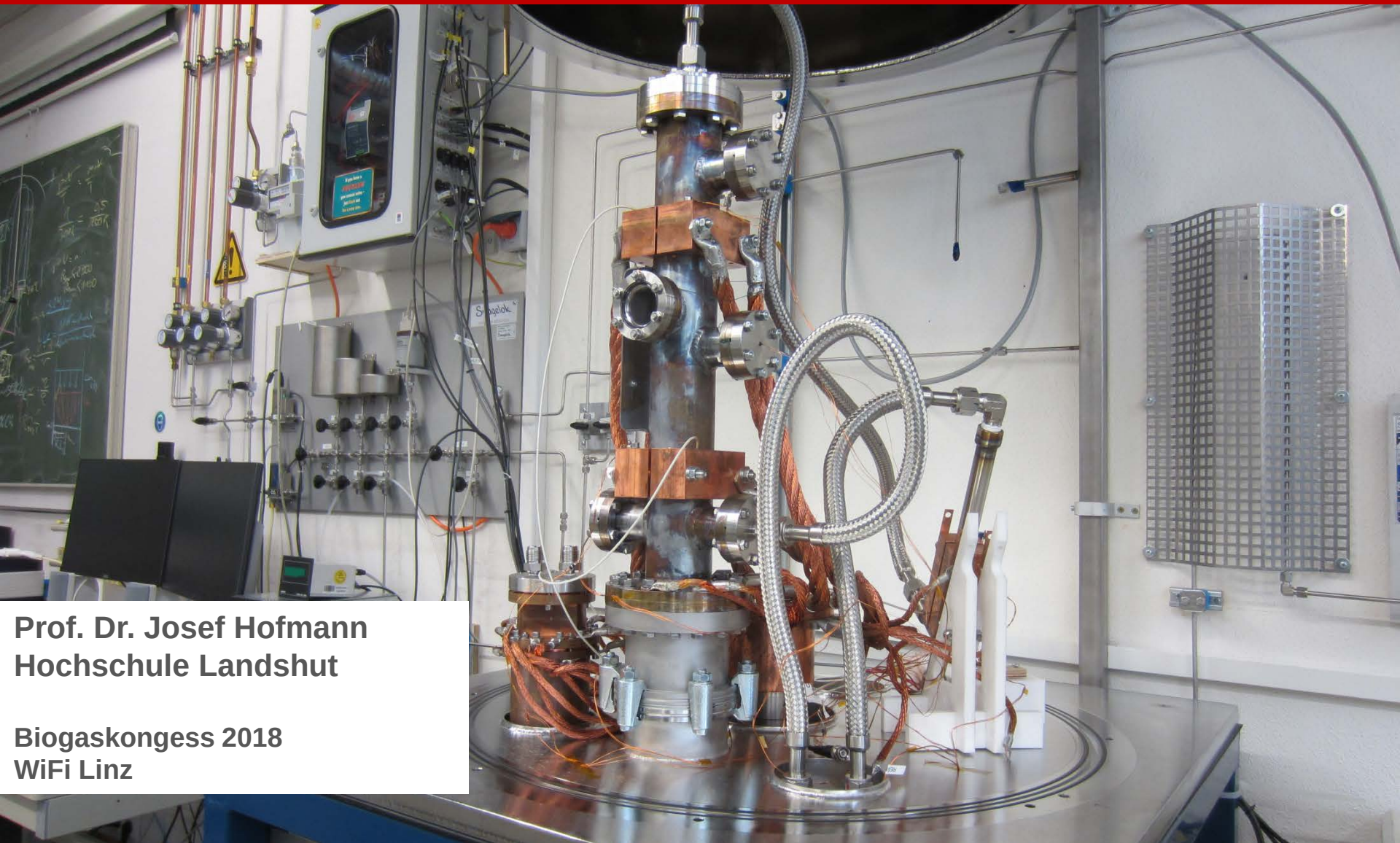


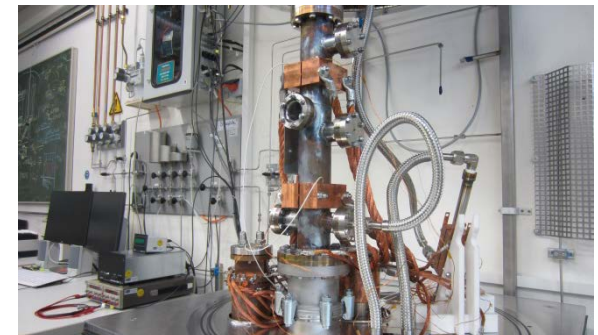
Biogas – Ressource für Trockeneis und flüssiges Biomethan?

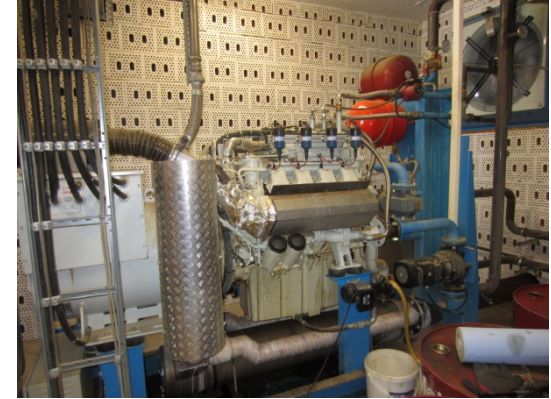


Prof. Dr. Josef Hofmann
Hochschule Landshut

Biogaskongress 2018
WiFi Linz

1. Biogas eine Quelle für Methan und Kohlendioxid?
2. Flüssiges Biomethan (LBM) aus Biogas
– Lösungsansatz für Biogasanlagen?
3. Laboranlage zur Gewinnung von Trockeneis und flüssigem Biomethan
4. Ergebnisse
5. Perspektiven
6. Danksagung





1. Biogas eine Quelle für Methan und Kohlendioxid?

Hauptbestandteile von Biogas:	Methan CH ₄ : 55 bis 65 Vol.-% Kohlendioxid: 35 bis 45 Vol.-%
Spurenstoffe:	Wasserdampf (H ₂ O), Schwefelwasserstoff (H ₂ S), Ammoniak NH ₃ Siloxane (Klärgas, Deponiegas), FCKW (Deponiegas)
Quellen:	geogen: Moore, Sümpfe anthropogen: Wiederkäuer, Reisfelder, Hausmülldeponien Biogasanlagen, Klärgasanlagen
Potenziale:	Deutschland ca. 9331 Biogasanlagen (3,8 Gigawatt elektrische Leistung) ca. 2.200 kommunale Kläranlagen 346 ehemalige Hausmülldeponien

Kenngrößen:

Zu ca. 52 bis 65 Vol.-% in Biogas enthalten

Schmelzpunkt: - 182,47 °C

Dichte CH₄(l): 422,6 g/l

$\Delta H_{\text{Verdampfung}}$: 510,3 J/g

Heizwert CH₄(l): 5,9 kWh/l

Zündbereich:

Zündtemperatur:

Verbrennungstemperatur (in Luft)

Verbrennungstemperatur (in O₂)

Siedepunkt: - 161,5 °C

Dichte CH₄(g): 717,5 g/m³

Rel. Oktanzahl: 130

Heizwert CH₄(g): 9,94 kWh/Nm³

4,4 - 17 Vol.-% in Luft

595°C

1.970 °C

2.860 °C



Sicherheitsdaten:

<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp>

Kenngößen:

Zu ca. 34 bis 47 Vol.-% in Biogas enthalten

Sublimationspunkt: - 78,5 °C

Dichte CO₂(s): 1560 g/l Dichte CO₂(g): 1977 g/m³

Nur durch Abkühlen kann Kohlendioxid bei Normaldruck nicht verflüssigt werden.

Verflüssigung kann nur unter Druck erfolgen.

Schwerer als Luft, verdrängt Luft, daher besteht bodennahe Erstickungsgefahr



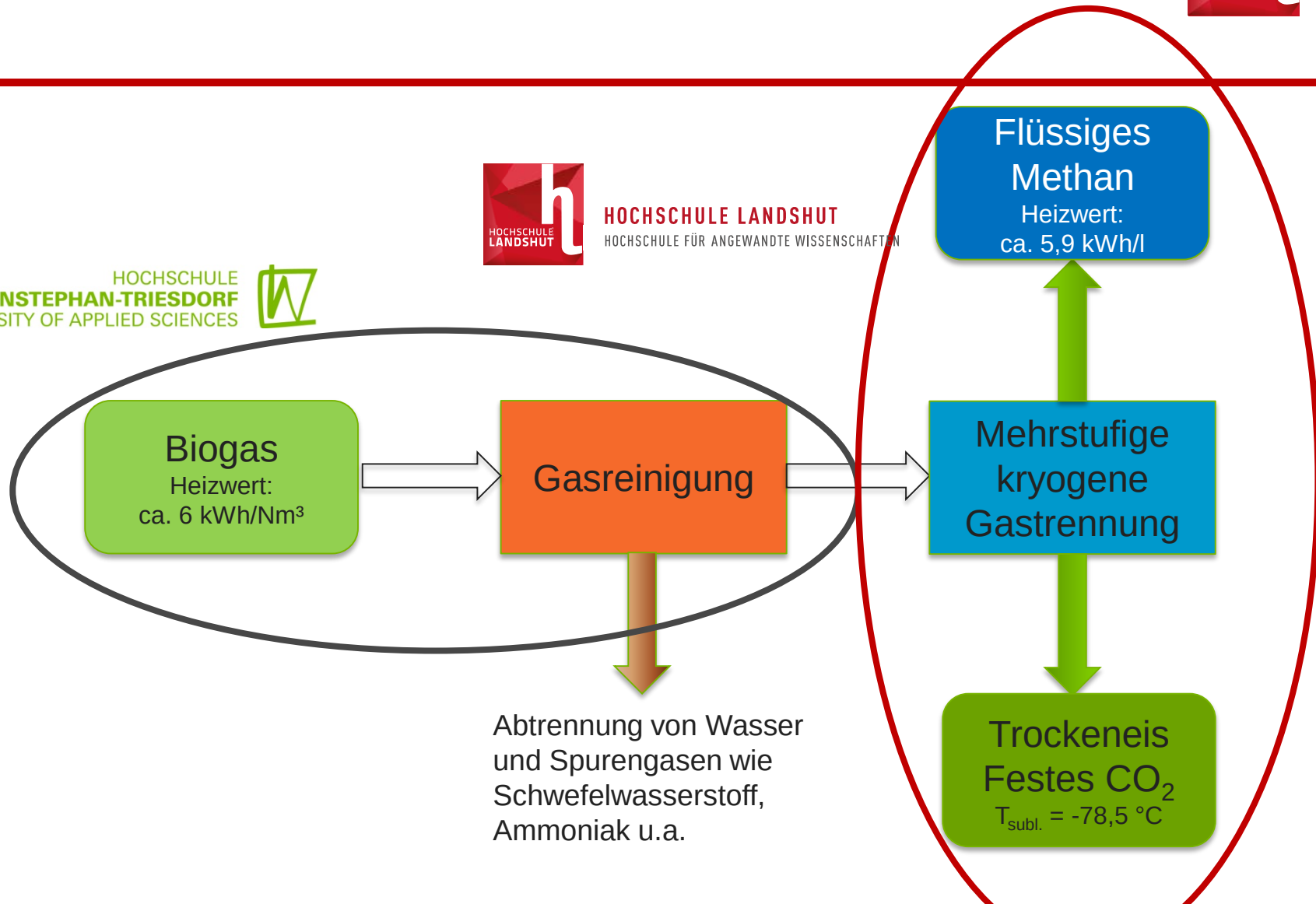
Sicherheitsdaten:

<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp>



2. Flüssiges Biomethan (LBM) aus Biogas – Lösungsansatz für Biogasanlagen?

Die Projektidee



<i>Projektziel:</i>	Entwicklung und Erprobung eines kryogenen Trennverfahrens für Biogas zur Herstellung von festem Kohlendioxid und flüssigem Biomethan im Labormaßstab
<i>Projektlaufzeit:</i>	01. April 2014 bis 31. März 2017
<i>Projektkosten:</i>	615.000 €
<i>Gefördert von:</i>	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie
<i>Beteiligte:</i>	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Prof. Dr. Oliver Falk, Gasgewinnung und Gasreinigung) Hochschule Landshut (Prof. Dr. Josef Hofmann, kryogene Gastrennung)

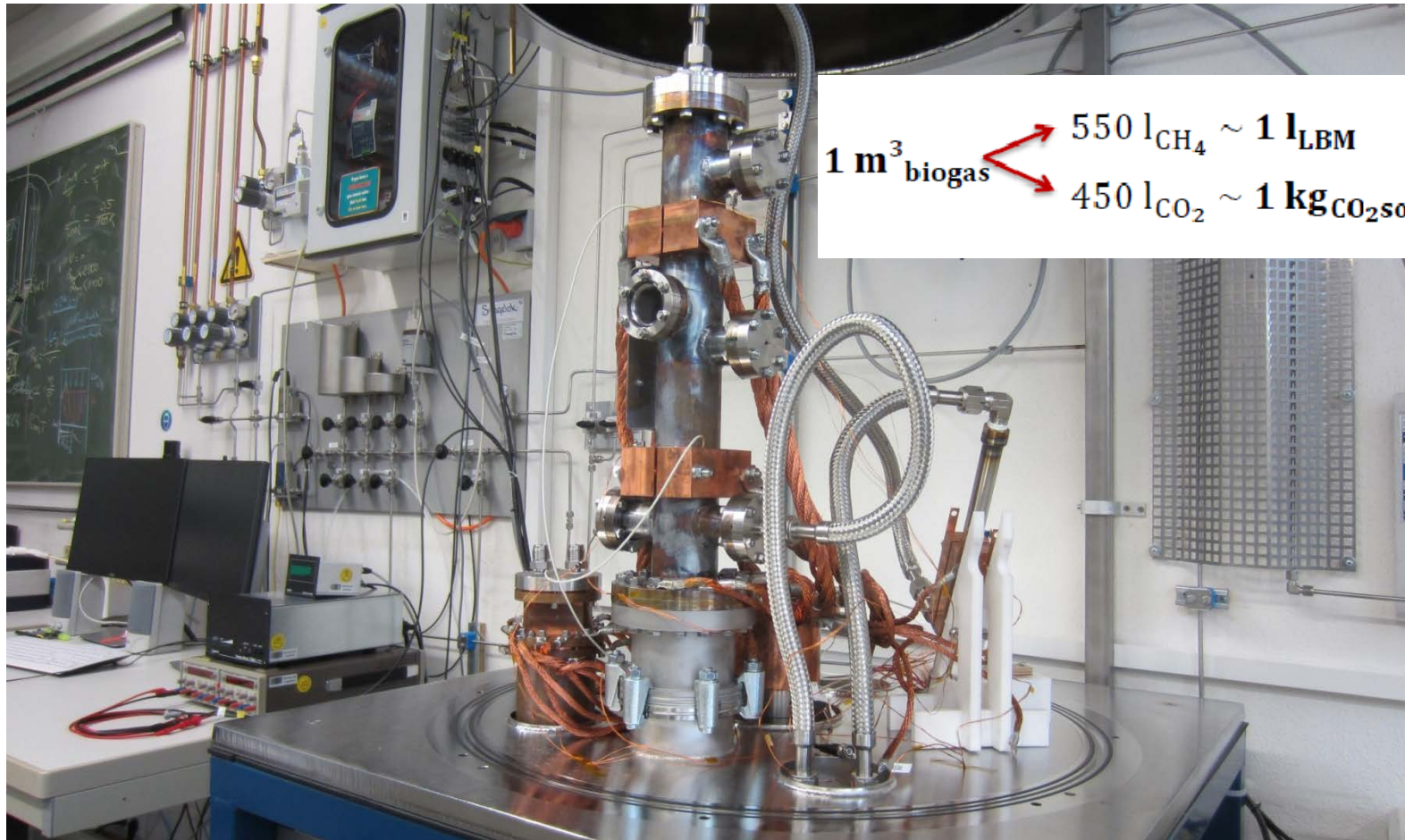
- Erzeugung von flüssigem Biomethan als hochwertiger Energieträger
- Langzeitspeicherung von flüssigem Biomethan (LBM)
- Gewinnung und Nutzung des Reststoffs Kohlendioxid als Trockeneis
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit bestehender Biogasanlagen
- Mehrfache Nutzungsmöglichkeiten des LBM:
 - Emissionsarmer regenerativer Kraftstoff für Nutzfahrzeuge
 - Chemierohstoff
 - Dezentraler chemischer Langzeitenergiespeicher (Wochen...Monate)
- Einsatz bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen (40 – 50 kW_{el})

CNG, LNG, LBM – was ist das?

CNG: Compressed Natural Gas – Komprimiertes Erdgas
In Druckbehältern gespeichertes Erdgas 250...300 bar
Heizwert ca. 2,5 – 3,0 kWh/l

LNG: Liquefied Natural Gas – Verflüssigtes Erdgas
Tiefkaltes verflüssigtes Erdgas T: -110...-162°C
Heizwert ca. 5,6 bis 6 kWh pro Liter

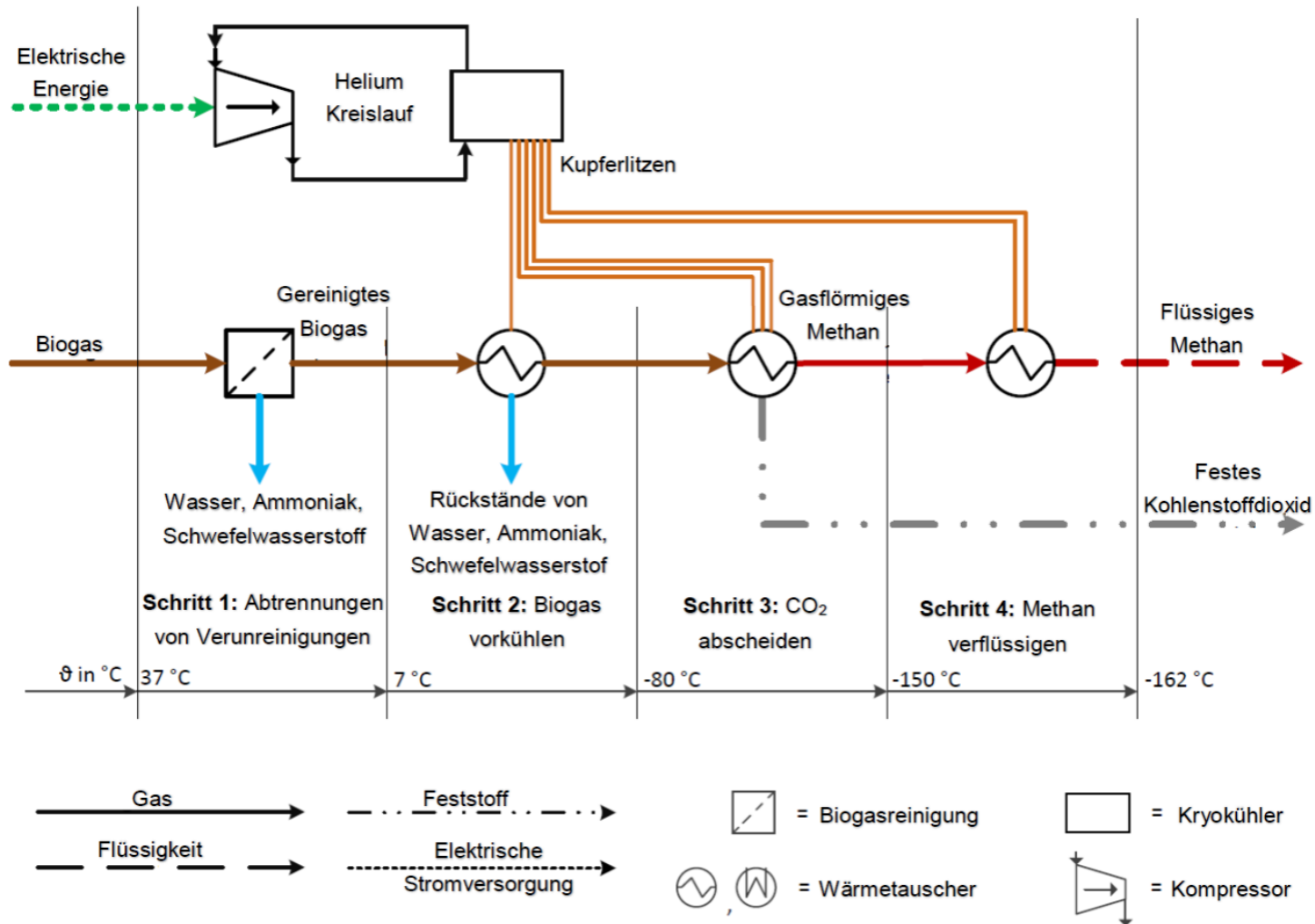
LBM: Liquefied Biomethane – Verflüssigtes Biomethan
Tiefkaltes verflüssigtes Biomethan aus Biogas: T: - 162°C
Heizwert: 5,85 kWh/l



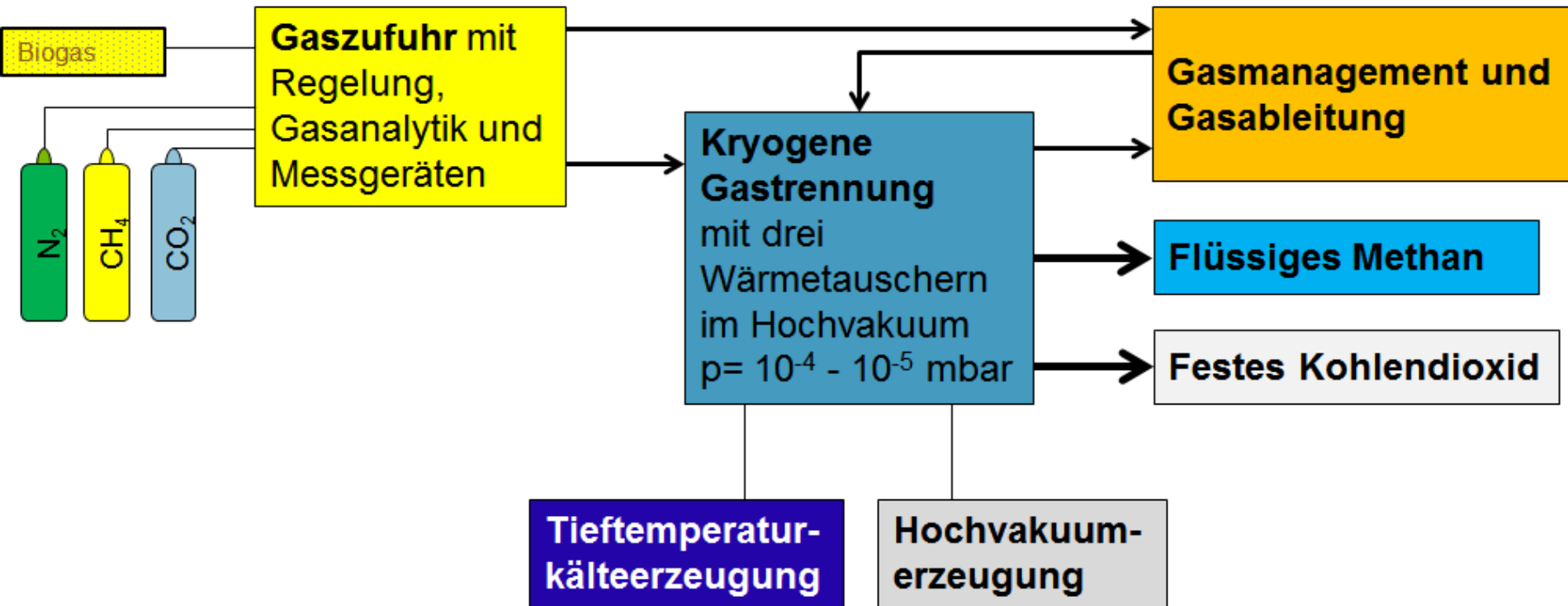
3. Laboranlage zur Gewinnung von Trockeneis und flüssigem Methan

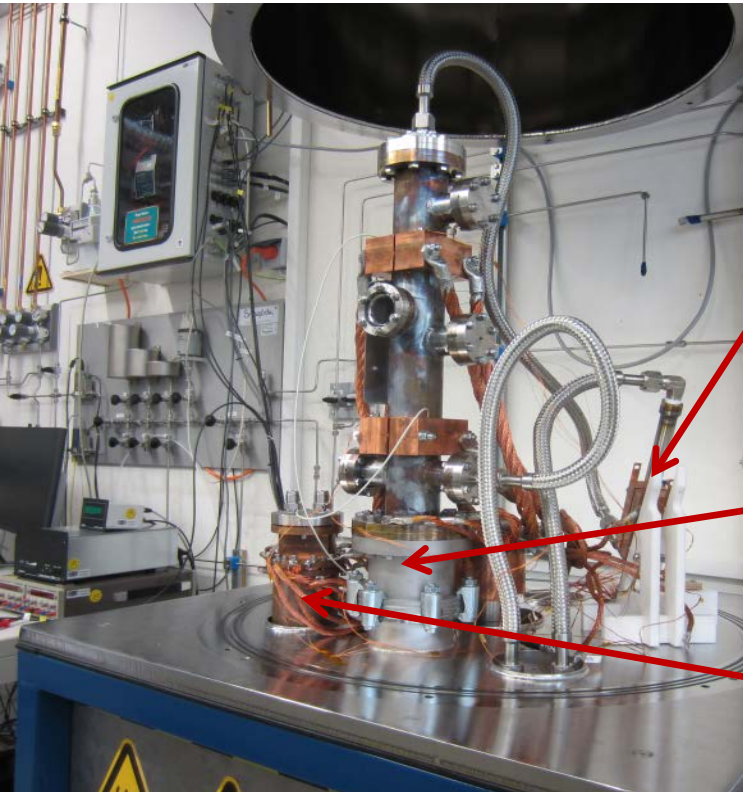
- Auslegung und Konstruktion einer Laboranlage
 - kontinuierlicher Betrieb mit 1 Normliter Biogas pro Minute möglich
- Ermittlung der idealen Wärmeübertragermaterialien
 - Schnee- statt Eisbildung bei Trockeneisabscheidung
- Bau der Laboranlage
 - Kälteerzeugung, Isolation, Gaszufuhr, Trockeneis- und LBM-Austrag, Messtechnik, Gasmanagement, Sicherheitstechnik
- Trennversuche mit synthetischen Gasgemischen und Biogas
 - Nachweis der Eignung für Umsetzung in Demonstrationsanlage

Konzept der Laboranlage



Komponenten der Laboranlage





Drei Wärmeübertrager

- » **Vorwärmeübertrager (ca. -70 °C)**
„Polzeifilter“ zur Abtrennung etwaiger Restkonzentrationen von NH_3 und H_2O
- » **Tieftemperaturdesublimationswärmeübertrager (ca. -150 °C)**
Ausfrieren von gasförmigen Kohlendioxid als schneeförmiges Trockeneis
- » **Methankondensationswärmeübertrager (< -162 °C)**
Kondensation des gasförmigen Methans zu LBM



Vakuummacke

- » Dient als Isolationssystem für hochwärmddämmende Isolierung von Wärmetransport mittels Konvektion
- » Evakuierbar bis 10^{-7} mbar
- » Dadurch kein Wärmetransport mittels Konvektion mehr festzustellen
- » Wird ergänzt durch Strahlungsschild zur Vermeidung von Wärmeenergieeinträgen in das Wärmesystem durch Strahlung





4. Ergebnisse



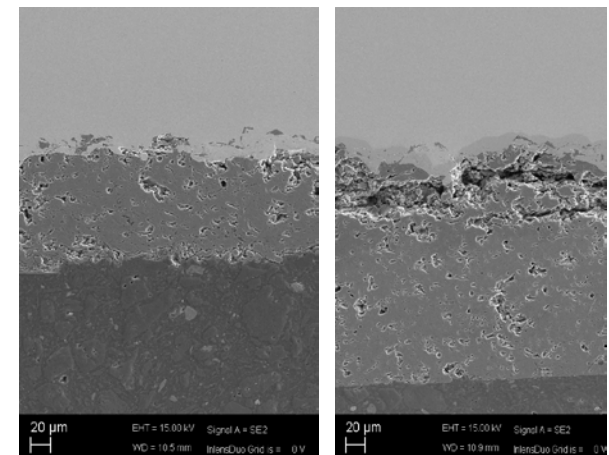
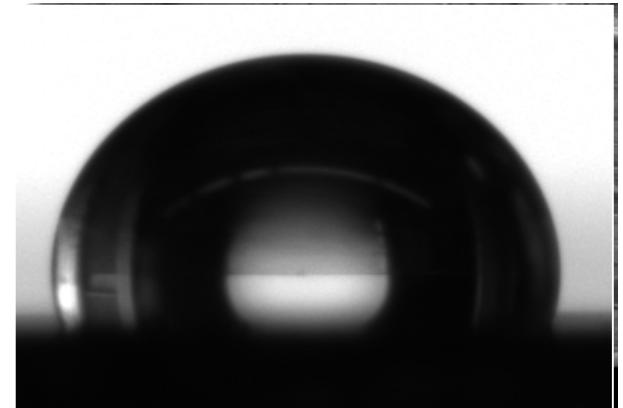
- » Vorversuche mit beschichteten Wärmeübertragerhülsen (Befüllung mit flüssigem Stickstoff, $T = -196\text{ °C}$, Eintauchen in CO_2 -Gas geflutetes Glasbecken) zur Ermittlung des Sublimationsverhalten von Kohlendioxid
- » **Ergebnisse:**
Hydrophobe Materialien zeigen ideales Verhalten bei der Bildung von Trockeneisschnee (erwünschter Effekt zur kontinuierlichen Trockeneisbildung mit Austragsmöglichkeit)



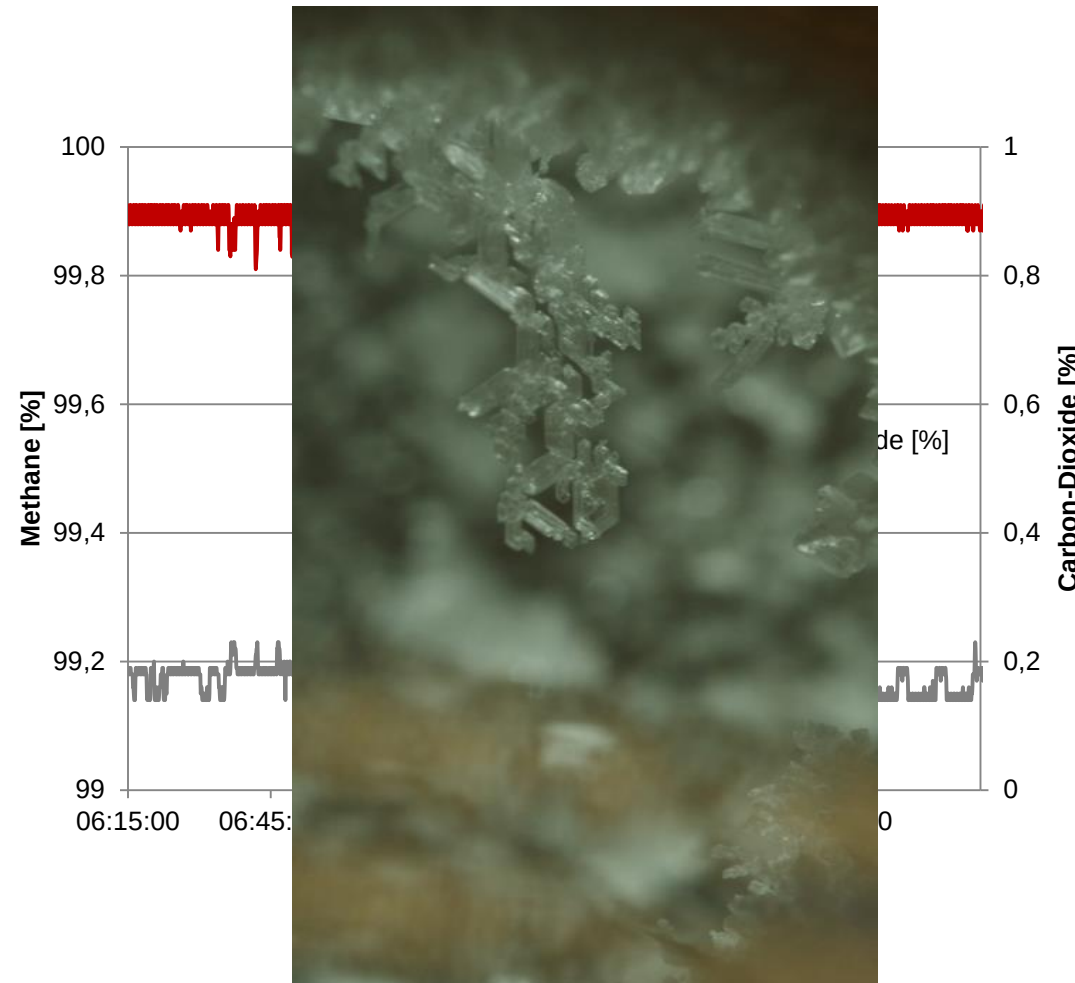
- Bestimmung der Faktoren zur Dichtemanipulation von CO_2
 - Strömungsgeschwindigkeit und –form
 - Abkühlgeschwindigkeit (gleitende Temperaturdifferenz) und Versuchsdauer
 - Verhältnis von Wärme- zu Stofftransport
- Oberfläche der Wärmeüberträger
 - Vorversuche mit beschichteten Wärmeüberträgern
 - Reduzierung der Oberflächenspannung



- Oberfläche der Wärmeüberträger
 - Oberflächenspannung
 - Rauheit / Zahl der Kondensationskeime
- Beschichtung der Wärmeüberträger
 - Wärmeausdehnungskoeffizient
 - Langzeitstabilität bei Lastwechsel



- ❖ Dichte von Kohlendioxid
 - Kristallbildung möglich
 - Laminare Strömung
 - 0,2 % CO₂ im Restgas
 - Niedrige CO₂-Konzentration im Restgas für LBM-Erzeugung von Vorteil
- ❖ Methanqualität
 - Reinheit von 99,9 Vol.-% möglich
 - „Startschwierigkeiten“ bei laminarer Strömung





Biogas zur
Stromerzeugung

???

Biogas als
Kraftstoff



5. Perspektiven

1 Nm³ Biogas (550 l CH₄, 450 l CO₂) ergibt:

- 884 g Trockeneis (Sublimation bei -78°C) und
- 393 g flüssiges Methan (0,94 l, entspricht 5,44 kWh Heizwert, kann ca. 0,5 l Dieselkraftstoff ersetzen)

Zu deren Herstellung ist ca. 1 kWh elektrische Energie erforderlich, wenn die Kältebereitstellung mit einer Stirling-Kältemaschine erfolgt.

Neue Geschäftsmodelle für Biogasanlagen:

- Trockeneis als interessanter Rohstoff (Erlös ca. 0,25-0,30 €/kg)
- LBM besitzt hohe Speicherdichte (1000-fach höhere Energiedichte als Biogas, Wochen- bis Monatsspeicher realisierbar)

Alternativen von LBM zum Einsatz im Strommarkt (Post-EEG)

- Kraftstoff für Nutzfahrzeuge (CO₂-neutrales Substitut von LNG)
- Hochreiner Chemierohstoff
- Kältemittel



6. Danksagung

Herzlicher Dank für die geleistete Arbeit!



- *Prof. Dr. Oliver Falk, Dr. Sebastian Baum und Mate Fuchsz, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising*
- *Dr. Korbinian Nachtmann, Flughafen München GmbH (vormals Hochschule Landshut)*
- *Beteiligte Mitarbeiter und Studierende beider Hochschulen*
- *Fördernde Firmen und Institutionen:*
 - *Fa. Finsterwalder Umwelttechnik GmbH, Tobias und Dr. Klemens Finsterwalder*
 - *Fa. Kaon GmbH, Dr. Kevin Phelan*
 - *Fa Tyczka, Arndt Bertleff*
 - *Fa. CeH4, Peter Rathmann*
 - *Fa. Heinz Entsorgung GmbH, Otto und Eduard Heinz*
 - *BIUKAT e.V.*
 - *Fa. Linde AG, Werk Schalchen, Florian Ehegartner*

Besonderer Dank gilt dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie für die großzügige finanzielle und ideelle Unterstützung des Projekts.

Weitere Infos zum Projekt...

finden Sie unter dem nachfolgenden Link:

<https://www.haw-landshut.de/hochschule/fakultaeten/maschinenbau/prof-dr-rer-nat-josef-hofmann/angewandte-forschung.html>

A wide-angle photograph of a modern university courtyard. The courtyard is paved with light-colored stone tiles and features several wooden picnic tables and red lounge chairs. In the background, there are several multi-story white buildings with large windows and balconies. The sky is blue with scattered white clouds.

Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Josef Hofmann
Hochschule Landshut
Am Lurzenhof 1
84036 Landshut

Tel. +49 (0)871 – 506 218
Fax +49 (0)871 – 506 9218
jhofmann@haw-landshut.de
www.haw-landshut.de

Weitere Informationen unter:

<https://www.haw-landshut.de/hochschule/fakultaeten/maschinenbau/prof-dr-rer-nat-josef-hofmann/publikationen.html>