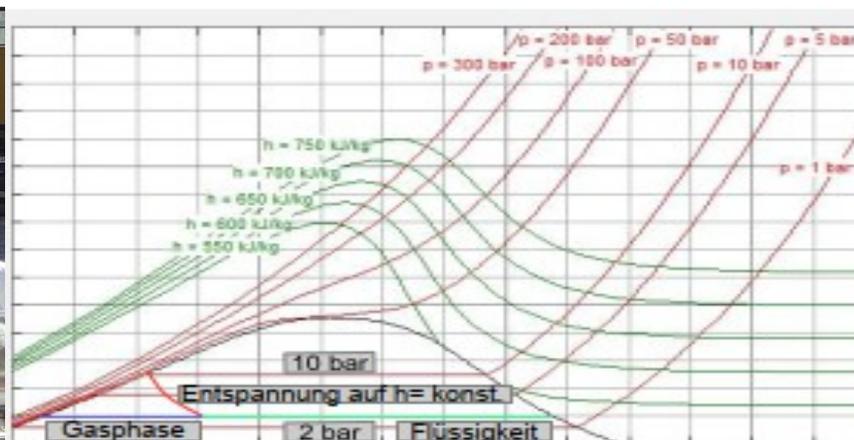




Wasserstoff ist eine Möglichkeit

Biogas ist Realität,

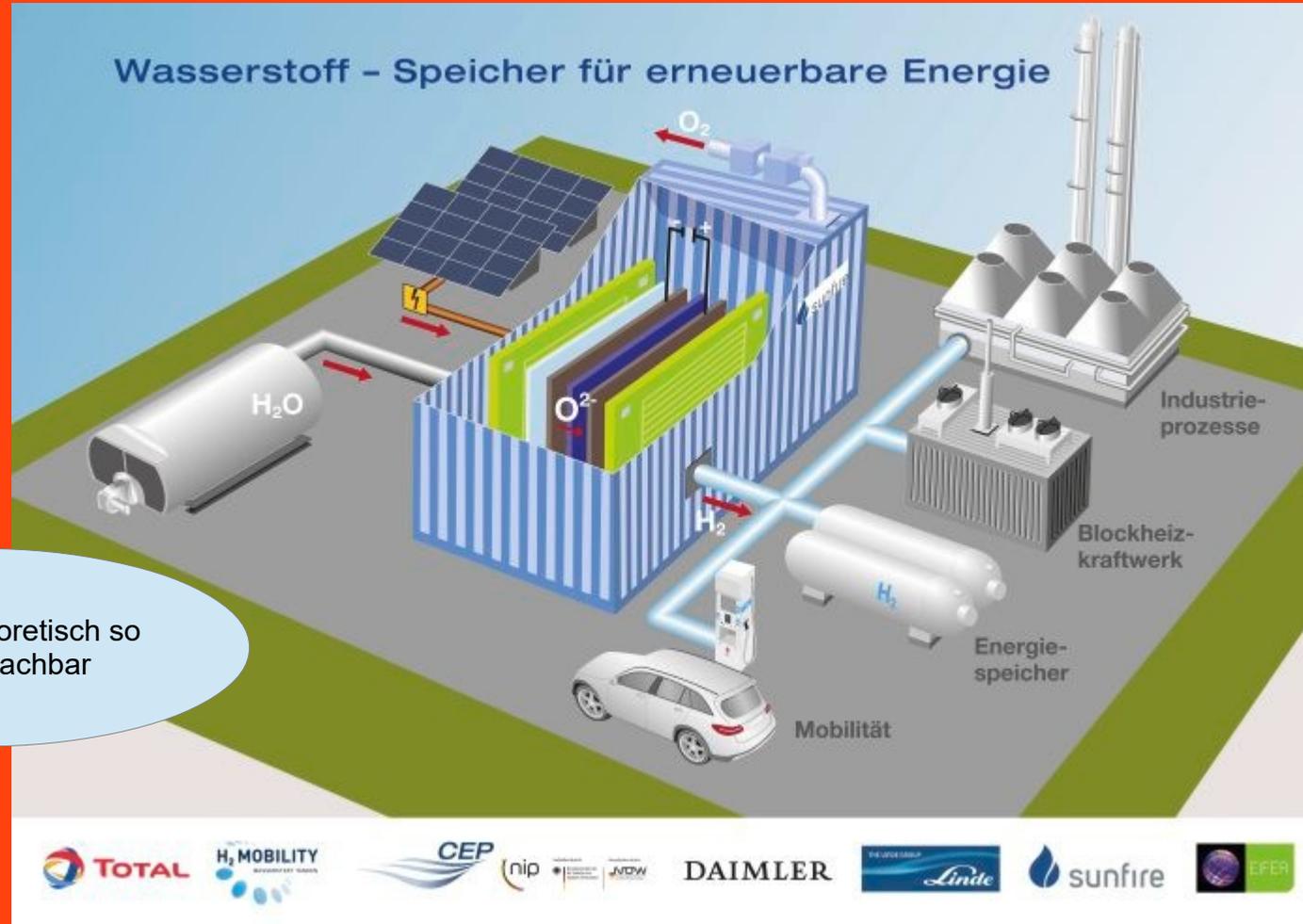
umweltfreundlich, regional, bezahlbar



Mohrman & Hoppestock GmbH, Warnigerode SaSu Energiesysteme GmbH, Hamburg

SaSu Energiesysteme GmbH, Hamburg

Wasserstoff – die Möglichkeit



Wasserstoff – die Sicherheit?

	SICHERHEITSDATENBLATT	Blatt : 1/10
		Revision - Ausgabenr. : 2.0
		Überarbeitungsdatum : 2018-06-12
		Ersetzt : 2015-02-27
Wasserstoff		067A
		Land : AT / Sprache : DE

Kennzeichnung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP]

Gefahrenpiktogramme (CLP) :



GHS02

GHS04

Signalwort (CLP) :

Gefahr

Gefahrenhinweise (CLP) :

H220 - Extrem entzündbares Gas

Spezielle Risiken :

Einwirkung von Feuer kann Bersten / Explodieren des Behälters verursachen.

Gefährliche Verbrennungsprodukte :

Keine.

- Reaktion : P377 - Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann..
P381 - Bei Undichtigkeit alle Zündquellen entfernen..

Gelagerte Flaschen sollten regelmäßig auf Leckagen und korrekte Lagerbedingungen geprüft werden.

Zündtemperatur

: 560 °C

Zündgrenzen

: 4 - 77 vol %

Brennstoff

Flammentemperatur mit
Luft

Wasserstoff

2130°C

Tunnelbeschränkungscodes

: B/D - Beförderungen in Tanks: Durchfahrt verboten durch Tunnel der Kategorien B, C, D und E.
Sonstige Beförderungen: Durchfahrt verboten durch Tunnel der Kategorien D und E.

Nur erfahrene und entsprechend geschulte Personen sollten unter Druck befindliche Gase handhaben.

Sonstige Angaben

: Brennt mit unsichtbarer Flamme.

Geruch

: Geruchlos.

Geruchsschwelle

: Geruchswahrnehmung ist subjektiv und nicht geeignet, um vor einer Überexposition zu warnen.

10.3. Möglichkeit gefährlicher Reaktionen

: Kann mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden.
Kann mit brandfördernden Stoffen heftig reagieren.

Wasserstoff – die Sicherheit versagte, explodierte Wasserstofftankstelle in Norwegen



Kommentar erübrigt sich,
Bilder weiterer verunglückter
Tankstellen wären möglich



Speicherung des gereinigten Methans und CO₂

Variante 1: Verflüssigung

Biogaserzeugung



Biogas

54% – 75% CH₄

1 t LN₂ kostet zur Zeit
zwischen 100 und 120 €

Biogasreinigung



Biomethan

ca. 99 % CH₄

Bio-CO₂

CH₄-Speicher

CH₄- u. CO₂- Verflüssigung

N₂-Gas

LN₂-Tank

LN₂

CO₂-Speicher

N₂-Abgas

Vakuumisolierte Tanks
dienen der Speicherung
in der Biogasanlage

100 kg Biomethan benötigen zur Verflüssigung ca. 250 kg LN₂,
24 h am Tag, ca. 8500 h im Jahr = **850 t BioLNG**
LN₂- Bedarf **2.125 t/Jahr**
ca. 2 000 000 l/Jahr = ca. 100 Tanklastzüge je Jahr (40t)

Vorteil:
Die Anlage läuft fast
wartungsfrei, ohne Strom
Nachteil:
Hoher Stickstoffverbrauch

Speicherung des gereinigten Methans und CO₂

Variante 1: Verflüssigung

Beispiel zur Versorgung einer Likwi-Flow-Tankstelle oder KWK-Anlage:

Anlage produziert:

50 Nm³/h Methan + 40 Nm³/h CO₂

Tagesleistung: 1200 Nm³ + 720 Nm³ CO₂

Täglicher Verbrauch an Likwi-Flow-Tankstelle:

20 Busse a 150 Nm³ = 3000 Nm³ / Tag

Tank speichert 30 m³ LNG

Tankbelieferung aller 10 Tage

Produktion von Bio-Methan ist zu gering,
es muss von einer weiteren Anlage Bio-LNG geliefert
werden.

Speicherung des gereinigten Methans und CO₂

Variante 1: Verflüssigung

Darstellung Aufwand / Erlös Biogasanlage 50 Nm³/h CH ₄ + 40 Nm³/h CO ₂							
Investition ohne Förderungen							Fixkosten
Bauarbeiten	50.000 €						5.500 €
Engineering	50.000 €						5.500 €
Membranfilteranlage	450.000 €						49.500 €
Verflüssigungsanlage für CH ₄ und CO ₂	700.000 €						77.000 €
Summe	1.250.000 €						137.500 €
Personalkosten Biogasanlage							
1 Personen a € 40000	40.000 €						40.000 €
Reparatur und Wartung Biogasanlage + Investition							
Annahme: 2,5% von Invest	31.250 €						31.250 €
Gesamtkosten Invest+Pers.+Rep. u. Wartung							208.750,00 €
Kosten Biogasanlage je KWh							0,0518 €
Jährlicher Aufwand Kondensation mit Stickstoff							
Materialeinsatzkosten CH₄							
CH ₄ in m³/h	€/KWh		t bei 8600 h/Jahr				Materialkosten
50							
Technologie							
Produktkosten CH ₄ (Biogasanlage ist abgeschrieben)	0,04000 €		288,1				161.336,00 €
Materialeinsatzkosten LN₂							
Transportkosten im Preis enthalten			Ekf.Preis LN ₂ /t	LN ₂ t/Jahr			
			100,00 €	720			72.025,00 €
						Summe Aufwand	233.361,00 €
						Aufwand je KWh	0,0579 €
Jährliche Einnahmen/Erlöse für LCH₄ + LCO₂ Biogasanlage							
Einnahmen/Verkauf Bio-CH₄ im Tankwagen							
CH ₄ in m³/h	€/Kwh			CH ₄ kg/Tag	CH ₄ kg/Jahr	CH ₄ t/Jahr	Kwh/Jahr
50	0,070			804	288.100	288	4.033.400
Bio-CH₄							
Einnahmen/Verkauf Bio-CO₂ im Tankwagen							
	t /p.a.		Preis ab Werk je Tonne				
	685		60,00 €				
Bio-CO₂							
						Summe Einnahmen aus CH₄ + CO₂	323.411,60 €
						Summe Erlöse Biogasanlage	90.050,60 €
CO₂-Zertifikat							
	€/je t CH ₄						
	300,00 €						
						Summe Erlöse CO₂-Zertifikate	86.430,00 €
						Gesamterlös je Jahr aus LCH₄ + LCO₂	176.480,60 €

Verarbeitung des gereinigten Methans und CO₂

Variante 2: Kompression

Biogaserzeugung



Biogas

54% – 75% CH₄

Biogasreinigung



Biomethan

Odorierung 1 – 250 Nm³/h



Biomethan

Kompressoranlage



Es wurde das Problem der Odorierung für geringe Gasströme gelöst, indem erstmalig **homogen** von 1Nm³/h - 250 Nm³/h odoriert wird. Der Wert wird zusätzlich verifiziert. Siehe Buch S.143 ff.

Der Kompressor benötigt immer fachmännische Wartung und Pflege

100 kg =150 Nm³ Biomethan benötigen zur Kompression ca. 40 kWh

24 h am Tag, ca. 8500 h im Jahr = **1.275.000 BioCNG**

Strombedarf **510 MWh/Jahr**

Transportbedarf bei 300 bar: ca. 215 Trailer a 6000 Nm³

oder ca. 7100 Hochdruckbündel a 180 Nm³

Verarbeitung des gereinigten Methans und CO₂

Variante 2: Kompression

Beispiel zur Versorgung einer CNG-Satellitenstation:

Anlage produziert:

50 Nm³/h Methan + 40 Nm³/h CO₂

Tagesleistung: 1200 Nm³ + 720 Nm³ CO₂

Täglicher Verbrauch an Satellitentankstelle:

10 PKW a 25 Nm³ = 250 Nm³ / Tag

Satellitentankstelle speichert 360 Nm³/Gruppe mit 300 bar

Bündelwechsel aller 2 Tage

Kompressorleistung: 14,5 Nm³/h bei 300 bar

Kompressionsleistung je Tag: 348 Nm³ = 0,97 Bündel der Gruppe

Freie Kapazität der Anlage: 1 Tagesleistung

Möglichkeit: 2. Tankstelle

Sicherheitstechnische Hinweise

In Ergänzung zum Regelwerk

Speicherung des Bio-LNG/CO₂ in der Biogasanlage

Überfüllsicherung: DIESE IST NICHT BESTANDTEIL DES REGELWERKS!!!

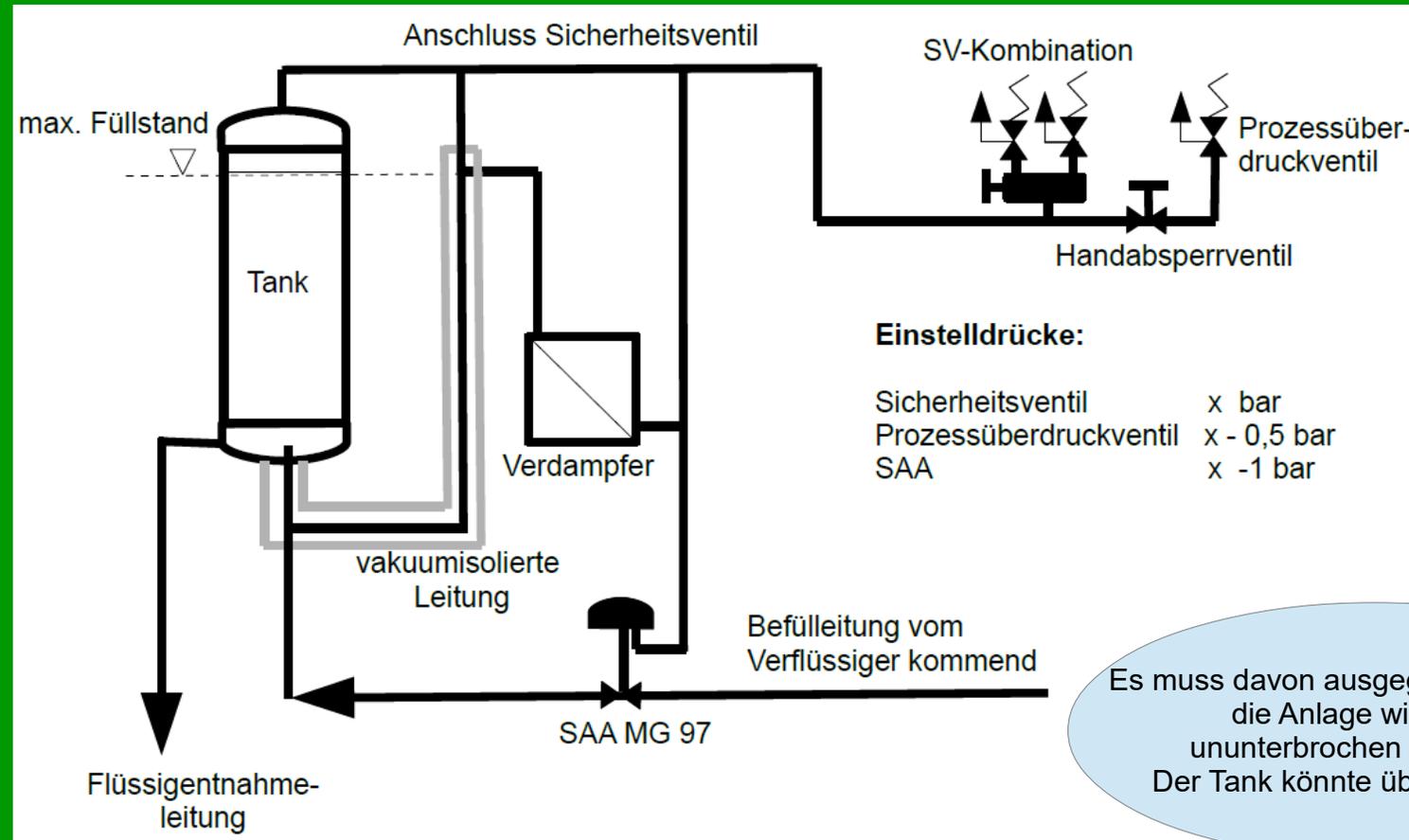
Zu beachten ist, die Dichte nimmt mit steigendem Siededruck ab, der Füllstand steigt, der Differenzdruckmesser MEDIA 6 zeigt das nicht an.

Beispiel:

Methan 4 bar 391 kg/m³
15 bar 339 kg/m³

Abhilfe schafft die autark arbeitende Überfüllsicherung. Das Gas wird über das Prozessüberdruckventil in den Abgasschlot abgeblasen. Bei fehlender Überfüllsicherung kann Produkt in die Messleitungen drücken, der Tank gerät messtechnisch außer Kontrolle,

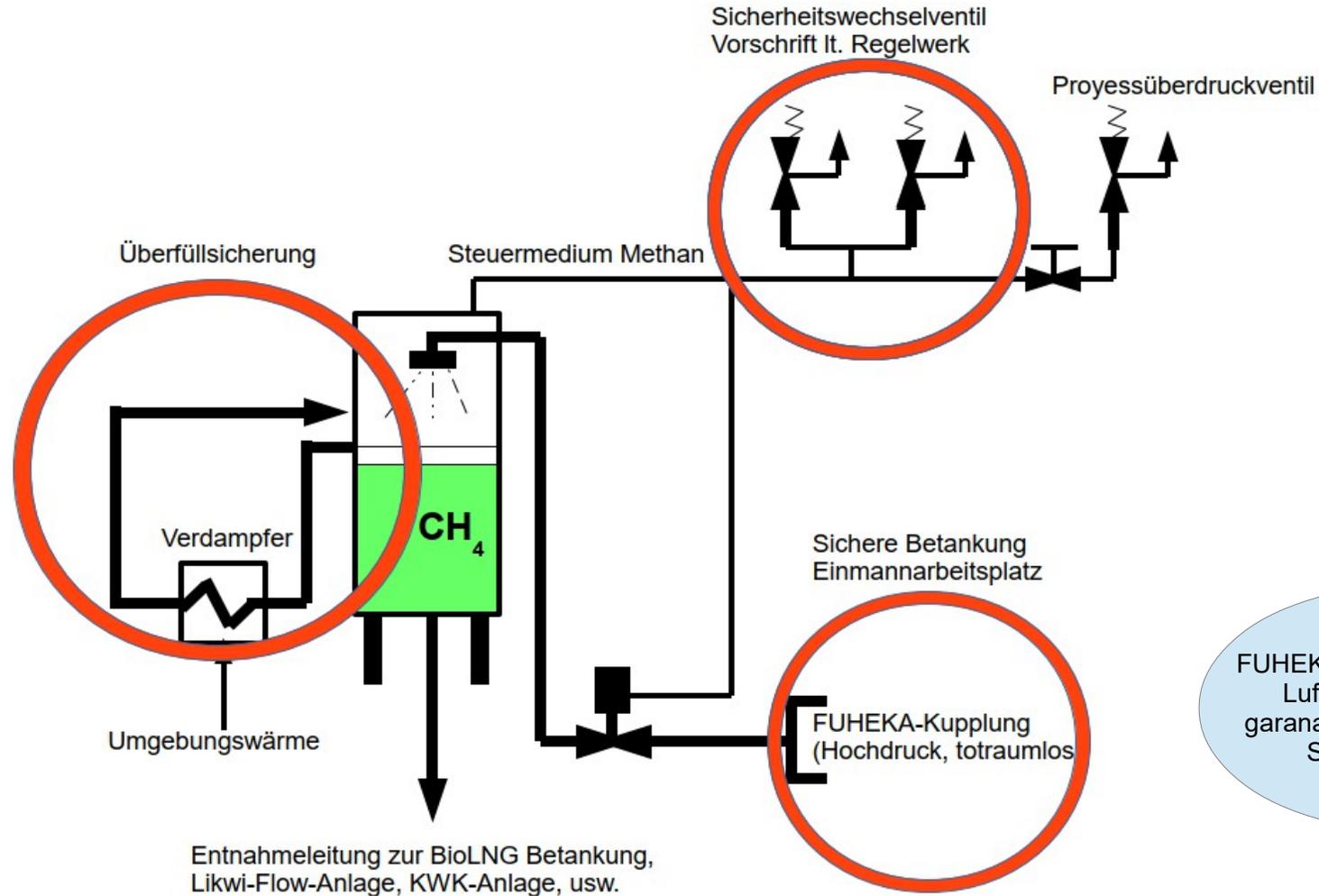
patentierte Lösung,
Hersteller: Hoffmann & Hoppestock Wernigerode
Siehe Buch S. 160 ff.



Sicherheitstechnische Hinweise

In Ergänzung zum Regelwerk

Speicherung des Bio-LNG/CO₂ beim Kunden



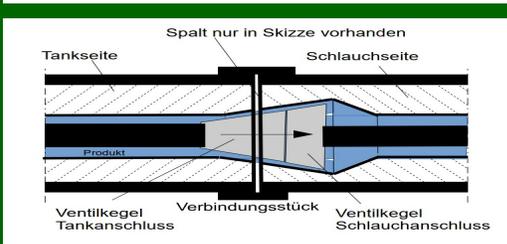
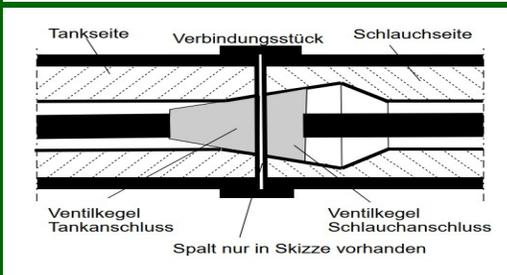
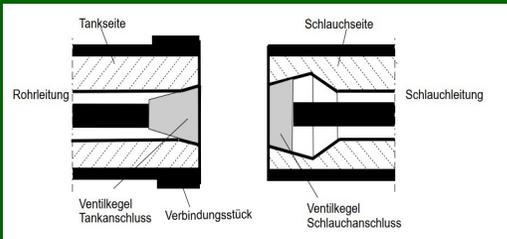
FUHEKA-Kupplung schließt Lufteinschlüsse aus, garantiert geschlossenes Schlauchsystem

Transport des Bio-LNG/CO₂ zum Kunden, der totraumlose Kupplungsprozess

FUHEKA – Kupplung			
Kosten für Tank - Kupplungshälfte	€ 20.000	1	
		20.000 €	
Kosten für LKW- Kupplungshälfte	€ 5.000		
täglich zu betankende Tanks		1	3
Kosten für LKW- Kupplungshälfte	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000
Kosten für Kupplungs-equipment	€ 25.000	€ 65.000	€ 105.000
Kap. - dienst für Kupplungs-equipment	3.090 €	8.034 €	12.978 €
Kap. - dienst für 10 Jahre , 4%			
Handlingtime in Min.	0,17	0,51	0,85
Anschließen 5 Sek. + Lösen 5 Sek. = 10 Sek.			
Kosten je Stunde Standzeit des Tankwagens		€ 60	
Kosten je Tag in €	€ 0,17	€ 0,51	€ 0,85
Tage je Jahr		360	
Kosten je Jahr	61 €	184 €	306 €
Gesamtkosten je Jahr	3.151 €	8.218 €	13.284 €



Kupplung für offenes System			
Kosten für LKW Kupplungshälfte (Annahme)	400	1	
		400	
Kosten für Tank Kupplungshälfte (Annahme)	400		
täglich zu betankende Tanks		1	3
Kosten für Tankkupplungshälften	400	1200	2000
Kosten für Kupplungs-equipment	800	1600	2400
Kap. - dienst für Kupplungs-equipment	98,88	197,76	296,64
Kap. - dienst für 10 Jahre , 4%			
Handlingtime in Min.		20	60
Anschließen 5 Min. + Lösen 15 Min.			
Kosten je Stunde Standzeit des Tankwagens		60 €	
Kosten je Tag in €	€ 20,00	€ 60,00	€ 100,00
Tage je Jahr		360	
Kosten Handlingszeit je Jahr	€ 7.200,00	€ 21.600,00	€ 36.000,00
Gesamtkosten je Jahr	€ 7.298,88	€ 21.797,76	€ 36.296,64



Betriebswirtschaftliche Argumente

- keine Spülzeit erforderlich und die dazu notwendige Gasmenge
- kein Gas wird in die Umgebung gespült (für LNG lt. BIMSCH unzulässig)
- Manipulationen zur Beeinflussung des Abtankprozesses nicht möglich
- Kuppeln und Entkuppeln in Summe max. 10 Sek.
- Tankerkennung mit integriertem Transponder
- einfachste Bedienung, vollautomatisch
- Amortisation unter 1 Jahr

Sicherheitstechnische/ökologische Aspekte

- Bedingungen/Forderungen des **EINMANN - Arbeitsplatzes** werden erfüllt, **begleitende Überwachung** ist nicht erforderlich
- Lufteintritt ins System ist ausgeschlossen
- Vollschlauchprinzip, Austreten von Produkt nicht möglich (Methan, Sauerstoff usw.)
- handlich
- durch maschinelle Tankerkennung (Transponder) keine falsche Abtankung möglich
- Austreten von tiefkalter Flüssigkeit durch Undichtigkeit und Manipulationsfehler nicht möglich
- robust und einfach handhabbar
- Vollisolierung der kälteführenden Teile der Kupplung
- schließt Kältebrand bei Berührung aus

Transport des Bio-LNG/-CO₂ zum Kunden

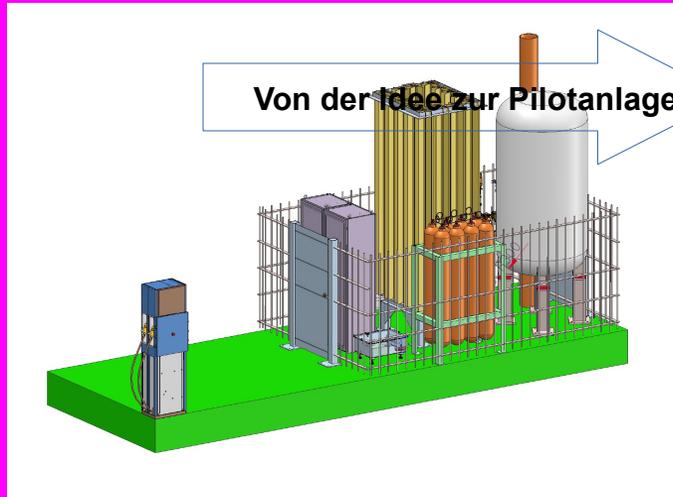
Betankungsprozess



Anwendungen

Likwi-Flow-Verfahren zur Regasifizierung BioLNG zu BioCNG

Beispiel: LCNG-Tankstelle



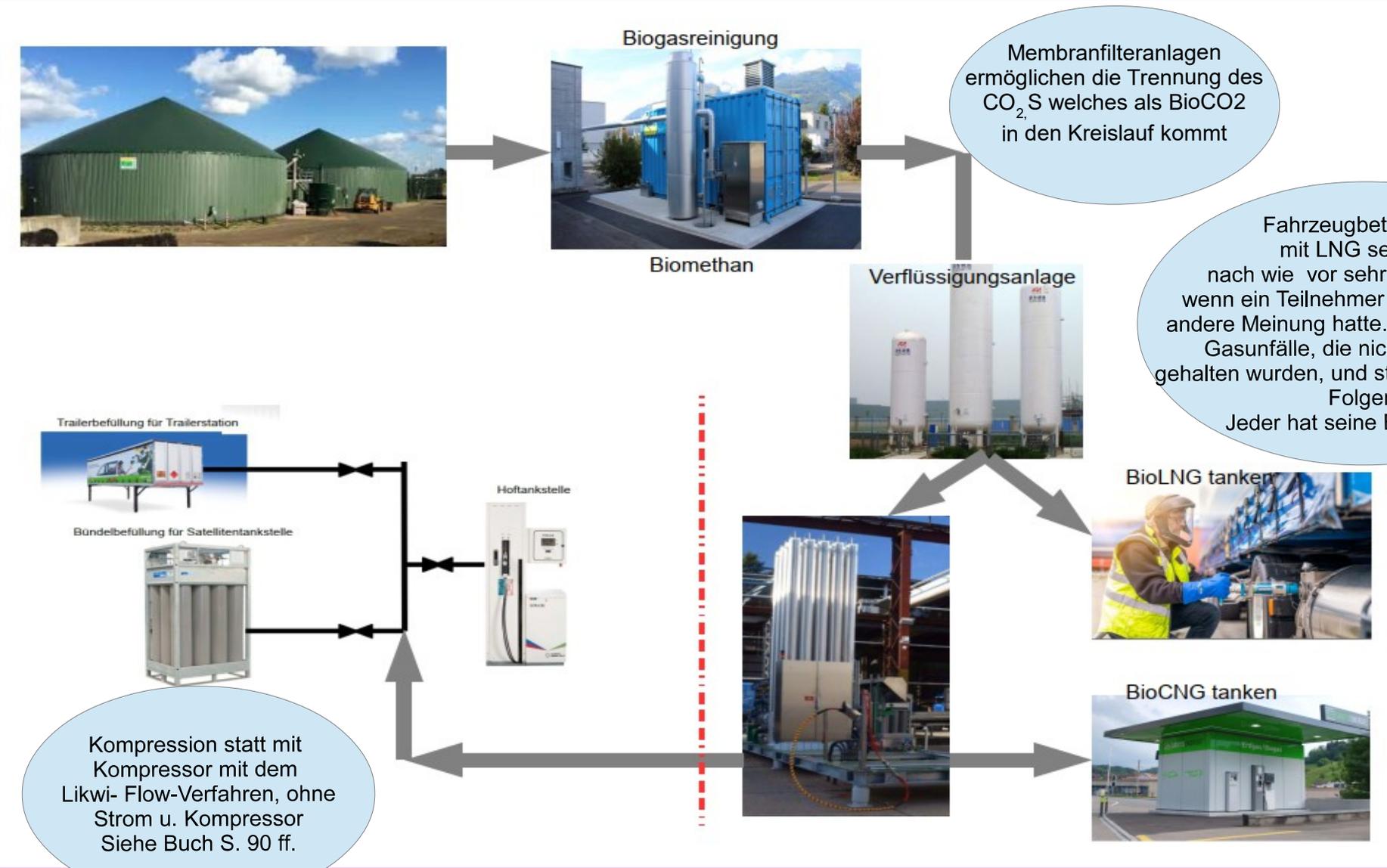
Pilotanlage zum Regasifizieren
tiefkalter Gase, also auch BioLNG
Anlagenleistung CNG:
Druck 300 bar, Volumen 2000 Nm³/h
Allerdings dann mit größerem
Tank
Siehe Buch S. 90 ff.

Nicht im Bild:

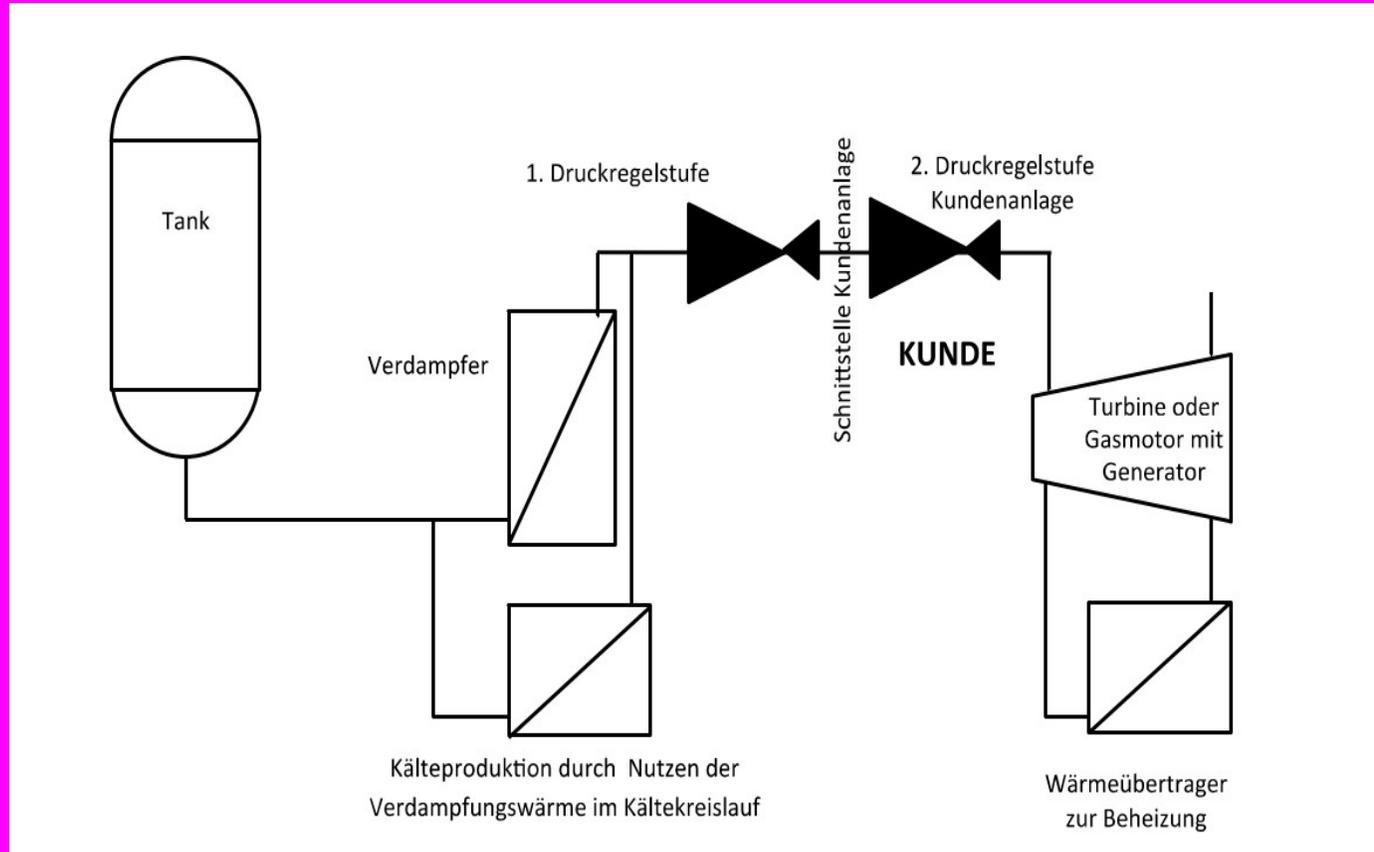
- Odorieranlage für kleinste Mengen
- Überfüllsicherung, patentiert
- lageunabhängiges 300 bar Hochdruck-Kryoventil



Möglichkeiten der Verwertung bei Verflüssigung

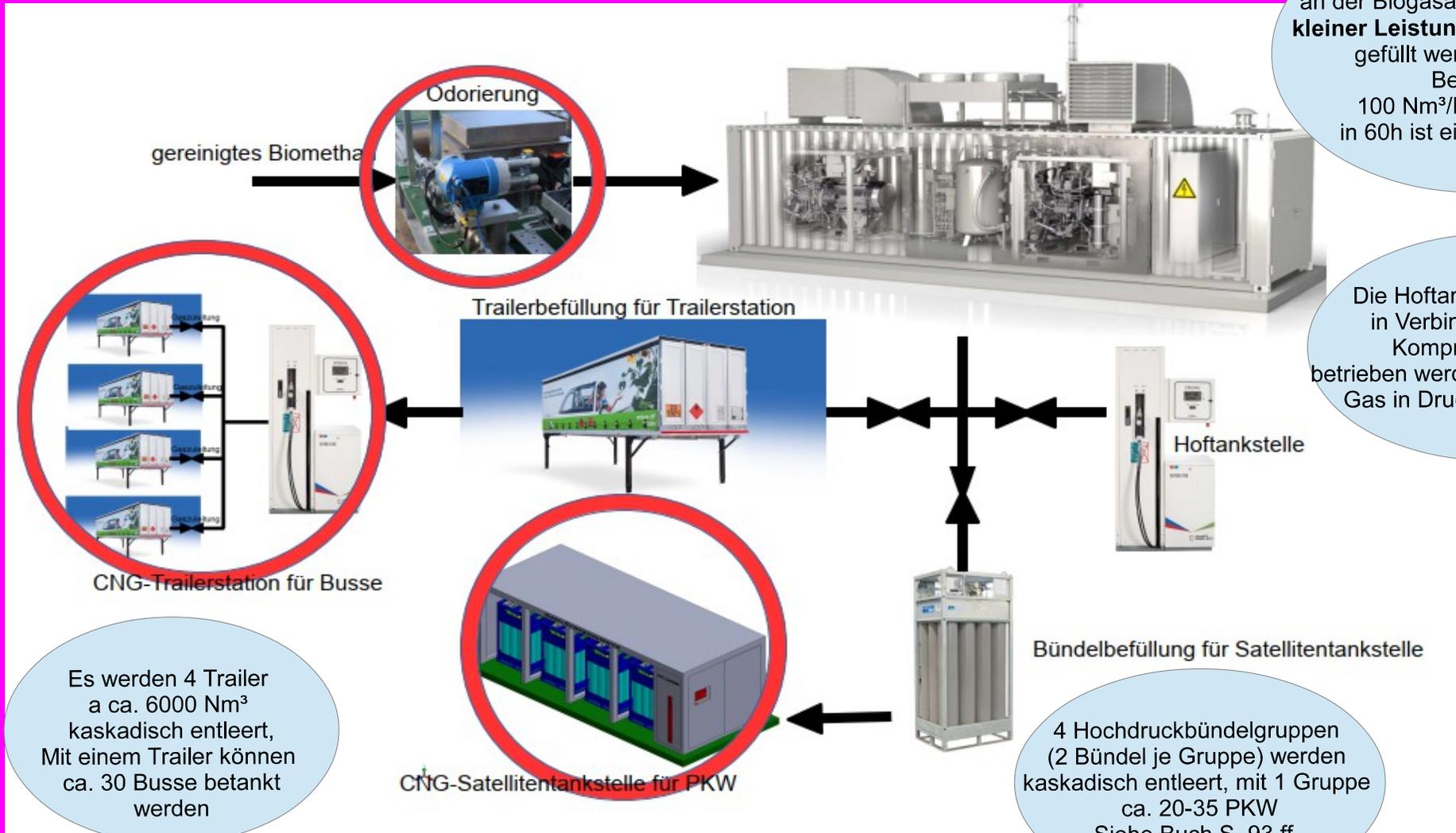


Möglichkeiten der KWK-Anlage



Die KWK-Anlage rechnet sich auch ohne CO₂-Zertifikate, wenn Strom, Wärme u. Kälte kommerziell genutzt werden
Siehe Buch S. 64 ff..

Möglichkeiten der Verwertung bei Kompression



Der Vorteil der Kompression an der Biogasanlage ist, dass mit **kleiner Leistung große Volumina** gefüllt werden können.
Beispiel:
100 Nm³/h ca. 40 kWh
in 60h ist ein Trailer gefüllt

Die Hoftankstelle kann nur in Verbindung mit einer Kompressoranlage betrieben werden, die 24 h am Tag Gas in Druckgasbehälter füllt

Es werden 4 Trailer a ca. 6000 Nm³ kaskadisch entleert, Mit einem Trailer können ca. 30 Busse betankt werden

4 Hochdruckbündelgruppen (2 Bündel je Gruppe) werden kaskadisch entleert, mit 1 Gruppe ca. 20-35 PKW
Siehe Buch S. 93 ff.

Zusammenfassung

- 1.) Es wurde auf die sicherheitstechnischen Risiken der **Wasserstofftechnologie** aufmerksam gemacht
- 2.) Es wurden Möglichkeiten aufgezeigt, eine **Biogasanlage ohne EEG-Förderung** wirtschaftlich zu betreiben. Diese Möglichkeiten setzen aufbereitetes Biogas voraus, so dass ein Gasgemisch aus CH_4 und CO_2 mittels Membranfilter getrennt werden kann.

Varianten 1: **Kompression**

Odorieren des CH_4 und komprimieren für Vertankung vor Ort (Hoftankstelle)
(Kompression auf max. 230 bar)

Odorieren des CH_4 und komprimieren, befüllen von 300 bar-Bündeln und
Abgabe über Bio-CNG-Satelliten-Tankstelle

Variante 2: **Verflüssigung**, kryogen von CH_4 und CO_2

als Kraftstoff zu Bio-LNG oder Bio-CNG mittels Basisstation,
ergänzt durch Satelliten-Tankstelle

Nutzen der CO_2 -Zertifikate

CO_2 (technisch) wird als Flüssigphase in den Verkehr gebracht

Versorgung der KWK-Anlagen (CO_2 -Zertifikate sind nicht möglich)

- 3.) **Anlagensicherheit** in Ergänzung des Regelwerks
 - Überfüllsicherung in Kombination mit SAA
 - Totraumlose Kupplung zur Vermeidung des Spülprozesses
 - Odorierung geringer Volumenströme

4. **Technische Lösungen** können besichtigt werden.

Literaturhinweis

Handbuch für den LNG- und CNG-Praktiker

Die wichtigsten physikalischen Grundlagen, sowie die ingenieurtechnische Ausstattung (Bauteile, Baugruppen sowie deren Funktion) für die Regasifizierung und Kompression tiefkalt verflüssigter Gase, speziell Erdgas, sind in diesem Buch dargestellt. Die wichtigsten LNG (Liquefied Natural Gas) Anwendungen sind beschrieben. Es werden Praxishinweise zur möglichen Anlagenauslegung und -gestaltung gegeben. Auf sicherheitstechnisch produktspezifische Ausführungen wird hingewiesen und deren Lösungen beschrieben. Sie finden sich in den Sicherheits- und Schulungshinweisen wieder, die dem Leser mit diesem Buch an die Hand gegeben werden.

Aus dem Inhalt

- LNG und dessen Thermodynamik
- Von der Quelle zum Kunden
- Kontinuierliche und diskontinuierliche Betriebsführung
- Versorgungsanlagen/Netzeinspeisung/CNG-Tankstellen
- Tankbauarten und Tankausrüstung
- Beschreibung der wichtigsten Bauteile einer LNG/CNG-Anlage
- Sicherheitseinrichtungen
- Genehmigungsverfahren
- Schutzmaßnahmen und Schulungsempfehlungen

Die Zielgruppe

- Arbeitssicherheitsbeauftragte, Tankstellenbetreiber, Betreiber dezentraler Versorgungsanlagen
- Entscheidungsträger im Bereich Energieversorgung, Energiemanagement und Genehmigungsbehörden
- Projektanten, Montageleiter, Monteure, Instandhalter
- Dozenten und Studenten im Bereich Energietechnik, Arbeitssicherheit

Über den Autor

Werner Hermeling ist ausgebildeter Ingenieur des chemischen Anlagenbaus und der Wärme-, Lüftungs- und Klimatechnik mit langjähriger praktischer Erfahrung im Bereich der tiefkalt verflüssigten Gase, deren Transport, Regasifikation und Kompression. Er ist Erfinder mehrerer patentierter und realisierter Lösungen auf dem Fachgebiet.

ISBN 978-3-658-28550-0



► springer-vieweg.de

Hermeling

Werner Hermeling

Handbuch für den LNG- und CNG-Praktiker

Liquefied Natural Gas in der Anwendung



Handbuch für den LNG- und CNG-Praktiker



Springer Vieweg

Das Buch gilt ebenso für BioCNG u. BioLNG u. ist über den Buchhandel oder per Internet zu beziehen

**Wir suchen einen Biogaserzeuger
mit dem wir die Verflüssigung/
Kompression im Rahmen
eines Forschungsthemas
realisieren können**

Es bedankt sich für Ihr Interesse

Werner Hermeling

wh@sasu-energie.de

Mob.:+49 151 652 18 380

+43 676 390 8 578

Tel.:+49 3943 249973

Gern stehe ich für weitere Fragen
zur Verfügung,