

Präsentation

WIRKUNGSGRAD VON PTG ANLAGEN

Fabian Ruoss

Institut für Energietechnik

Rapperswil, 6. April 2016

- **Frage nach Wirkungsgrad von Gesamtanlagen nicht zufriedenstellend beantwortet**
 - Wunsch aus verschiedensten Kreisen nach genauerer Untersuchung des Wirkungsgrads von Power-to-Gas Anlagen
 - Wirkungsgrad ist wichtig für Wirtschaftlichkeit und zur Identifikation von Optimierungsmöglichkeiten
 - Sensitivität einzelner Anlagenteile auf Gesamtsystem
 - Validierung von Messergebnissen aus bestehenden Anlagen



Power-to-Gas Anlage Werlte mit einer «Umwandlungsrate» Strom zu Gas von 54 %
<http://www.etogas.com/referenzen/article//industrielle-63-mw-ptg-anlage-audi-e-gas-anlage/> 12.04.16

Bemerkungen:

■ Annahmen

- Umwandlungsgrad von 100 % (alles CO₂ und H₂ wird in CH₄ und Wasser umgewandelt)
- DI-Wasser vorhanden
- Energie und Stoffbilanzen beziehen sich auf den stationärer Betrieb (Keine An- und Abfahrvorgänge)
- Produktgasabgabe auf 5 bar Niveau

■ Wirkungsgrad η

- Definition: $\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$
 - Nutzen: Energieinhalt von Methan und Wasserstoff (Brennwert)
 - Aufwand: Elektrizität (Auch Wärme bzw. Kälte welche nicht aus internen Quellen stammt und elektrisch bereitgestellt werden muss)

Elektrolyse

1. Elektrolyse [1]

- Elektrische Anschlussleistung: 5 MW
- Energiebedarf (AC/H₂): 53.3[1] - 66.7[2] kWh/ kg H₂
 - Wirkungsgrad (Brennwert): 59.1 – 73.4 %
- Abwärme (1- η): 60 – 80 °C
- H₂ Ausgangsdruck: 15 bar (a)

ELEKTROLYSIS

Andreas Züttel

| Company | Country | Technology | Product | Capacity (Nm ³ /hr) | H ₂ output pressure (bar _g) | H ₂ purity (%) | Electricity consumption (kWh/kg) | Electric LHV efficiency (%) |
|---------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Acta | Italy | AEM | EL1000 | 1 | 29 | 99.94 | 53.2 | 63% |
| AREVA | France | PEM | Development | 20 | 35 | 99.9995 | 55.6 | 60% |
| CETH2 | France | PEM | E60 cluster | 240 | 14 | 99.9 | 54.5 | 61% |
| ELT Elektrolyse Technik | Germany | Alkaline | Customised | 330 | Atmospheric | 99.85 | 51 | 65% |
| Errede s.r.l | Italy | Alkaline | G256 | 170 | 30 | 99.5 | 59.5 | 56% |
| H2 Nitidor | Italy | Alkaline | 200Nm ³ /hr | 200 | 30 | 99.9 | 52.3 | 64% |
| H-TEC SYSTEMS | Germany | PEM | EL30/144 | 3.6 | 29 | N/A | 55.6 | 60% |
| Hydrogenics | Belgium, Canada | Alkaline (PEM in dev.) | HyStat60 | 60 | 10 | 99.998 | 57.8 | 58% |
| Idroenergy | Italy | Alkaline | Model120 | 80 | 5 | 99.5 | 52.4 | 64% |
| IHT Industrie Haute Technologie | Switzerland | Alkaline | Customised | 760 ⁽²⁰⁾ | 31 | N/A | 51.2 | 65% |
| ITM Power | UK | PEM (AEM in dev.) | HPac40 | 2.4 | 15 | 99.99 | 53.4 | 62% |
| NEL Hydrogen | Norway | Alkaline | Customised | 485 | Atmospheric | >99.8 | 50 | 67% |
| McPhy | Germany | Alkaline | 60Nm ³ /h container | 60 | 10 | >99.3 | 57.8 | 58% |
| Proton OnSite | USA | PEM | Hogen C30 | 30 | 30 | 99.9998 | 64.5 | 52% |
| Siemens | Germany | PEM | SILYZER200 ⁽²¹⁾ | ~250 | N/A | N/A | ~60 | ~55% |
| Teledyne Energy Systems | USA | Alkaline | SLM 1000 | 56 | 10 | 99.9998 | N/A | N/A |
| Wasserelektrolyse Hydrotechnik | Germany | Alkaline | EV150 | 225 | Atmospheric | 99.9 | 58.7 | 57% |

²⁰ Systems are currently not available on the market. IHT is planning to commercialise products with new membrane designs.

²¹ Delivery of first systems scheduled for beginning of 2015. For more information see www.siemens.com/hydrogen-electrolyzer

Quellen: [1]: http://etogas.com/fileadmin/documents/datasheets/ETOGAS_Power-to-Hydrogen_Datasheet_EN_Rev1.pdf 12.04.16
 [2]: Power to Gas – eine Systemanalyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

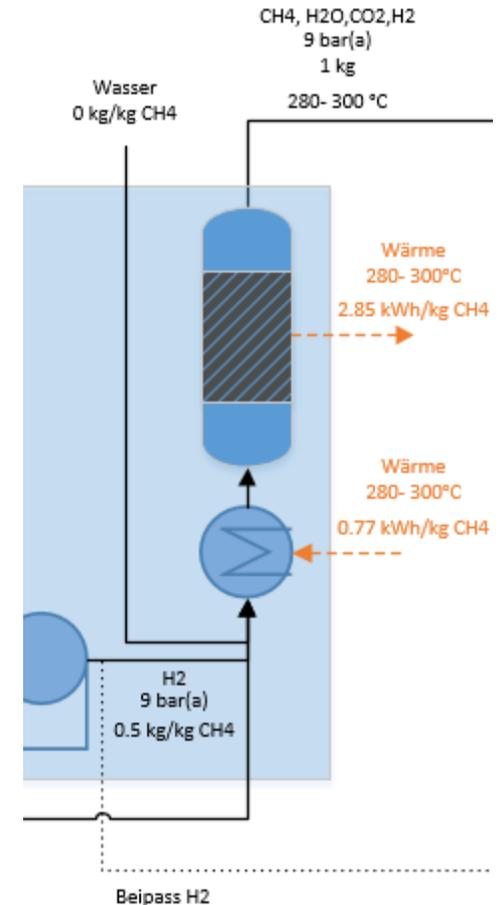
Methanisierung

■ Betriebsbedingungen

- Katalytischer Festbettreaktor
- Temperatur Reaktor: 280 - 300 °C
- Eintrittsdruck: 9 bar (a)
- Reaktionswärme: 2.85 kWh/ kg CH₄
- Wasserdampf: 0 kg/ kg CH₄
- Verdampfung Wasser: 0 kWh/kg CH₄
- Erhitzung Feedgas: 0.77 kWh/kg CH₄

■ Bemerkungen

- Wasserdampf verhindert zu hohe Hotspottemperaturen im Reaktor durch Verschiebung des Gleichgewichtes
- Annahme: Reaktor hat keinen Wärmebedarf



Gasaufbereitung und Verdichter

1. Energie Verdichter

- Induzierte Isentropeneffizienz: 0.7

$$\eta_{ind, is, Verd} = \frac{\Delta h_{is}}{\Delta h} = \frac{h_{\omega, is} - h_{\alpha}}{h_{\omega} - h_{\alpha}}$$

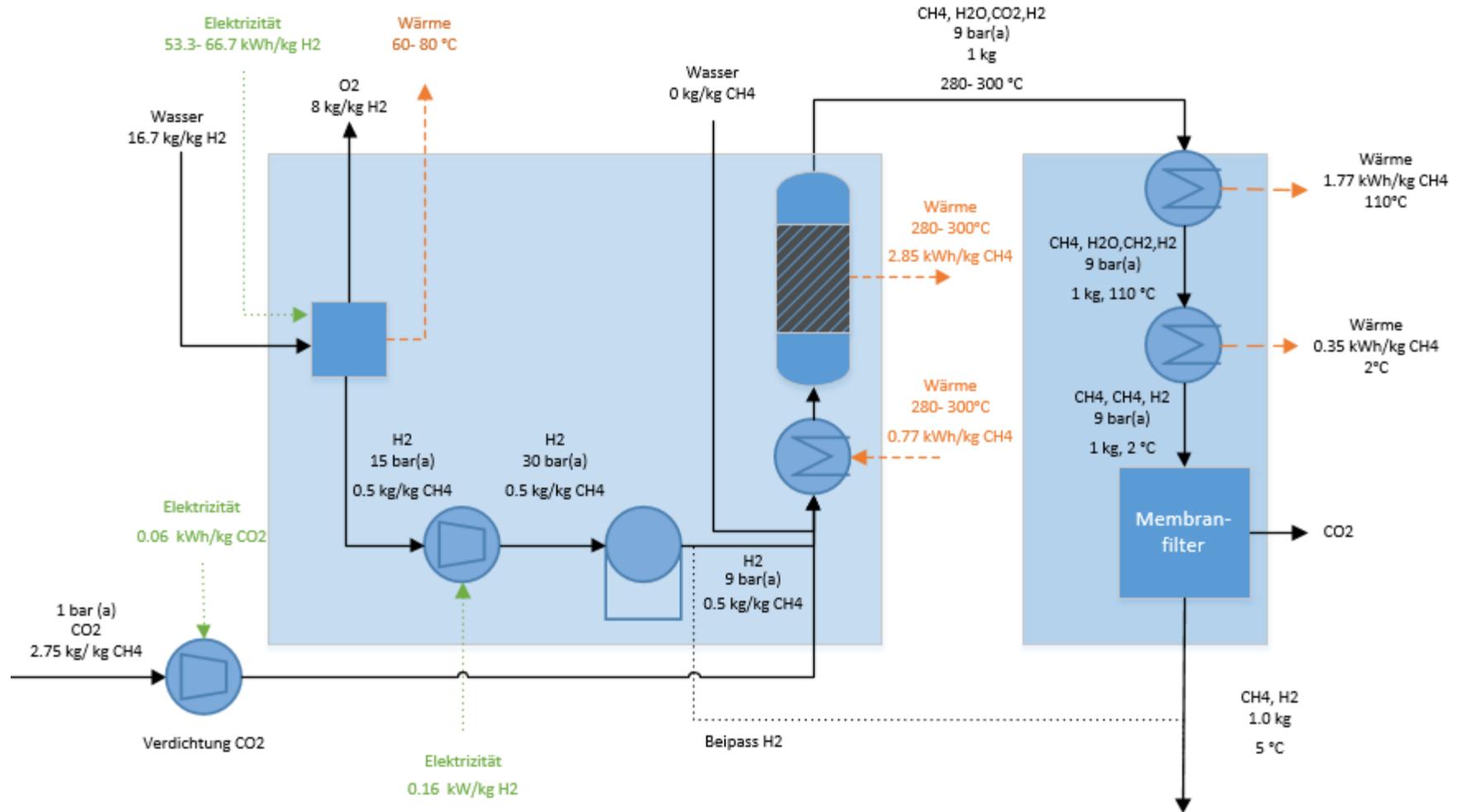
2. Gasaufbereitung

- Mehrstufige Kühlung auf 2 °C zur Wasserabscheidung: Enthalpiedifferenzen (FluidProp)
- Nutzung der Wärme für die CO₂ Abscheidung
- Membranfilter zur Entfernung von CO₂

3. Kühlung

- Kühlung von nicht intern verwendeten Wärmeströmen (Abwärme Aminwäsche oder Gasaufbereitung)
- 5 % der Kühlleistung muss elektrisch bereitgestellt werden
- Kältemaschine (T < 25 °C): EER = 3

Anlagenschema: «Gratis CO2»



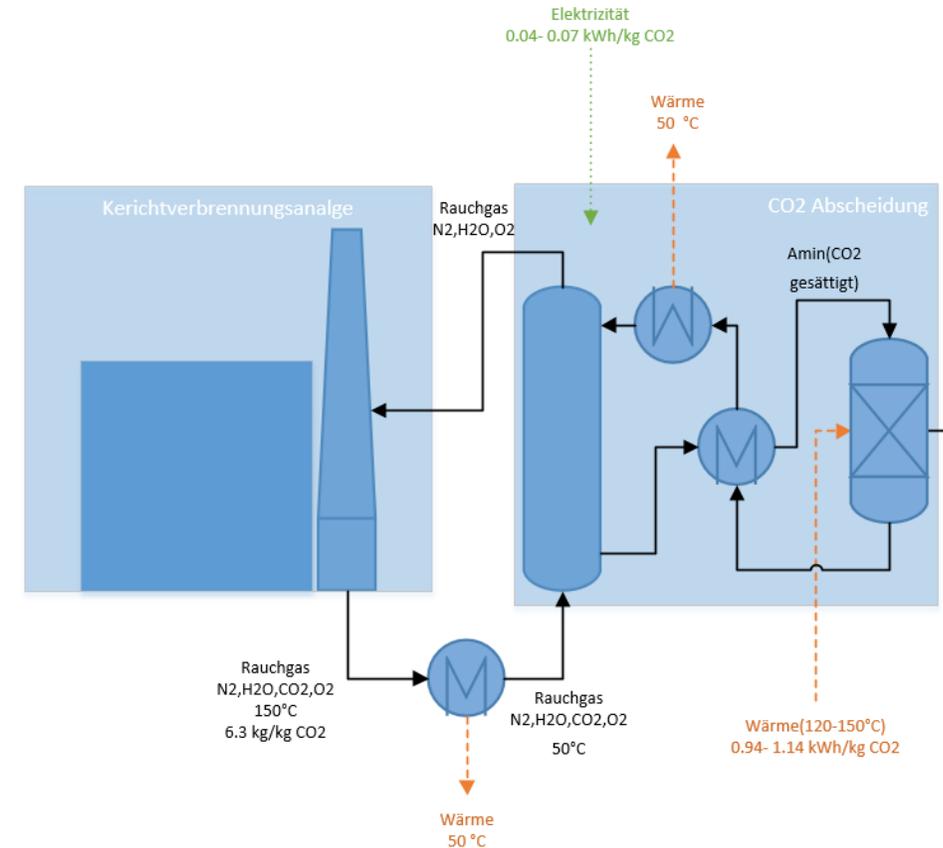
CO₂ aus Rauchgasen

1. Rauchgase

- Volumenanteil CO₂: ca. 9 % [4]
- Temperatur: 150 °C
- Gereinigt gemäss LRV

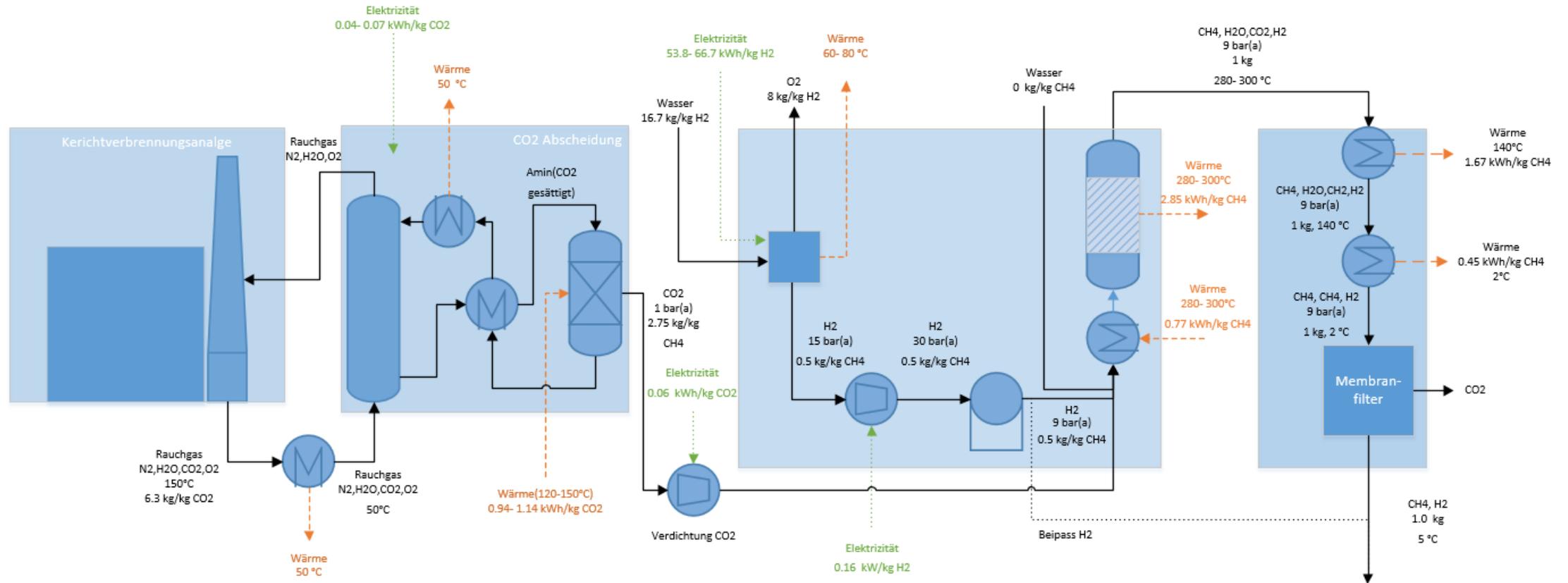
2. Aminwäsche [3]

- El. Energiebedarf: 0.04 - 0.07 kWh/kg CO₂
- Wärmebedarf (T= 140 °C): 0.94 – 1.14 kWh/kg CO₂
- Absorptionstemperatur: 50 °C



Quellen: [3]: Power to Gas – eine Systemanalyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz
[4]: BA Seiler: Machbarkeitsstudie: Power to Gas Integration in der KVA Linth

CO2 aus Rauchgasen



Basisdaten Komponenten

■ PSA [5]

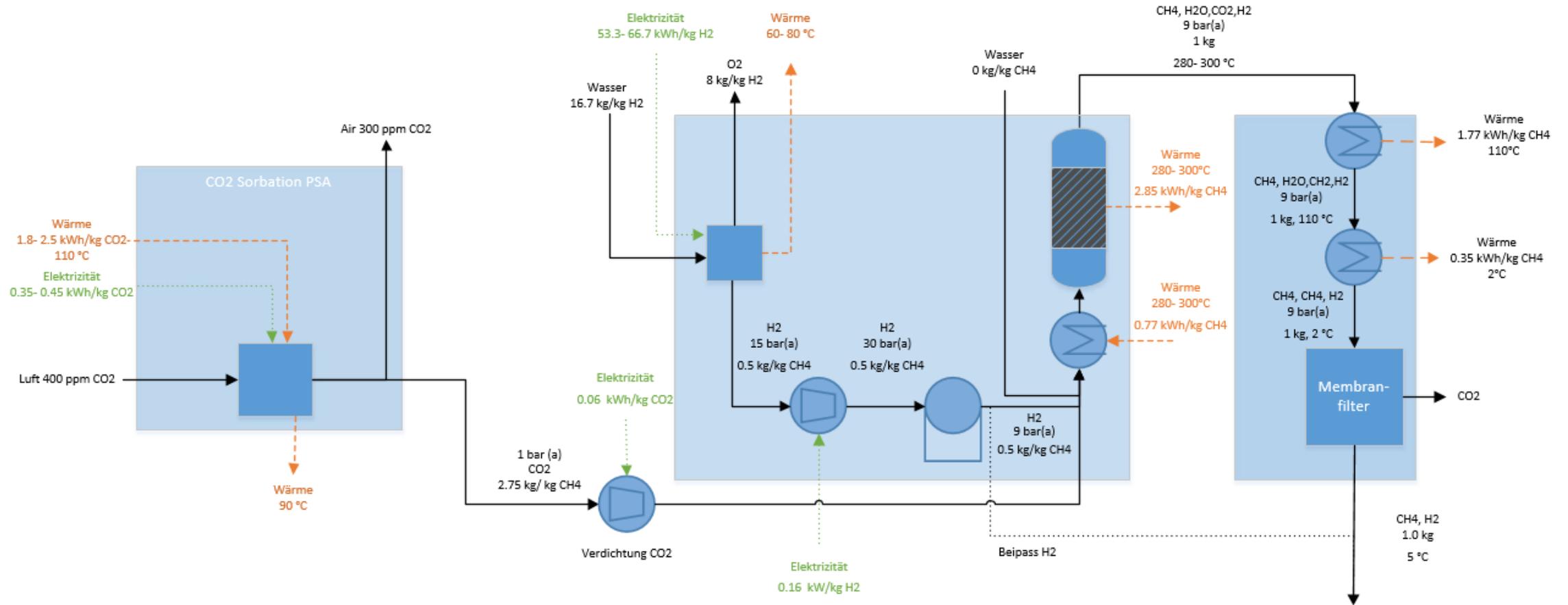
- El. Energiebedarf: 0.35 – 0.45 kWh/kg CO₂
- Wärmebedarf (T= 110 °C): 1.80 – 2.50 kWh/kg CO₂
- Adsorptionstemperatur: 25 °C
- Adsorptionsdruck: 1 bar (a)
- Desorptionsdruck: ca. 0.2 bar (a)



Quellen: <http://www.climeworks.com/co2-capture-plants.html> 12.04.15

Quellen: [5]: <http://www.climeworks.com/facts-figures.html> 7.04.16

CO2 aus Atmosphäre



Fazit

- Wirkungsgrad bis 55 % bei 100 % Methan sind heute erreichbar
- Wirkungsgrad wird hauptsächlich durch die Elektrolyse und deren Kühlbedarf bestimmt
 - Erhöhung des Elektrolysewirkungsgrads um 10 % (absolut) erhöht Wirkungsgrad der Power-to-Gas Anlage um 7 % (absolut)
- Die Einspeisung von 15 % Wasserstoff verbessert den Wirkungsgrad der Gesamtanlage um 2– 3 % (Absolut)
- Keine externe Wärmequelle nötig (Ausnahme bei CO₂ aus der Atmosphäre via WP mit COP 4)

| | η : 100 % Methan | η : 15 % Wasserstoff |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Gratis CO ₂ | 44.3- 55.6 % | 46.2- 58.1 % |
| CO ₂ aus Atmosphäre | 42.4- 53.6 % | 44.7- 56.4 % |
| CO ₂ aus Rauchgas | 43.9- 55.2 % | 45.9- 57.7 % |