



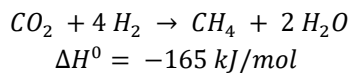
# Katalytische Methanisierung

## CO<sub>2</sub>-Verwendung

**Kurzbeschreibung:** Bei der katalytischen Methanisierung wird Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) mit Wasserstoff (H<sub>2</sub>) über einen festen Katalysator zu Methan (CH<sub>4</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) umgesetzt. In einem klimaneutralen Energiesystem wird erneuerbarer H<sub>2</sub> idealerweise über Wasserelektrolyse aus erneuerbarem Strom bereitgestellt, während CO<sub>2</sub> aus verschiedenen Quellen, wie Biogas, industriellen Prozessen oder Kraftwerksabgasen abgeschieden werden kann. Das auf diese Weise erzeugte synthetische Erdgas (SNG, synthetic natural gas) kann fossiles Erdgas substituieren, in die bestehende Erdgasinfrastruktur eingespeist oder als chemischer Energieträger und Rohstoff genutzt werden [1–4].

### Grundprinzip Methanisierung

Die katalytische Methanisierung nutzt die Reaktion von CO<sub>2</sub> mit H<sub>2</sub> zur Herstellung von CH<sub>4</sub> und H<sub>2</sub>O. Die zugrunde liegende Sabatier-Reaktion lautet:



Zum Einsatz kommen überwiegend Nickel-basierte Katalysatoren, da sie eine hohe Aktivität und Selektivität aufweisen und zugleich kostengünstiger sind als Alternativen aus Edelmetallen, wie Ruthenium oder Palladium [2–5]. Das aktive Metall wird dabei auf porösen Metalloxidträgern wie Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> oder TiO<sub>2</sub> verteilt, um eine große aktive Oberfläche zu erzielen [5]. Promotoren können die Verteilung des aktiven Metalls und die thermische Stabilität verbessern und so die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer des Katalysators erhöhen [3–5].

### Reaktionsbedingungen:

- **Temperatur:** Optimaler Bereich 300–550 °C (Kompromiss zwischen hoher Reaktionsgeschwindigkeit (Kinetik) bei höheren Temperaturen und der durch niedrigere Temperaturen begünstigten Gleichgewichtslage der exothermen Reaktion) [3–5].
- **Druck:** erhöhter Druck fördert die Methanbildung, da sich die Stoffmenge der Gase von fünf auf drei Moleküle reduziert [4–6].

Die **dynamische katalytische Methanisierung** bezeichnet die flexible Betriebsweise, bei der Reaktor und Katalysator so ausgelegt sind, dass sie schnell wechselnde Wasserstoffzufüsse aus erneuerbaren Energien verarbeiten können.

### Aufbau Anlage

Methanisierungsreaktoren müssen einen guten Kontakt zwischen Gas und Katalysator sicherstellen. Dabei unterscheidet man **adiabate Reaktoren**, die keine Wärme über die Wand abführen und daher einfach und günstig aufgebaut sind, jedoch meist mehrstufig mit Zwischenkühlung betrieben werden müssen, sowie

**polytrophe Reaktoren**, die die Wärme kontinuierlich über Kühlsysteme abführen und so hohe Umsätze ermöglichen, jedoch komplexer sind.

Zum Einsatz können unter anderem Festbettreaktoren kommen, die adiabatisch als Schüttbett oder polytrop als gekühltes Rohrbündel ausgeführt werden. Daneben existieren strukturierte Reaktoren mit definierten Kanalgeometrien für verbesserten Wärme- und Stofftransport sowie Wirbelschichtreaktoren [2,3,5]. Das Produktgas wird durch Kondensation und Feintrocknung aufbereitet und erreicht typischerweise > 99 Vol.-% CH<sub>4</sub>. Die entstehende Reaktionswärme wird über Kühlmedien abgeführt und kann weiterverwendet werden [1–3,5,6].

**Vorteile:** Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff, Speicherung von überschüssigem erneuerbarem Strom in Form von Methan, Erzeugung von netzkonformem SNG zur Nutzung bestehender Gasinfrastruktur [1–5].

**Herausforderungen:** stark exotherme Reaktion erfordert aufwendige Kühl- und Reaktorkonzepte zur Vermeidung von Hotspots und Katalysatorschäden, hohe Drücke und Temperaturen sowie mehrere Prozessstufen erhöhen Komplexität sowie Investitions- und Betriebskosten [2–6].

### Wirtschaftliche und ökologische Aspekte

Wirtschaftlich wird die Methanisierung vor allem durch die Investitionen in die erforderlichen Anlagen geprägt, darunter Reaktoren, Wärmetauscher, Kompressoren und Gasreinigungsstufen [2,3,6]. Einen noch größeren Einfluss auf die Gesamtkosten hat jedoch in der Regel der für die Methanisierung benötigte Wasserstoff. Ökologisch betrachtet hängt das Treibhausgas-Reduktionspotenzial stark vom Strommix zur Wasserstofferzeugung und von der Herkunft des eingesetzten CO<sub>2</sub> ab. Wird erneuerbarer Strom für die Elektrolyse genutzt kann SNG gegenüber fossilem Erdgas deutliche Klimavorteile erzielen [1].

**Anwendungsfelder:** SNG kann als Substitut für fossiles Erdgas im Bereich der energetischen Nutzung als Kraft- und Brennstoff zur Erzeugung von Strom und Wärme oder Mobilität sowie im Bereich der stofflichen Nutzung beispielsweise als Ausgangsstoff für chemische Produkte genutzt werden. SNG kann in bestehenden Erdgasspeichern gespeichert und als saisonaler Energiespeicher genutzt werden [5].

### ZEUS Pilotanlage

**Projektstandort:** voestalpine

**Technologie:** Direkte Umwandlung von realem CO<sub>2</sub> und grünem H<sub>2</sub> zu synthetischem Methan (SNG)

**Anlagenmaßstab:** Up-Scale auf 80–100 kW

**Produktionsleistung:** ca. 8–10 Nm<sup>3</sup>/h SNG

**Dynamischer Betrieb:** lastflexibel im Minuten–Stunden-Bereich

**Reaktorkonzept:** Rohrbündelreaktoren mit Wabenkatalysatoren (AlOx, Ni-Beladung)



### Charakteristische Daten Methanisierung

Parameter	Typischer Wert	Anmerkung	Quelle
Katalysator	Nickel (Standard) Trägermaterial: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alternativen: Ruthenium, Rhodium, Palladium Beispiel: 25 m% NiO / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Austausch ~ 3 Jahre	[2–5]
Reaktortypen	Festbettreaktor	Adiabat oder polytrop betrieben	[2,3,5]
TRL	7–8	-	[5]
Betriebstemperatur	typ. 300–550 °C	Temperatur abhängig vom Katalysator.	[5]
CH <sub>4</sub> -Gehalt Produktgas	> 99 Vol.-% (trocken)	Je nach Konfiguration, Mehrstufen möglich	[2,5]
Methanisierungswirkungsgrad	~ 83 %	Restliche 17 % werden als Wärme frei	[2]
Betriebsdruck	3–20 bar	-	[3,6]
Wärmefreisetzung	exotherm: ΔH ca. -165 kJ/mol CH <sub>4</sub>	Kühlung notwendig; Wärmerückgewinnung	[2,6]

### Quellen:

- [1] Gerloff N. Comparative Life-Cycle Assessment Analysis of Power-to-Methane Plants Including Different Water Electrolysis Technologies and CO<sub>2</sub> Sources While Applying Various Energy Scenarios. ACS Sustainable Chem Eng 2021;9:10123–41. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c02002>.
- [2] Goffart De Roeck F, Buchmayr A, Gripekoven J, Mertens J, Dewulf J. Comparative life cycle assessment of power-to-methane pathways: Process simulation of biological and catalytic biogas methanation. Journal of Cleaner Production 2022;380:135033. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135033>.
- [3] Tommasi M, Degerli SN, Ramis G, Rossetti I. Advancements in CO<sub>2</sub> methanation: A comprehensive review of catalysis, reactor design and process optimization. Chemical Engineering Research and Design 2024;201:457–82. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.11.060>.
- [4] Memon M, Jiang Y, Hassan M, Ajmal M, Wang H, Liu Y. Heterogeneous Catalysts for Carbon Dioxide Methanation: A View on Catalytic Performance. Catalysts 2023;13:1514. <https://doi.org/10.3390/catal13121514>.
- [5] Nieß S, Dietrich S, Klemm M, Etzold H, Oehmichen K. Methanisierung : Bereitstellung von erneuerbarem Methan aus Biogas und Wasserstoff: Fokusheft im Projekt Pilot-SBG 2023:41 Seiten. <https://doi.org/10.48480/RM3G-EJ31>.
- [6] Choe C, Lee B, Kim A, Cheon S, Lim H. Comprehensive assessment of CO<sub>2</sub> methanation: which H<sub>2</sub> production pathway is practicable for green methane production in terms of technical, economic, and environmental aspects? Green Chem 2021;23:9502–14. <https://doi.org/10.1039/D1GC02755G>.