# Die Zukunft strombasierter Brennstoffe: Verwendung, Kosten, Nachhaltigkeit

## Schlussfolgerungen aus Sicht von Agora Verkehrswende und Agora Energiewende

Matthias Deutsch, Agora Energiewende

Berliner Energietage, Berlin

08.05.2018

# Agora Energiewende – Wer wir sind

Think Tank mit etwa 30 Mitarbeitern

unabhängig und überparteilich

Projektdauer 2012 - 2021
Gesellschafter und Haupt-Finanziers: Stiftung Mercator & European Climate Foundation

Aufgabe: Die Energiewende in Deutschland und weltweit zur Erfolgsgeschichte machen

Methoden:
Analysen, Studien, Expertenaustausch, Dialog der Entscheidungsträger, Rat der Agora

# Strombasierte synthetische Brennstoffe: Power-to-Gas und Power-to-Liquid

Agora Verkehrswende (2018), angepasst

# Hintergrund: Studie zu den zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe

**Auftraggeber:** Agora Verkehrswende und Agora Energiewende

**Auftragnehmer:** Frontier Economics

**Übergeordnete Fragen:**

- Wie könnten sich die **Kosten des Imports** synthetischer Brennstoffe – d.h. Methan und Flüssigkraftstoffe – bis 2050 entwickeln? (exemplarische Untersuchung für Nordafrika, Nahem Osten und Island)
- Was wären die Kosten einer Erzeugung dieser Brennstoffe mit Offshore-Windkraftanlagen in der **Nord- und Ostsee**?

**Methodischer Ansatz:**

- Kostenabschätzung entlang der Wertschöpfungskette: Stromerzeugung, Umwandlung, Transport, Beimischung/Verteilung
- Kostenbandbreiten aus der Literatur, Expertenworkshop
- $CO_2$-Neutralität durch Annahme von *Direct Air Capture*

**Download**:
Studie
PtG/PtL-Excel-Tool

1

## Synthetische Brennstoffe werden eine wichtige Rolle bei der Dekarbonisierung von Chemie, Industrie und Teilen des Verkehrs spielen.

# Fossiles Öl und Gas sind heute von zentraler Bedeutung für Deutschland.

## Verwendung 2015 in TWh

## Energiemix 2017

eigene Darstellungen nach AGEB (2017)

# Wärmepumpen haben eine Hebelwirkung und nutzen den Erneuerbare-Energien-Strom besonders effizient.

Einzel- und Gesamtwirkungsgrade unterschiedlicher Heizungssysteme

→ **Wärmepumpe** bindet Umweltwärme aus Luft, Boden, Wasser ein und kann damit Werte von über 100% erreichen.

→ **Offene Frage:** Können die unstrittigen Nachteile der synthetischen Brennstoffe durch Einsparungen bei Infrastrukturkosten überkompensiert werden?

* Wirkungsgrade: 80 Prozent (Kompression/Transport) und 85 Prozent (Brennstoffzelle insgesamt, davon 45 Prozent Wärme, 40 Prozent Strom)
eigene Berechnung auf der Grundlage von acatech et al. (2017 a,b), Köppel (2015), FENES et al. (2015)

# PtG/PtL sollten vorrangig dort zum Einsatz kommen, wo Strom nicht direkt genutzt werden kann.

| Dekarbonisierungs-optionen | Prioritär direkte Stromnutzung* | Ergänzend synthetische Brennstoffe** | |
|---|---|---|---|
| | | Wasserstoff*** | $CO_2$-basiertes PtG und PtL |
| **Verkehr** | Züge und Bahnen, Busse und Lkw auf kürzeren Strecken, Oberleitungs-Lkw und -Reisebusse auf längeren Strecken, Pkw, Zweiräder, Binnenschiffe (je nach Verwendungszweck) | Fernverkehrs-Lkw und -Busse abseits von Oberleitungen, Binnenschiffe (je nach Verwendungszweck) | Luft- und Seeschiffsverkehr, Fernverkehrs-Lkw und Busse abseits von Oberleitungen, Binnenschiffe (je nach Verwendungszweck) |
| **Wärme** | Niedertemperaturwärme mit Wärmepumpen in hinreichend gedämmten Gebäuden und in der Industrie | Brennstoffzellen-KWK in Bestandsgebäuden mit erheblichen Dämmrestriktionen | Bestandsgebäude mit erheblichen Dämmrestriktionen und Hybridheizungen mit unterstützendem Kessel |
| | Hochtemperaturprozesswärme mit direkt-elektrischen Verfahren (Widerstandsheizung, Plasma etc.) | Hochtemperaturprozesswärme für schwer elektrifizierbare Anwendungen | Hochtemperaturprozesswärme für schwer elektrifizierbare Anwendungen |

→ **Gebäudewärme** sollte prioritär direkt mit Erneuerbaren erzeugt werden (v.a. Tiefengeothermie, Solarthermie) sowie mit Wärmepumpen für hinreichend gedämmte Gebäude – wo sinnvoll in Verbindung mit Wärmenetzen

→ **Ergänzend bei Dämmrestriktionen:** Brennstoffzellen-KWK mit Wasserstoff und $CO_2$-basiertes PtG/PtL

→ **Hochtemperatur-Prozesswärme** auch prioritär direktelektrisch, ergänzend mit PtG/PtL

Eigene Zusammenstellung; * oder z.T. direkte EE-Nutzung wie Solarthermie; ** oder z.T. direkte EE-Nutzung wie Biomasse; *** in der Regel zur Verwendung in Brennstoffzellen

# PtG/PtL sollten vorrangig dort zum Einsatz kommen, wo Strom nicht direkt genutzt werden kann.

| Dekarboni-sierungs-optionen | Prioritär direkte Stromnutzung* | Ergänzend synthetische Brennstoffe** | |
|---|---|---|---|
| | | Wasserstoff*** | $CO_2$-basiertes PtG und PtL |
| **Industrie** | | Ammoniakherstellung; Direktreduktion von Eisenerz in der Stahlherstellung | Kohlenstoffquelle für organische chemische Grundstoffe |
| **Strom** | Kurzzeitspeicherung | Langzeitspeicherung und Rückverstromung in Gasturbinen und Wasserstoffverbrennungsmotoren | Langzeitspeicherung und Rückverstromung in Gasturbinen |
| **Gewerbe, Handel, Dienstleistungen** | stationäre und zum Teil mobile Kraftanwendungen in Bau, Landwirtschaft, Logistik | mobile Kraftanwendungen in Bau, Landwirtschaft, Logistik, Militär | mobile Kraftanwendungen in Bau, Landwirtschaft, Logistik, Militär |

→ **Industrie:** PtG/PtL als Kohlenstoffquelle für organische Grundstoffe

→ **Strom**: $CO_2$-basiertes PtG zur Langzeitspeicherung und Rückverstromung in Gasturbinen für Zeiten geringer Stromerzeugung aus Wind und Sonne („Dunkelflauten“)

Eigene Zusammenstellung; * oder z.T. direkte EE-Nutzung wie Solarthermie; ** oder z.T. direkte EE-Nutzung wie Biomasse; *** in der Regel zur Verwendung in Brennstoffzellen

2

***Power-to-Gas*- und *Power-to-Liquid*-Anlagen brauchen für einen wirtschaftlichen Betrieb günstigen Erneuerbaren-Strom und hohe Volllaststunden. Sie können daher nicht mit Überschuss-strom betrieben werden.**

# *Power-to-Gas/Liquid*-Anlagen brauchen hohe Volllaststunden und günstigen Erneuerbaren-Strom.

Anzahl der Stunden pro Jahr

- → **Anlagen-Auslastung** von mind. 3.000-4.000 Std./Jahr nötig wegen hoher Invest.-Kosten
- → **„Überschussstrom “** mit < 2.000 Std./Jahr zu günstigen Preisen reicht nicht aus
- → **Zusätzliche Erneuer-baren-Anlagen** nötig für PtG-/PtL-Betrieb: Offshore, PV & Onshore ~ 4.000 Std./Jahr
- → **Vollkosten** der Erneuerbaren-Anlagen relevant

Eigene Darstellung auf der Grundlage von acatech et al. (2015), ecofys/IWES (2014), Frontier Economics (2018)

3

**Synthetisches Methan und Öl kosten anfänglich in Europa etwa 20 bis 30 Cent pro Kilowattstunde. Die Kosten können bis 2050 auf etwa 10 Cent je Kilowattstunde sinken, wenn die global installierte *Power-to-Gas-/Power-to-Liquid*-Kapazität auf etwa 100 Gigawatt steigt.**

# Synthetisches Methan und Öl können von anfänglich 20-30 ct/kWh auf etwa 10 ct/kWh in 2050 fallen.

Kosten von PtG-Methan und Flüssigkraftstoffen in $ct_{2017}$/kWh *

- → **Voraussetzung**: Elektrolyseurs-Zubau auf 100 GW weltweit.
- → **Importe günstiger**
- → Weitere **Kostensenkungen** durch PV, Batterien, sehr große Anlagen
- → **Kostenerhöhung**: Kapitalkosten (Länderrisiken) könnten langfristig das Verhältnis von Nord/Ostsee zu Importen umdrehen
- → **Preise:** Lizenzgebühren, PtG/PtL-Weltmarktpreise

* ohne Netzentgelte und Vertriebskosten; eigene Berechnungen auf Basis von Frontier Economics (2018) mit Kapitalkosten von 6 % und CO2 aus *Direct Air Capture*

# Die avisierten Kostensenkungen erfordern erhebliche und kontinuierliche Investitionen in Elektrolyseure.

Installierte Leistung an PtG-/PtL-Elektrolyseuren in Szenarien für Deutschland in GW

- → **Skalen- und Lerneffekte** sind zentral für Kostensenkung, aber unsicher (Bsp. $CO_2$ aus der Luft)
- → Internationale **100-Gigawatt-**Herausforderung
- → Die Investitionen sind ohne **politische Intervention** oder hohe $CO_2$-Bepreisung nicht zu erwarten aufgrund der hohen PtG/PtL-Kosten

Eigene Darstellung auf Basis von Frontier Economics (2018) u.a.

# Die Wasserstoffproduktion ist günstiger, erfordert aber eine Anpassung von Infrastruktur und Geräten.

Kosten der Methan- und Wasserstoffherstellung in ct/kWh

- → Eine **Wasserstoff-Beimischung** zu Erdgas ist in heute in geringem Maße möglich.
- → **Kostenintensive Umrüstungen** sind erwartbar bei mehr als 15% Wasserstoff-Anteil am Erdgas
- → **Lokale Infrastrukturen** nur für Wasserstoff wären denkbar
- → **Wasserstoff-Vorteil:** keine Unsicherheiten mit $CO_2$-Abscheidung aus der Luft
- → **Wasserstoff-Nachteil**: keine einfache Weiternutzung der existierenden Infrastruktur

Herstellung mit Photovoltaik in Nordafrika ohne Kosten des Transports nach Deutschland; eigene Berechnung basierend auf Frontier Economics (2018)

4

**Wir brauchen einen Öl- und Gaskonsens, der den Ausstieg aus den Fossilen festlegt, effiziente Substitution priorisiert und über verpflichtende Nachhaltigkeitsregeln sowie Anreizinstrumente den Einstieg in synthetische Brennstoffe ermöglicht.**

# Bausteine für einen Öl- und Gaskonsens

**Klimaschutz-ziele**

## Vereinbarungen für einen Öl- und Gaskonsens

*zwischen Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft*

**Ausstiegspfad für fossiles Öl und Gas**

*schrittweise Verringerung von Gesamtmenge bzw. -emissionen*

**Priorität für effiziente Substitution**

*beispielsweise mit Elektromobilität oder Wärmepumpen*

**Einstiegspfad in PtG/PtL**

*auf der Basis von Nachhaltigkeits-standards* für PtG/PtL und mit anwendungs-spezifischen Zielen*

* (1.) Treibhausgasreduktion um mind. 70 % ggü. fossilen Referenzkraftstoffen; (2.) Zusätzlichkeit der EE-Stromerzeugung; (3.) $CO_2$ aus der Luft oder nachhaltigen biogenen Quellen; (4.) Nachhaltige Nutzung von Wasser und Landflächen; (5.) Sozialverträglichkeit der Brennstoffproduktion

Nachhaltigkeitsstandards sind auch für die Rohstoffgewinnung für Batterien und deren Produktion festzulegen

# Die Schlussfolgerungen im Überblick

| | |
|---|---|
| 1 | **Synthetische Brennstoffe werden eine wichtige Rolle bei der Dekarbonisierung von Chemie, Industrie und Teilen des Verkehrs spielen.** |
| 2 | ***Power-to-Gas*- und *Power-to-Liquid*-Anlagen brauchen für einen wirtschaftlichen Betrieb günstigen Erneuerbaren-Strom und hohe Volllaststunden. Sie können daher nicht mit Überschussstrom betrieben werden.** |
| 3 | **Synthetisches Methan und Öl kosten anfänglich in Europa etwa 20 bis 30 Cent pro Kilowattstunde. Die Kosten können bis 2050 auf etwa 10 Cent je Kilowattstunde sinken, wenn die global installierte *Power-to-Gas-/Power-to-Liquid*-Kapazität auf etwa 100 Gigawatt steigt.** |
| 4 | **Wir brauchen einen Öl- und Gaskonsens, der den Ausstieg aus den Fossilen festlegt, effiziente Substitution priorisiert und über verpflichtende Nachhaltigkeitsregeln sowie Anreizinstrumente den Einstieg in synthetische Brennstoffe ermöglicht.** |

# Kontakt


Matthias Deutsch

matthias.deutsch@agora-energiewende.de Ma_Deutsch

Anna-Louisa-Karsch Str. 2 | D-10178 Berlin

**T** +49 30 700 1435-000 | **F** +49 30 700 1435-129

**M** info@agora-verkehrswende.de | info@agora-energiewende.de



Agora Verkehrswende und Agora Energiewende sind gemeinsame Initiativen der Stiftung Mercator und der European Climate Foundation.

# Backup

# Für die Produktion von strombasierten Brennstoffen müssen Nachhaltigkeitsstandards entwickelt werden.

| | |
|---|---|
| **Mindest-Treibhausgasreduktion** | Synthetische Brennstoffe müssen unter Berücksichtigung der gesamten Vorkette mindestens 70 Prozent Treibhausgaseinsparung gegenüber fossilen Referenzkraftstoffen erzielen. |
| **Zusätzlichkeit der EE-Stromerzeugung** | Der Strom für den gesamten Produktionsprozess (inklusive Wasseraufbereitung etc.) muss aus zusätzlichen Erneuerbare-Energien-Anlagen stammen. Ist dies nicht gewährleistet, müssen die Emissionen des jeweiligen Strommixes bilanziert werden. |
| **$CO_2$ aus nachhaltigen atmosphärischen Quellen** | Nur $CO_2$-Gewinnung aus der Luft oder nachhaltigen biogenen Quellen schafft Klimaneutralität im Sinne eines geschlossenen $CO_2$-Kreislaufes. Ist dies nicht gewährleistet, sind die vollen $CO_2$-Emissionen anzurechnen. |
| **Nachhaltige Nutzung von Wasser und Landflächen** | Die Bereitstellung von Wasser für die Elektrolyse darf keine negativen Auswirkungen auf die bestehende Wasserversorgung haben.<br>Naturschutzflächen oder andere schützenswerte Flächen (beispielsweise mit einer hohen Biodiversität) dürfen nicht als Produktionsstandorte verwendet werden. |
| **Sozialverträglichkeit der Brennstoffproduktion** | Die Brennstoffherstellung darf sich nicht negativ auf die Bevölkerung auswirken. Bei der Produktion in Entwicklungsländern muss ein Teil der Gewinne in eine nachhaltige Entwicklung vor Ort fließen. |

# Bei Pkw ist Elektromobilität der Maßstab hinsichtlich einer effizienten Energienutzung.

Einzel- und Gesamtwirkungsgrade von Pkw mit unterschiedlichen Antrieben

→ Für die gleiche Fahrstrecke benötigt das Auto mit **Verbrennungsmotor** und PtL also etwa **fünfmal** so viel erneuerbaren Strom wie das batteriebetriebene Elektroauto.

→ Ein **Brennstoffzellen-Pkw** benötigt etwa **zweieinhalb-mal** so viel Strom.

eigene Berechnung auf der Grundlage von acatech et al. (2017a), Abbildung 5

# PtG/PtL sollten vorrangig dort zum Einsatz kommen, wo Strom nicht direkt genutzt werden kann.

| Dekarbonisierungs-optionen | Prioritär direkte Stromnutzung* | Ergänzend synthetische Brennstoffe** | |
|---|---|---|---|
| | | Wasserstoff*** | $CO_2$-basiertes PtG und PtL |
| **Verkehr** | Züge und Bahnen, Busse und Lkw auf kürzeren Strecken, Oberleitungs-Lkw und -Reisebusse auf längeren Strecken, Pkw, Zweiräder, Binnenschiffe (je nach Verwendungszweck) | Fernverkehrs-Lkw und -Busse abseits von Oberleitungen, Binnenschiffe (je nach Verwendungszweck) | Luft- und Seeschiffsverkehr, Fernverkehrs-Lkw und Busse abseits von Oberleitungen, Binnenschiffe (je nach Verwendungszweck) |
| **Wärme** | Niedertemperaturwärme mit Wärmepumpen in hinreichend gedämmten Gebäuden und in der Industrie | Brennstoffzellen-KWK in Bestandsgebäuden mit erheblichen Dämmrestriktionen | Bestandsgebäude mit erheblichen Dämmrestriktionen und Hybridheizungen mit unterstützendem Kessel |
| | Hochtemperaturprozesswärme mit direkt-elektrischen Verfahren (Widerstandsheizung, Plasma etc.) | Hochtemperaturprozesswärme für schwer elektrifizierbare Anwendungen | Hochtemperaturprozesswärme für schwer elektrifizierbare Anwendungen |

- → Der **Straßenverkehr** ist prioritär direktelektrisch zu betreiben.
- → **Fernverkehrs-Lkw und -Busse** werden möglicherweise PtG/PtL nutzen.
- → **Wasserstoff** ist effizienter als $CO_2$-basiertes PtG/PtL und deshalb zu priorisieren.
- → PtG/PtL werden unbestritten im **Luft- und Seeverkehr** zum Einsatz kommen.

Eigene Zusammenstellung; * oder z.T. direkte EE-Nutzung wie Solarthermie; ** oder z.T. direkte EE-Nutzung wie Biomasse; *** in der Regel zur Verwendung in Brennstoffzellen

# Das interaktive PtG/PtL-Berechnungstool kann auf unseren Webseiten heruntergeladen werden.

A28

## Kostenelemente synthetisches Methan und Gesamtkosten nach verschiedenen Beimischungsverhältnissen

### Zugrundeliegende Kriterien - Auswahl im Control Panel

| | |
|---|---|
| Szenarioauswahl | Referenz |
| Ursprungsland | Nordafrika |
| Quelle der Erneuerbaren Energie | PV |
| Zinssatz | 6% |
| Methode der $CO_2$ Gewinnung | Direct Air Capture - TSA |
| Technologie der Wasserstoffelektrolyse | Niedrigtemperatur |
| Steuern und Abgaben | Voreinstellung: Keine Abgaben/Steuern. Kann in "4. Abgaben,Umlagen" verändert werden. |
| Netzanbindungskosten Nord- und Ostsee Wind Offshore | Voreinstellung: Inklusive. Kann in "Stromgestehungskosten" verändert werden. |

### Zugrundeliegende Kriterien - Auswahl in "Wasserstoffelektrolyse"

| | | |
|---|---|---|
| Technologie der Elektrolyse | Niedrigtemperatur | |
| Investitionskosten (2016/17) | 1/kW el | |
| - Niedrigtemperatur | 800 | |
| - Hochtemperatur | 1000 | |
| | Niedrigtemperatur | Hochtemperatur |
| Relative Kostensenkung über 5 Jahre | 8% | 7% |

### Zugrundeliegende Kriterien - Auswahl in "PtG"

| | |
|---|---|
| Erwartete Benutzungsstunden pro Jahr | 8000 |
| Relative Kostensenkung über 5 Jahre | 6,5% |

Grafiken 2 und 3 über verschiedene Zeiträume dargestellt.

## Tabelle zur Grafik 1 – Kostenelemente synthetisches Methan – per Land und EE

| Referenz: Nordafrika-PV | | 2016/17 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stromkosten Wasserstoffelektrolyse | ct/kWh(Methan) | 7.968 | 6.385 | 5.452 | 4.737 | 4.079 | 3.589 | 3.195 | 2.833 |
| Umwandlung Wasserstoffelektrolyse | ct/kWh(Methan) | 7.104 | 6.334 | 5.653 | 5.050 | 4.516 | 4.041 | 3.620 | 3.244 |
| Umwandlung in Methan (inkl. H2 Speicher) | ct/kWh(Methan) | 4.420 | 4.240 | 4.092 | 3.199 | 3.095 | 3.009 | 2.930 | 2.158 |
| Transport | ct/kWh(Methan) | 0.955 | 0.955 | 0.949 | 0.940 | 0.940 | 0.909 | 0.909 | 0.879 |
| Steuern und Abgaben | ct/kWh(Methan) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Netzanbindung | ct/kWh(Methan) | 2.020 | 2.020 | 2.020 | 2.020 | 2.020 | 2.020 | 2.020 | 2.020 |
| **Gesamtkosten synthetischer Methan** | **ct/kWh(Methan)** | **22.476** | **19.934** | **18.165** | **15.946** | **14.649** | **13.569** | **12.681** | **12.134** |

## Tabelle zur Grafik 2 – Gesamtkosten Endprodukt (inkl. Transport, Steuern/Abgaben, Netzentgelte) nach verschiedenen Beimischungsverhältnissen – per Land und EE

| | 2016/17 | 2016/17 | 2016/17 | 2016/17 | 2016/17 | 2020 | 2020 | 2020 | 2020 | 2020 | 2025 | 2025 | 2025 | 2025 | 2025 | 2030 | 2030 | 2030 | 2030 | 2030 | 2035 | 2035 | 2035 | 2035 | 2035 | 2040 | 2040 | 2040 | 2040 | 2040 | 2045 | 2045 | 2045 | 2045 | 2045 | 2050 | 2050 | 2050 | 2050 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2016/17 | | | | | 2020 | | | | | 2025 | | | | | 2030 | | | | | 2035 | | | | | 2040 | | | | | 2045 | | | | | 2050 | | | | |
| Mischverhältnis | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Szenario: Optimistisch | 3.37 | 7.99 | 12.62 | 17.24 | 21.87 | 3.44 | 7.22 | 11.01 | 14.80 | 18.59 | 3.57 | 6.74 | 9.91 | 13.07 | 16.24 | 3.72 | 6.19 | 8.65 | 11.12 | 13.59 | 3.85 | 5.87 | 7.89 | 9.91 | 11.92 | 3.99 | 5.66 | 7.32 | 8.99 | 10.65 | 4.13 | 5.52 | 6.91 | 8.29 | 9.68 | 4.27 | 5.42 | 6.56 | 7.71 | 8.85 |
| Szenario: Referenz | 3.37 | 8.15 | 12.92 | 17.70 | 22.48 | 3.66 | 7.73 | 11.80 | 15.87 | 19.93 | 3.97 | 7.52 | 11.07 | 14.62 | 18.17 | 4.29 | 7.20 | 10.12 | 13.03 | 15.95 | 4.48 | 7.02 | 9.56 | 12.11 | 14.65 | 4.67 | 6.89 | 9.12 | 11.34 | 13.57 | 4.86 | 6.81 | 8.77 | 10.73 | 12.68 | 5.05 | 6.82 | 8.59 | 10.36 | 12.13 |
| Szenario: Pessimistisch | 3.37 | 8.41 | 13.46 | 18.50 | 23.54 | 3.89 | 8.25 | 12.62 | 16.98 | 21.35 | 4.37 | 8.27 | 12.17 | 16.06 | 19.96 | 4.86 | 8.17 | 11.47 | 14.78 | 18.09 | 5.10 | 8.12 | 11.14 | 14.16 | 17.17 | 5.34 | 8.09 | 10.84 | 13.59 | 16.34 | 5.59 | 8.10 | 10.60 | 13.11 | 15.62 | 5.83 | 8.09 | 10.36 | 12.62 | 14.89 |
| Optimistisch - Synthetisch | 21.869 | 21.869 | 21.869 | 21.869 | 21.869 | 18.586 | 18.586 | 18.586 | 18.586 | 18.586 | 16.239 | 16.239 | 16.239 | 16.239 | 16.239 | 13.594 | 13.594 | 13.594 | 13.594 | 13.594 | 11.925 | 11.925 | 11.925 | 11.925 | 11.925 | 10.649 | 10.649 | 10.649 | 10.649 | 10.649 | 9.679 | 9.679 | 9.679 | 9.679 | 9.679 | 8.853 | 8.853 | 8.853 | 8.853 | 8.853 |
| Optimistisch - Konventionell | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.44 | 3.44 | 3.44 | 3.44 | 3.44 | 3.57 | 3.57 | 3.57 | 3.57 | 3.57 | 3.72 | 3.72 | 3.72 | 3.72 | 3.72 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.99 | 3.99 | 3.99 | 3.99 | 3.99 | 4.13 | 4.13 | 4.13 | 4.13 | 4.13 | 4.27 | 4.27 | 4.27 | 4.27 | 4.27 |
| Referenz - Synthetisch | 22.48 | 22.48 | 22.48 | 22.48 | 22.48 | 19.93 | 19.93 | 19.93 | 19.93 | 19.93 | 18.17 | 18.17 | 18.17 | 18.17 | 18.17 | 15.95 | 15.95 | 15.95 | 15.95 | 15.95 | 14.65 | 14.65 | 14.65 | 14.65 | 14.65 | 13.57 | 13.57 | 13.57 | 13.57 | 13.57 | 12.68 | 12.68 | 12.68 | 12.68 | 12.68 | 12.13 | 12.13 | 12.13 | 12.13 | 12.13 |
| Referenz - Konventionell | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.66 | 3.66 | 3.66 | 3.66 | 3.66 | 3.97 | 3.97 | 3.97 | 3.97 | 3.97 | 4.29 | 4.29 | 4.29 | 4.29 | 4.29 | 4.48 | 4.48 | 4.48 | 4.48 | 4.48 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 5.05 | 5.05 | 5.05 | 5.05 | 5.05 |
| Pessimistisch - Synthetisch | 23.54 | 23.54 | 23.54 | 23.54 | 23.54 | 21.35 | 21.35 | 21.35 | 21.35 | 21.35 | 19.96 | 19.96 | 19.96 | 19.96 | 19.96 | 18.09 | 18.09 | 18.09 | 18.09 | 18.09 | 17.17 | 17.17 | 17.17 | 17.17 | 17.17 | 16.34 | 16.34 | 16.34 | 16.34 | 16.34 | 15.62 | 15.62 | 15.62 | 15.62 | 15.62 | 14.89 | 14.89 | 14.89 | 14.89 | 14.89 |
| Pessimistisch - Konventionell | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.89 | 3.89 | 3.89 | 3.89 | 3.89 | 4.37 | 4.37 | 4.37 | 4.37 | 4.37 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 5.10 | 5.10 | 5.10 | 5.10 | 5.10 | 5.34 | 5.34 | 5.34 | 5.34 | 5.34 | 5.59 | 5.59 | 5.59 | 5.59 | 5.59 | 5.83 | 5.83 | 5.83 | 5.83 | 5.83 |

## Tabelle zur Grafik 3 – Kosten synthetisches Methan (inkl. Transport, exkl. Steuern/Abgaben, Netzentgelte) – alle Länder und EE