine Beläge auf der Wärmetauscheroberfläche.
- Der verbleibende Rest besteht zur Hälfte aus CO_2-Partikeln (Partikel-Ø < 30µm), der Rest ist gasförmiges CO_2. Der partikuläre Rest kann z. B. durch Filter abgetrennt werden
- Kürzere Verweilzeiten des Biogases im Spalt (τ = 50 s) ergaben deutlich bessere Ergebnisse als längere (τ = 150 s). Dies deutet auf eine turbulente Strömung im Kontaktbereich zur Wärmetauscheroberfläche hin, die trotz der insgesamt niedrigen Strömungsgeschwindigkeit auftritt. Dies ist ein positives Ergebnis.

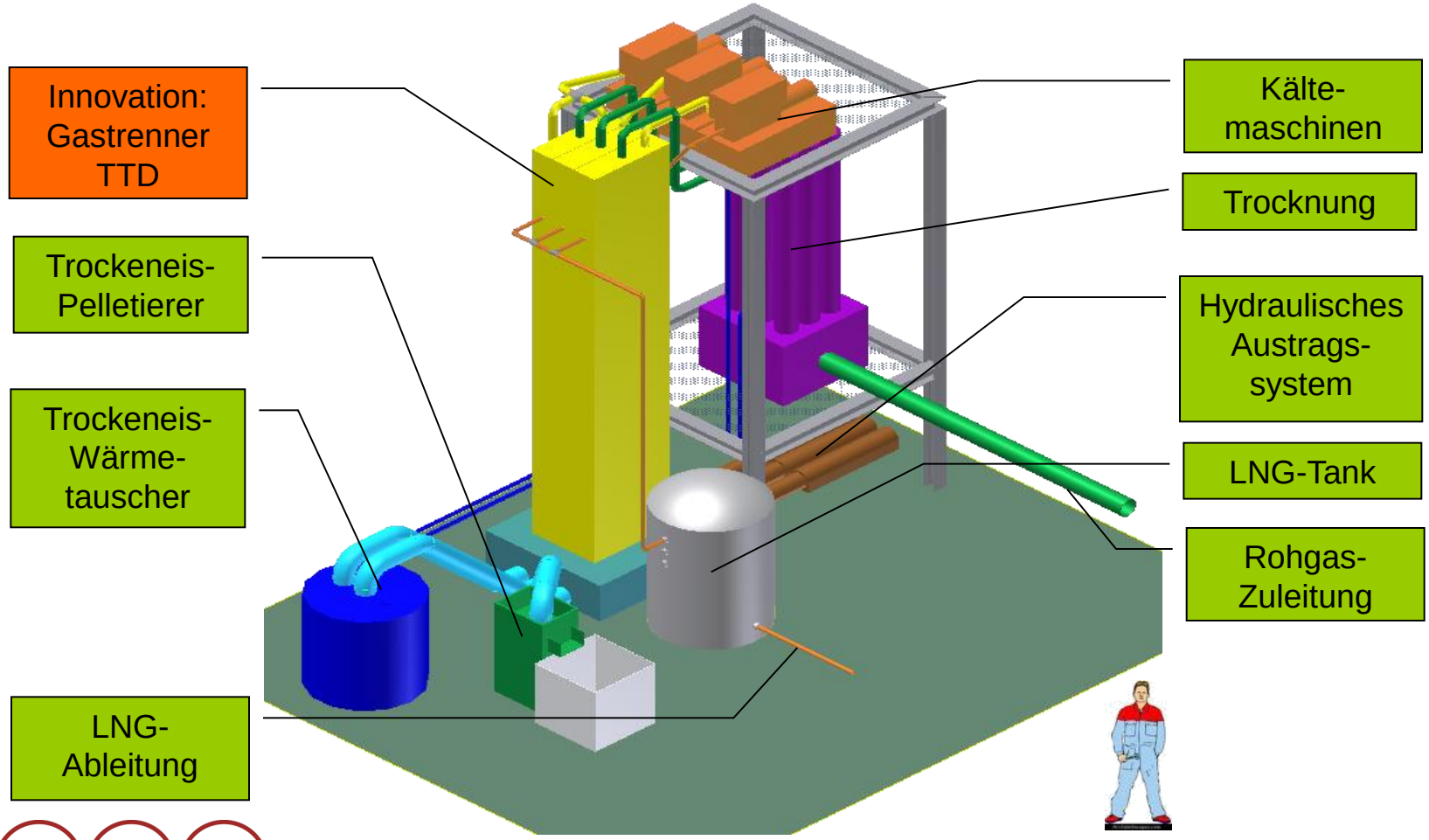
FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Anlage zur Biogasaufbereitung
1 - Modulanlage



FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Anlage zur Biogasaufbereitung
Entwurf einer 3 - Modulanlage



FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Zusammenfassung

Aufgabe:

- Entwicklung einer modular aufgebauten Anlage zur Aufbereitung und Verflüssigung von Biogas in einem Tieftemperatur-Verfahren

Ziele:

- spez. Anlagenkosten < 7.200 €/Nm³/h Biogas*
- Kosten Aufbereitung < 4,4 €ct/kWh*

* bei einer Anlagengröße von 34 Nm³/h

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Projekt „Biogas zu LNG“

- Entwicklung und Betrieb einer Prototypanlage
- Speicherung von Biogas in Form von flüssigem Methan
- Energieüberschüsse die in Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmonate entstehen in Wintermonaten übertragen
- Vollständige Wärmenutzung der BHKW durch ein Nahwärmenetz

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK

HOCHSCHULE LANDSHUT

HOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN-TRIESDORF UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Green City Energy

FINSTERWALDER UMWELTTECHNIK
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Mailinger Weg 5, 83233 Bernau
Tel. +49 (0) 8051 965910-0, Fax +49 (0) 8051 965910-20, Email: info@fitec.com