

# Ressourcenbedarf der CO<sub>2</sub>-Nutzung: Ökobilanzierung und Life-Cycle-Costing

CO<sub>2</sub>plus – Stoffliche Nutzung  
von CO<sub>2</sub> zur Verbreiterung der  
Rohstoffbasis

*1. Statuskonferenz*

17. April 2018  
Berlin

Prof. Stefan Bringezu

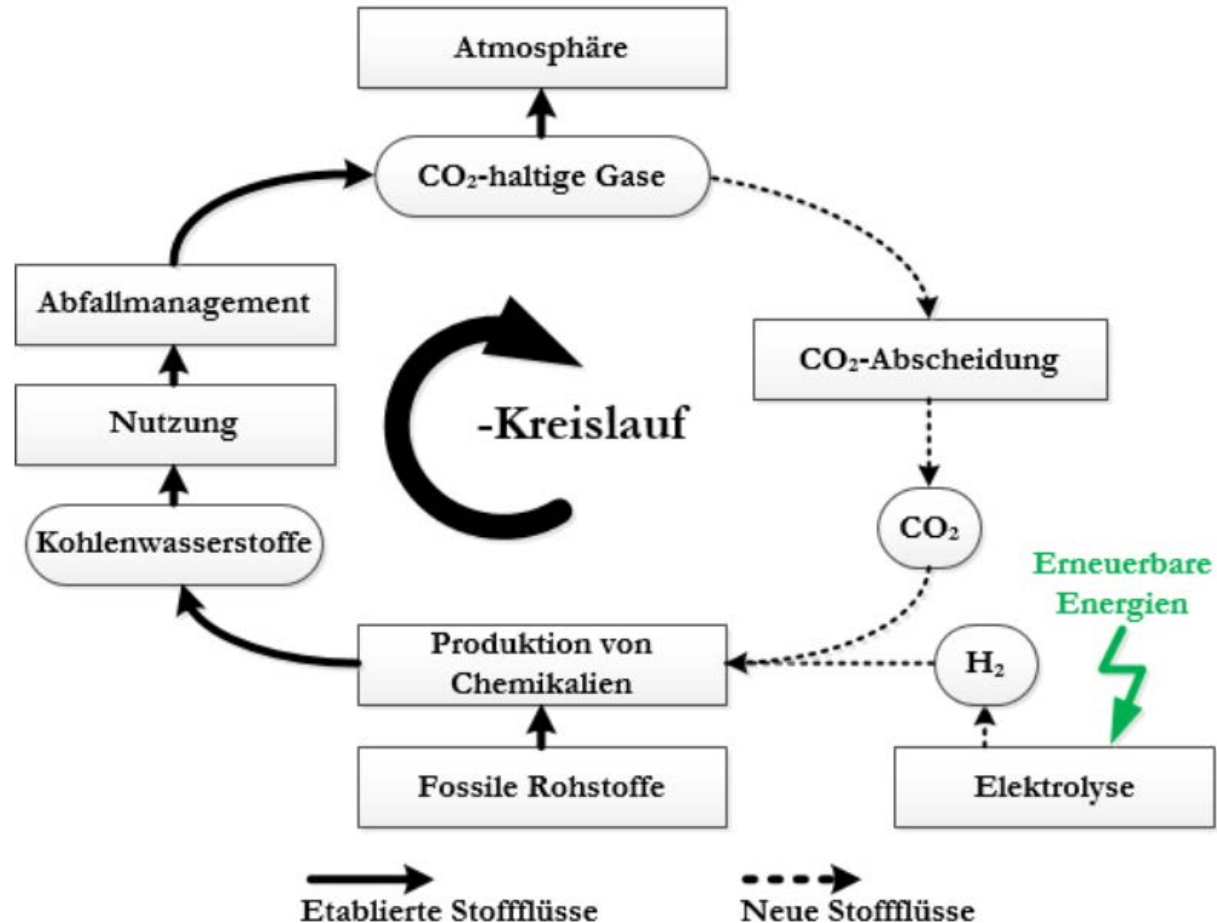
Sustainable Resource Futures  
Center for Environmental Systems Research  
Universität Kassel

Mitglied des International Resource Panel

# Übersicht

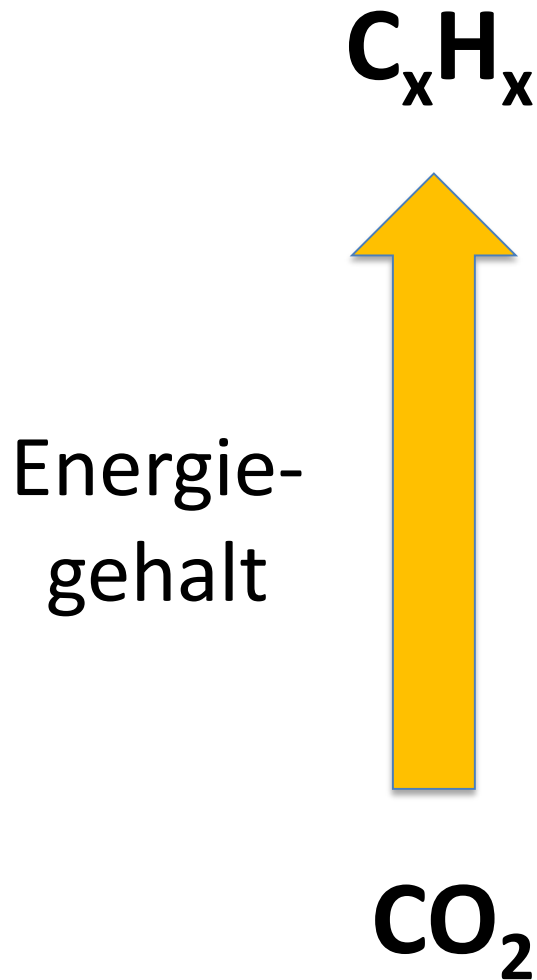
- CO<sub>2</sub> Nutzung und erneuerbare Energie
- Ökobilanz von CO<sub>2</sub>-basierten Chemikalien und Polymeren
- Erste ökonomisch-institutionelle Analyse

# Wiederverwendung von CO<sub>2</sub> als ein wichtiges Element des Kohlenstoff Recyclings



Quelle: Hoppe Bringezu (2016)

# CO<sub>2</sub> und Kohlenwasserstoffe – eine Herausforderung



CO<sub>2</sub> kann zur Kohlenwasserstoff-Produktion genutzt werden:

1. Indem energiereiche Verbindungen in der Produktionskette substituiert werden (verbesserte **Energieeffizienz**)  
z.B. Covestro's dream product
2. Mit **Energie Input** (Elektronen, Wasserstoff)  
z.B. durch Elektrolyse

# Genug CO<sub>2</sub> aber hoher Bedarf an erneuerbarer Energie

## Deutschland

- CO<sub>2</sub> aus relevanten Punktquellen: **274 Mt/a** (ohne Kohle: ca. 110 Mt/a)
- Mit 2.75 kg CO<sub>2</sub>/kg Methan und 1.37 kg CO<sub>2</sub>/kg Methanol:  
ca. **100 Mt** (40 Mt) Methan  
ca. **200 Mt** (80 Mt) Methanol
- Produktion von herkömmlichen Chemikalien (stoffliche Nutzung)  
ca. **360 kt** Methan  
ca. **560 kt** Methanol
- Substitution durch CCU erfordert:  
ca. 10 TWh (**4.7 % REN\***)  
ca. 6 TWh (**2.8% REN\***)

CO <sub>2</sub> -Quelle	Anzahl Anlagen	Menge an emittiertem CO <sub>2</sub> [Mt/a]	Konzentration von CO <sub>2</sub> im Rauchgas/Gemisch pro Gas/Luft [%]
Luft	-	-	0,0401 <sup>10</sup> (2015)
Biogas	8.726 (2014) <sup>1</sup>	75,55 (2014) <sup>1,5</sup>	25-60 <sup>11</sup>
Zementanlage	55 (2014) <sup>2</sup>	18,84 (2012) <sup>6</sup>	25 <sup>12</sup>
Braunkohle-kraftwerk	48 (2015) <sup>3</sup>	163 (2013) <sup>7</sup>	10-15 <sup>13</sup>
Müllverbrennungsanlage	73 (2012) <sup>4</sup>	16,51 (2009) <sup>8,9</sup>	10-15 <sup>13</sup>

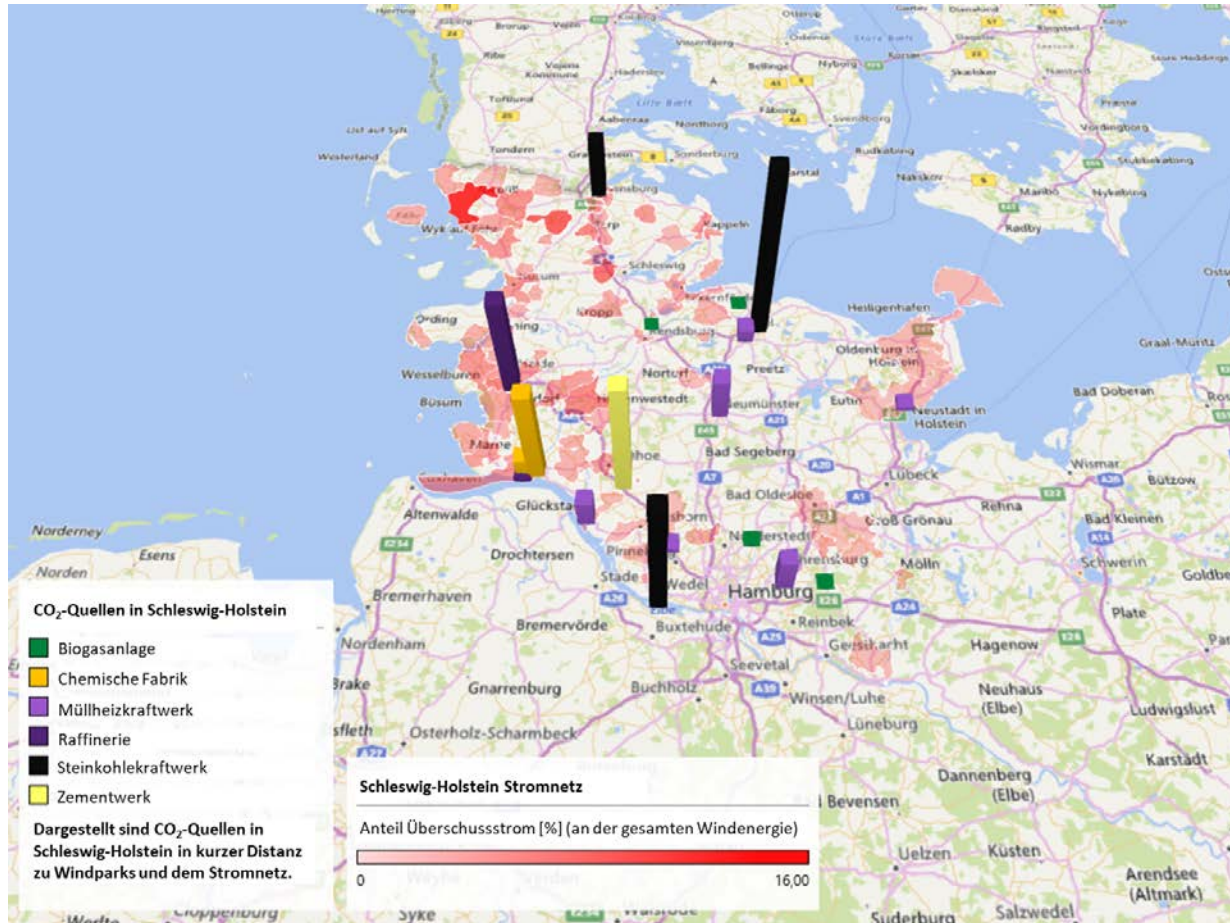
### Nach Hoppe et al. (2017)

1: German Biogas Association 2015; 2: VDZ e.V. 2015; 3: Statistik der Kohlenwirtschaft 2013; 4: BMUB 2012; 5: Götz et al. 2016 (yield of CO<sub>2</sub> per biogas plant); 6: VDZ 2013; 7: Icha 2015; 8: Urban 2007; 9: Spohn 2013; 10: ESRL 2016; 11: Bilitewski and Härdtle 2013; 12: IEA 2008; 13: Styring 2015

\* Erneuerbare Energie 2017: ~210 TWh/a <sup>1</sup>  
Überschussstrom (ca. 2.5%) würde nicht ausreichen, um große Mengen über CCU zu produzieren

1) [https://www.energy-charts.de/energy\\_pie.htm?year=2017](https://www.energy-charts.de/energy_pie.htm?year=2017)

# Lokale Netzwerke oder Vertragslösungen zur Kombination von CO<sub>2</sub> Punktquellen mit REN Strom



<https://pixabay.com/de/windkraftanlage-energie-windenergie-957438/>



Quelle: <http://www.energienachrichten.net/files/2013/07/Gasaufbereitungsanlage-mit-MT-Aminw%C3%A4sche-in-Werlte-Foto-AUDI-AG-642x336.jpg>

Die Karte von Schleswig-Holstein in Norddeutschland zeigt den verfügbaren Überschussstrom bei der Windenergieproduktion und CO<sub>2</sub>-Quellen mit Zugang zu Windparks. Die Daten wurden für (Hoppe 2018) gesammelt.

# Wenn REN Strom genutzt wird, wie sieht die Öko-Bilanz aus?

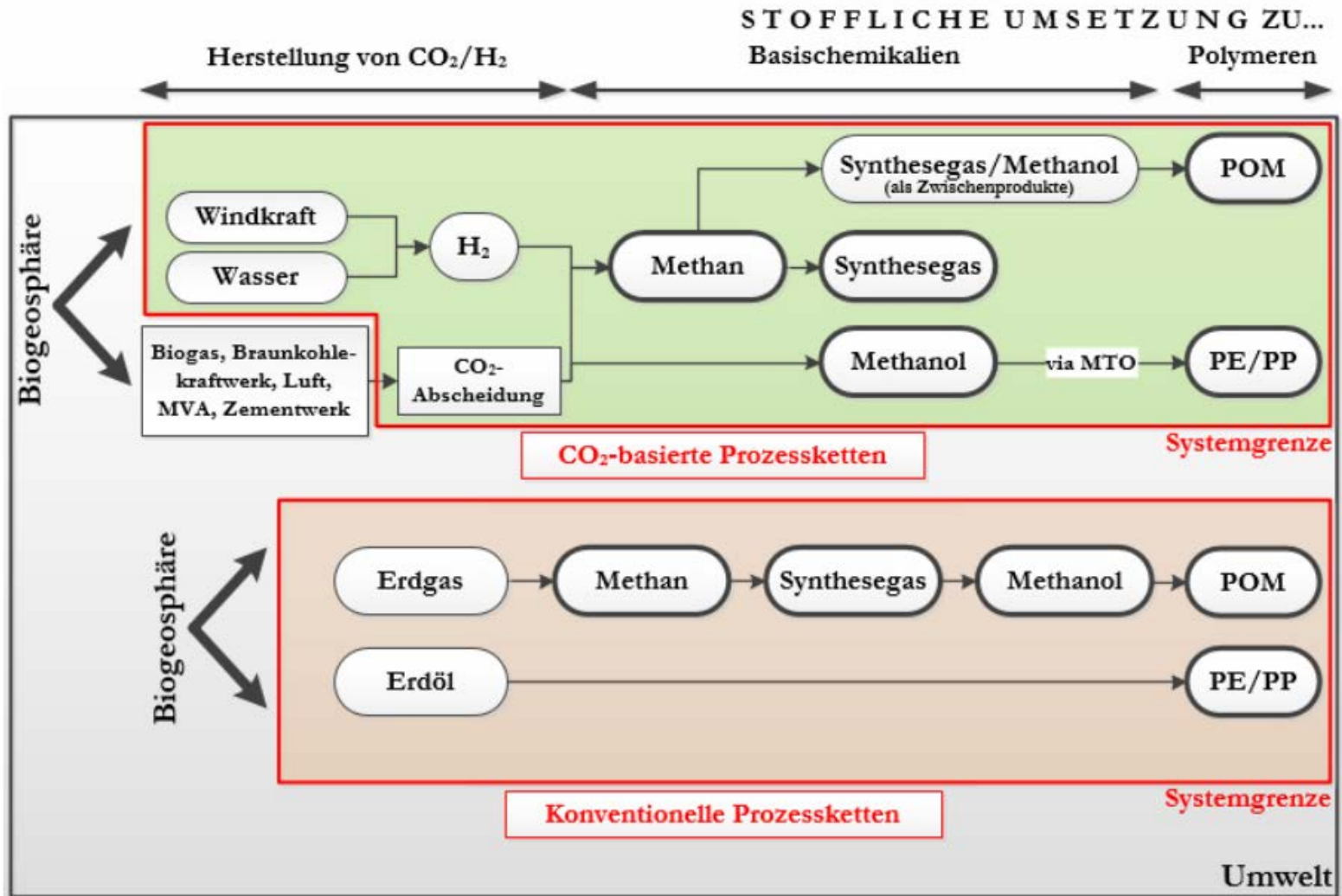
## Vergleich CO<sub>2</sub> basierter Produktionsprozess vs. konventioneller Prozess

- Unterschiedliche CO<sub>2</sub> Quellen (biogen, nicht biogen, Luft)
- Für die EU repräsentative Prozessrouten
- Indikatoren
  - Klimawirkung [kg CO<sub>2</sub> Äquivalente /kg Produkt]
  - Rohstoff-Einsatz [kg Rohstoff Äquivalente /kg Produkt]
  - Kumulierter Energiebedarf [MJ Energie Äquivalente /kg Produkt]
  - Wasserbedarf [kg Wasser /kg Produkt]



# Methode

## Systemgrenzen und Prozessketten



Quelle: (Hoppe 2018)



# Methoden

Instrumente, Daten, Annahmen

## Software und Datengrundlage

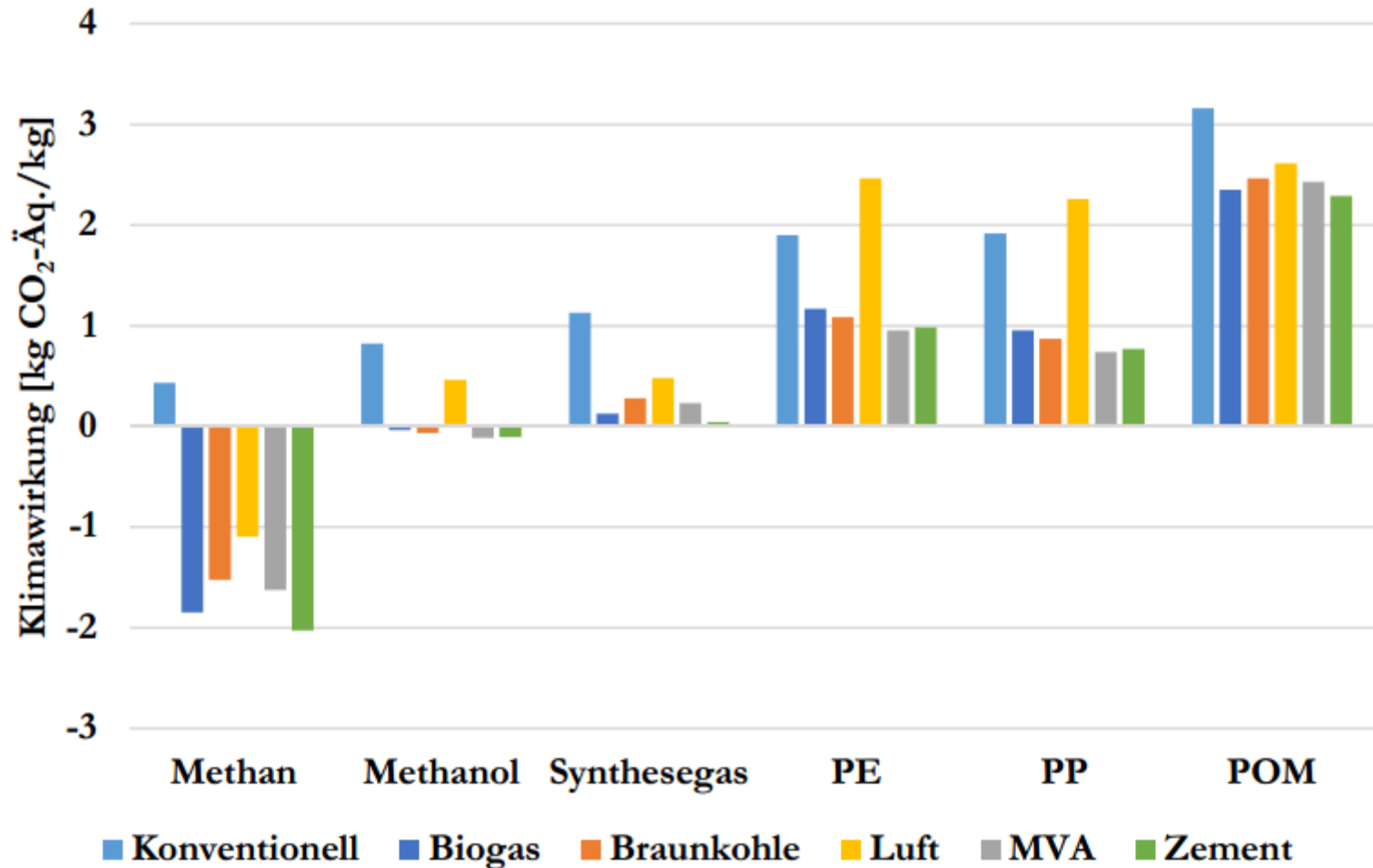
- Ökobilanzierungssoftware: OpenLCA 1.4.2
- Hauptdaten: Industrielle Prozesse und Prozesssimulationen
- Hintergrunddaten: ecoinvent 3.1

## Annahmen

- Cut-off-Ansatz
- Windenergie als Energiequelle für die Elektrolyse
- Deutschland als Referenz (Strommix, Gasmix,...)
- In der ersten Phase werden Transportprozesse nicht berücksichtigt
- Bezugseinheit: 1 kg jedes Produkts

# Ergebnisse

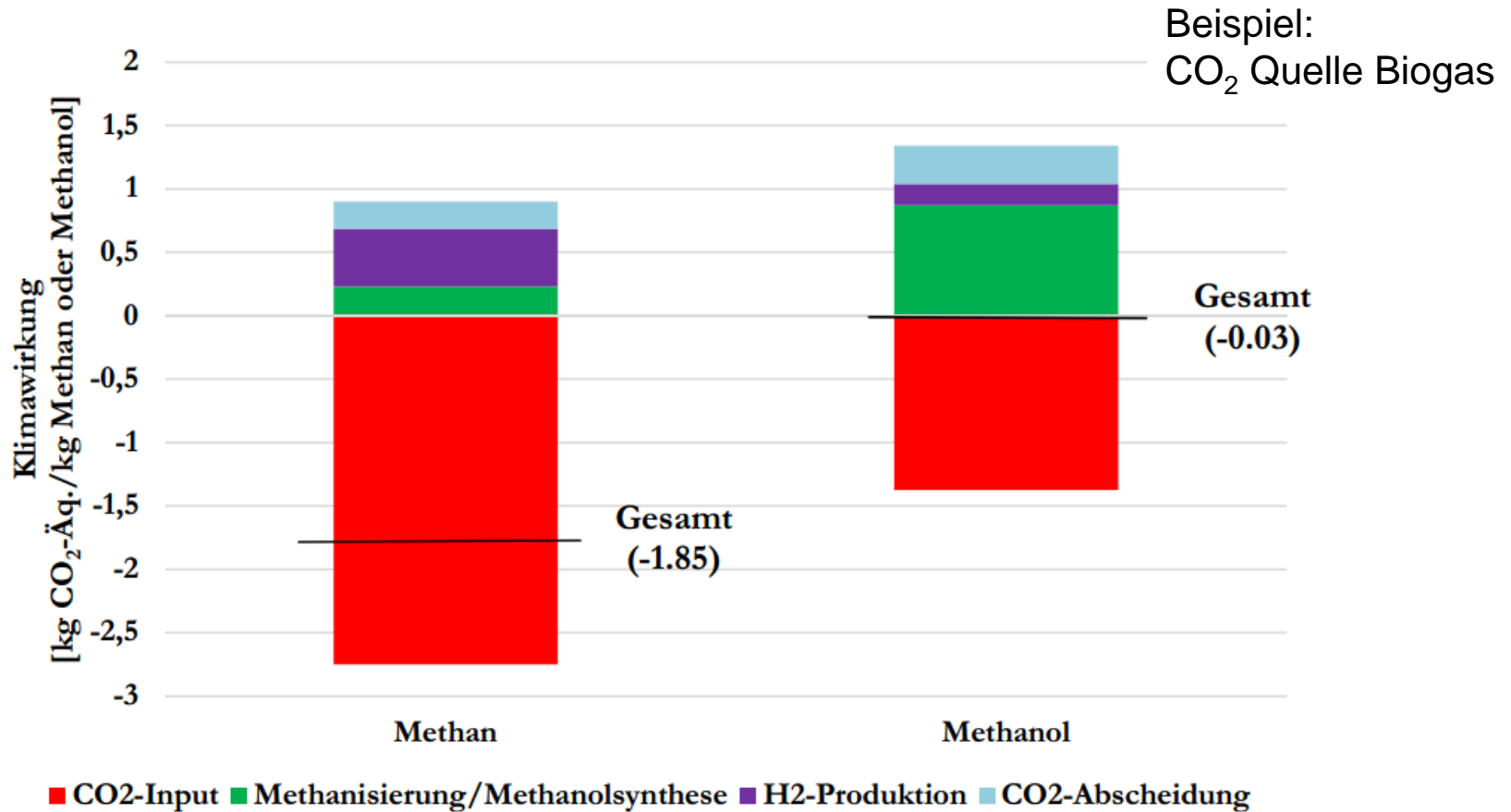
## Klimawirkung (Global Warming Impact)



Quelle: Hoppe (2018)

# Ergebnisse

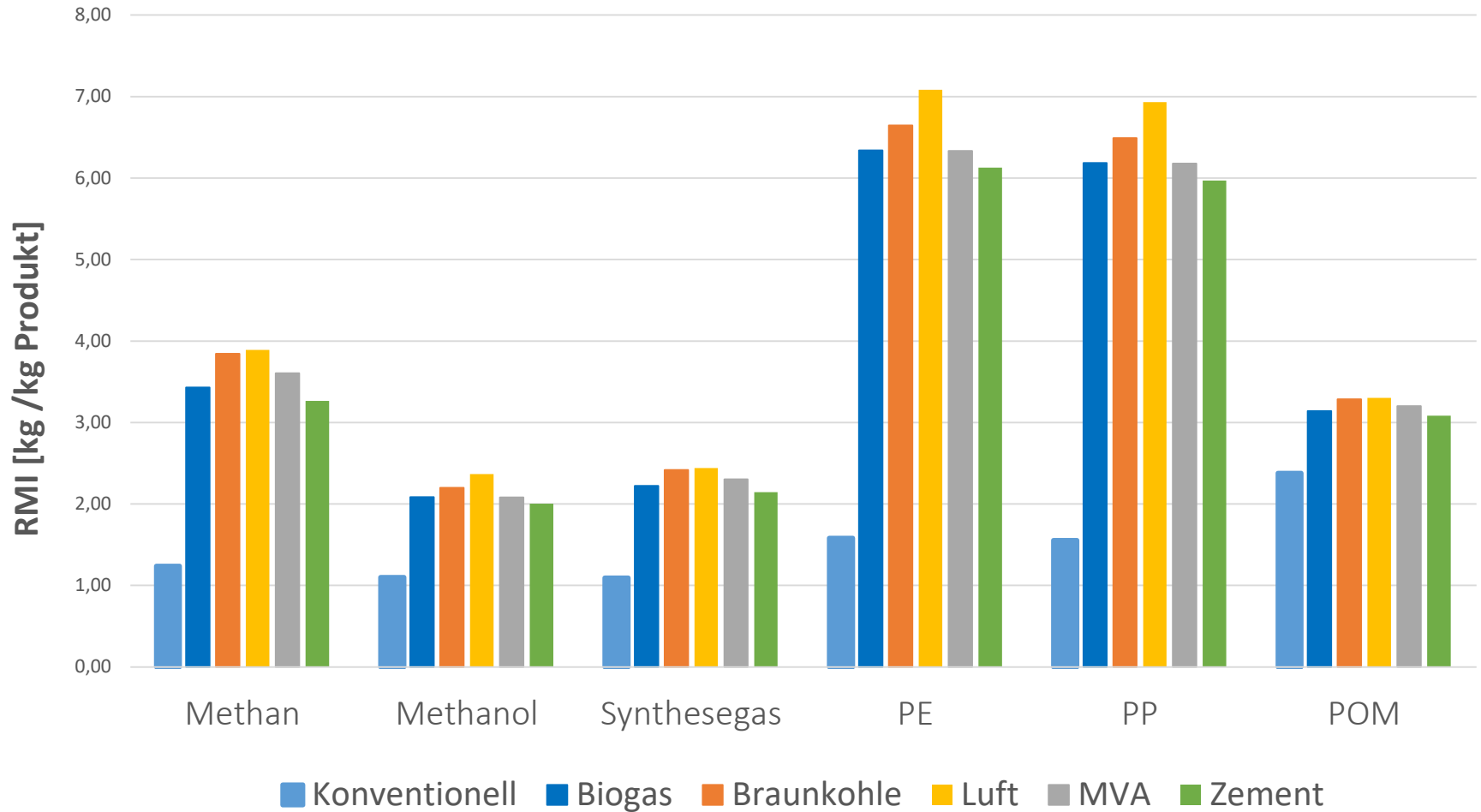
## Klimawirkung (GWI) – Relevante Prozesse



Quelle: Hoppe (2018)

# Ergebnisse

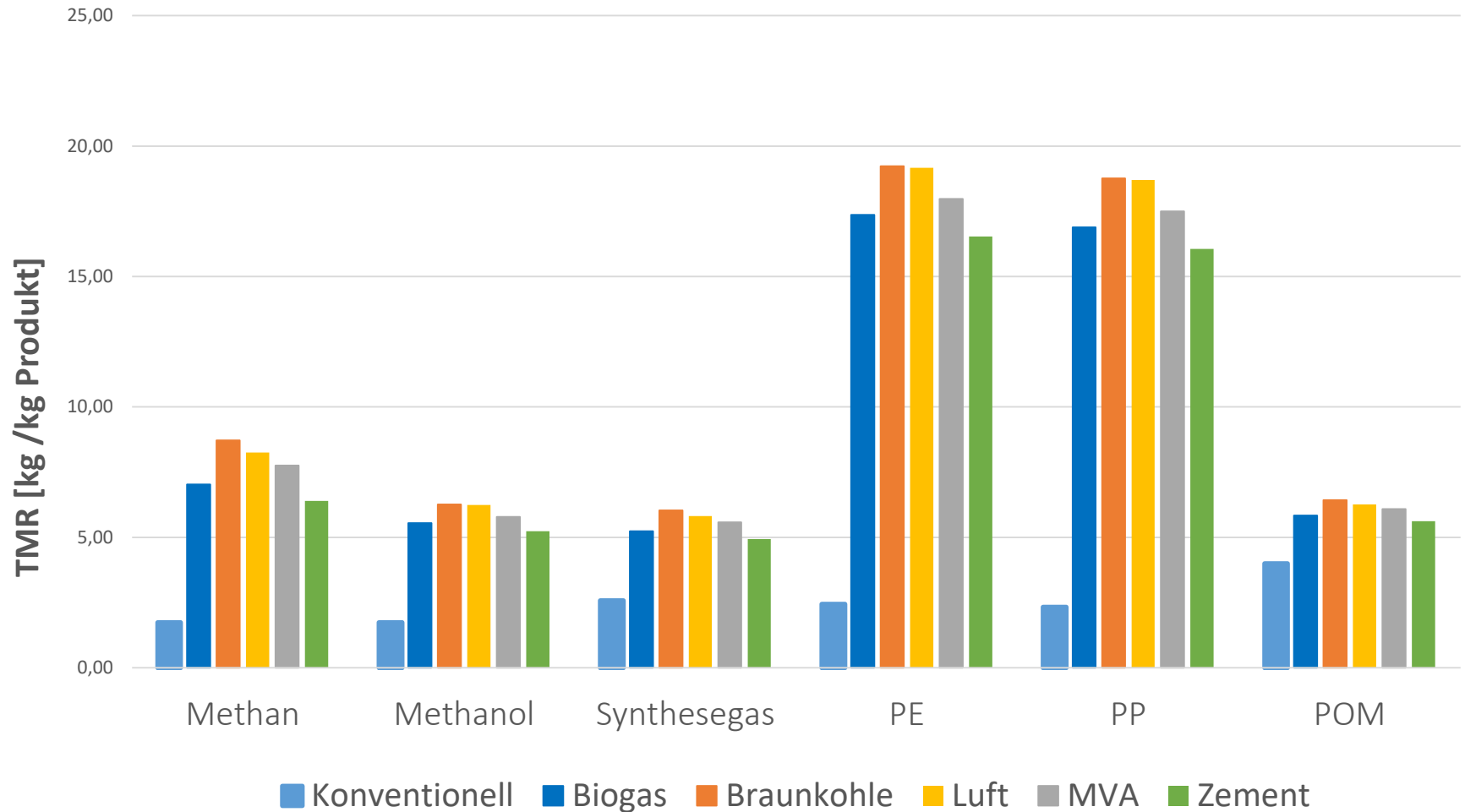
## Kumulierter Rohstoffaufwand (Raw Material Input)



Quelle: nach Hoppe (2018)

# Ergebnisse

## Primärmaterialaufwand (Total Material Requirement)



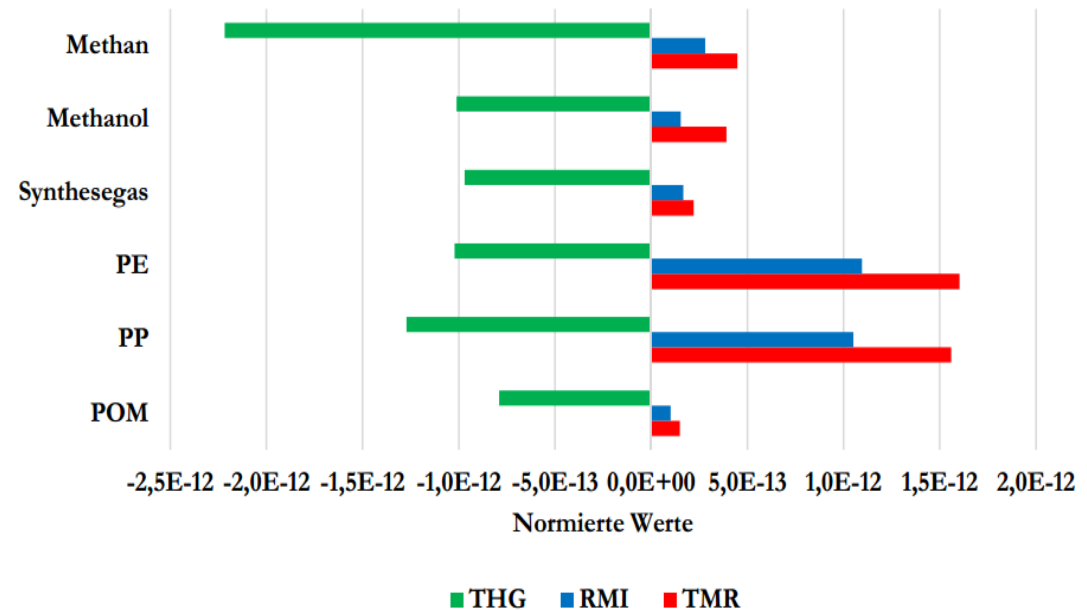
Quelle: nach Hoppe (2018)

# Bewertung des Zielkonflikts

## Normierung von Unterschieden durch deutsche Referenzwerte

- Die CO<sub>2</sub> Einsparungen sind relativ höher als der gestiegene Rohstoffbedarf für Methan, Methanol, synthetisches Gas und POM
- Die betrachteten Routen für PE und PP Produktion (MtO Methanol-to-Olefins) wären weniger empfehlenswert

$$\text{Normierter Wert} = \frac{\Delta\text{GWI oder } \Delta\text{RMI oder } \Delta\text{TMR}}{\text{Referenzwert}}$$



Normierte Verringerungen (minus) und Steigerungen (plus) des Umweltdrucks durch die Substitution von fossil-basierten durch CO<sub>2</sub>-basierte Chemikalien und Polymere für Deutschland gemäß Hoppe (2018), genutzte Daten: GWI: 926\*10<sup>9</sup> kg CO<sub>2</sub>eq in 2012 (UBA 2016), RMI: 2,774\*10<sup>12</sup> kg in 2011 (DESTATIS 2016), TMR 7,853\*10<sup>12</sup> kg in 2012 (Wuppertal Institut 2016)



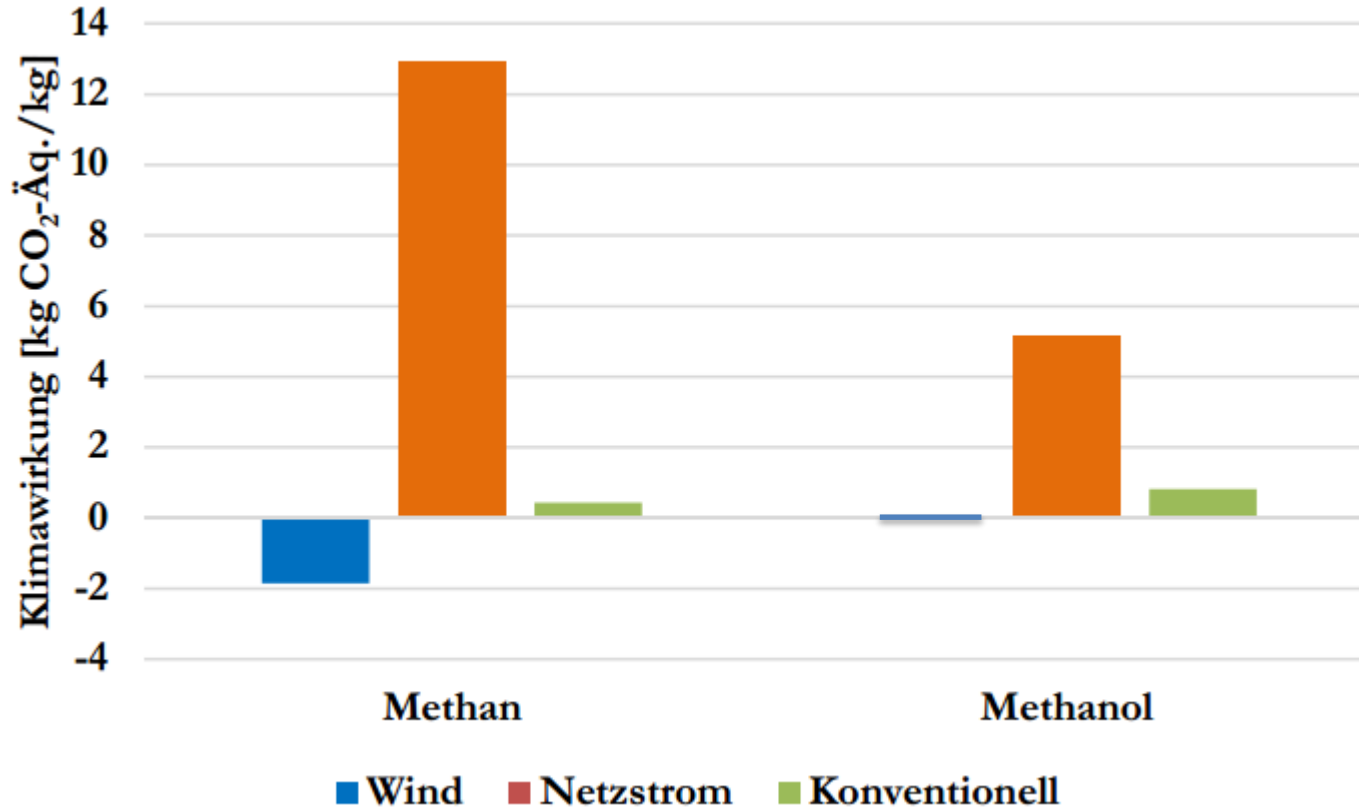
# Ergebnisse

## Kumulierter Energieaufwand (KEA)



# Ergebnisse

## Szenarien - Energieversorgung

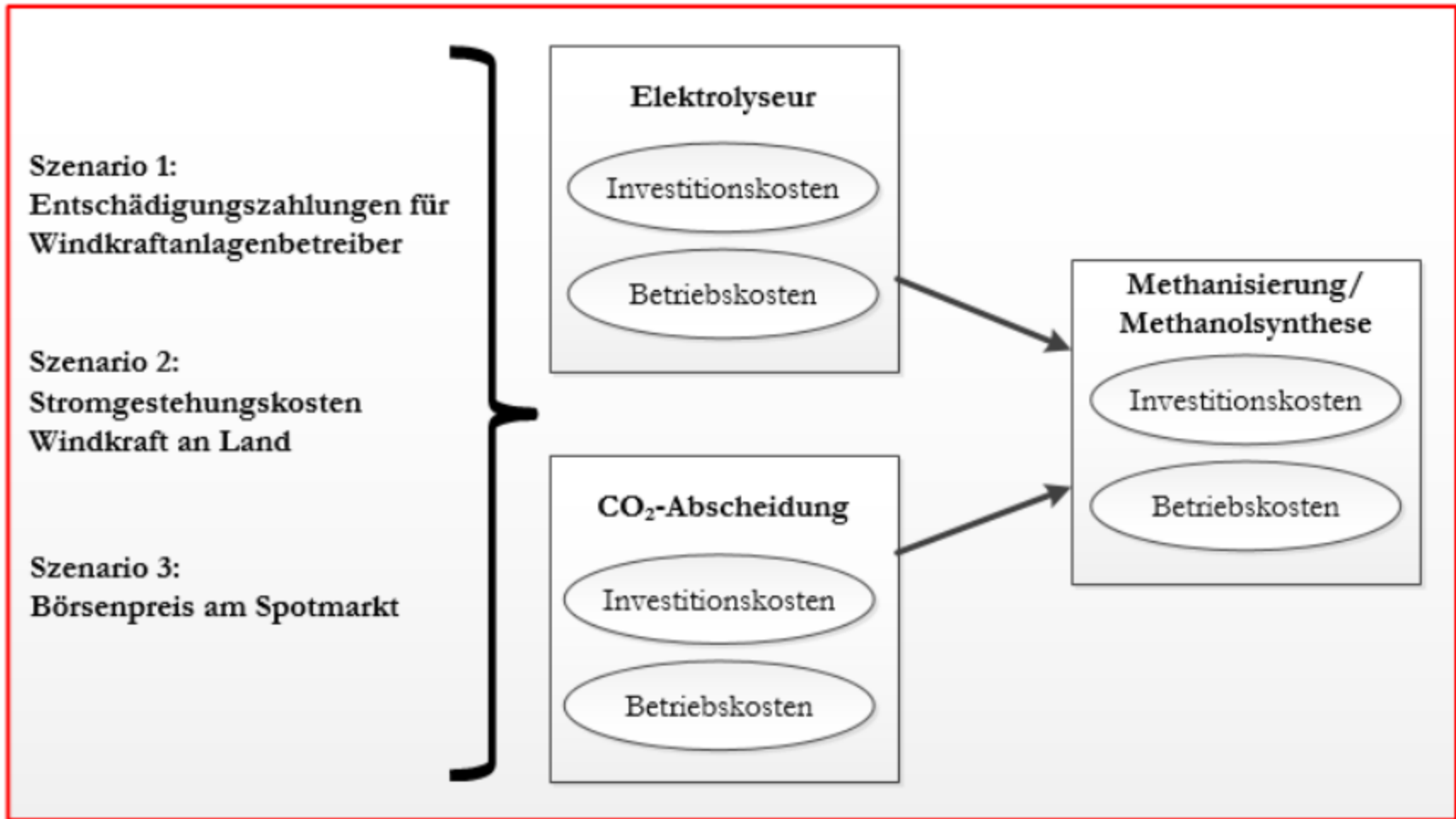


Hoppe 2018

- Produktion mit aktuellem deutschem Strommix würde die THG Emissionen drastisch erhöhen
- Breakeven mit konventioneller Produktion: mindestens 86% REN in D

# Ökonomisch-institutionelle Analyse

## Kostenblöcke der CO<sub>2</sub>-basierten Prozessketten



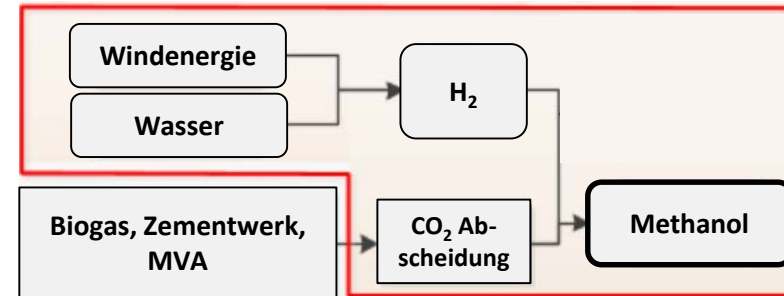
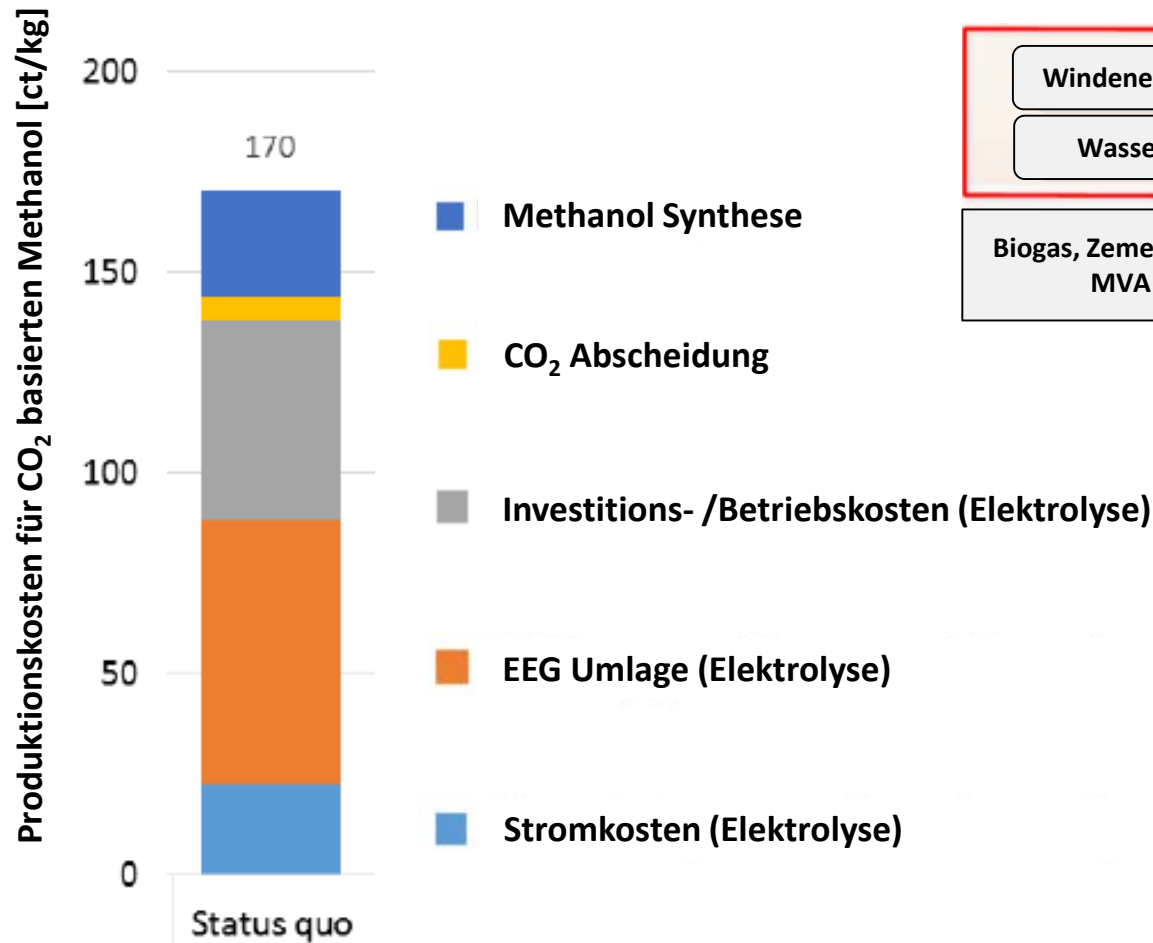
# Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

## Szenarien

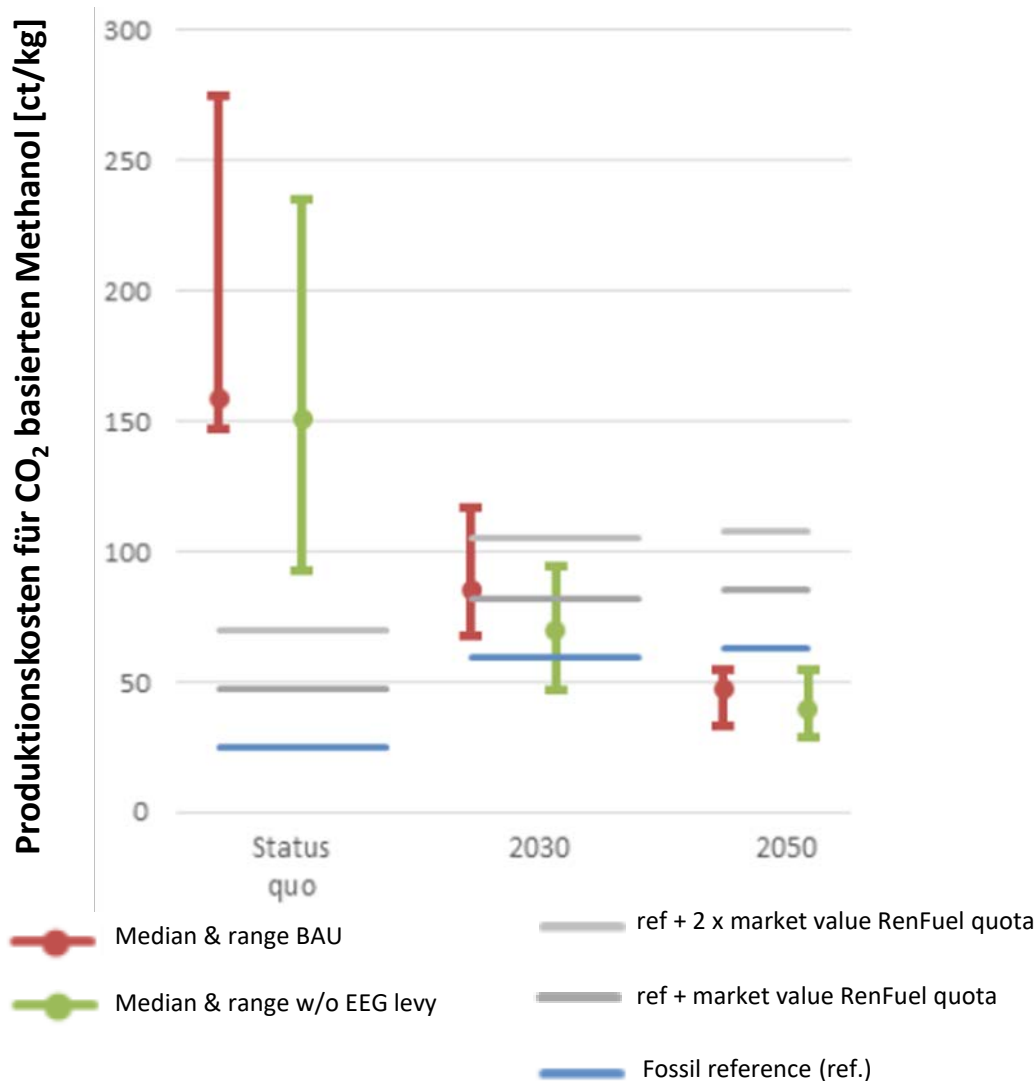
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
<b>Energiequelle</b>	Überschussstrom aus Windpark	Gesamte Energie des Windparks	Netzstrom in Zeiten negativer Residuallast
<b>Vollaststunden</b>	2.605 h	2.605 h	-
<b>Verfügbare Menge an Elektrizität</b>	4.725 MWh/a	36.621 MWh/a	45.408 MWh/a für Elektrolyse
<b>Laufzeit der CCU Anlage</b>	2.000 h/a	5.000 h/a	4.128 h/a
<b>Strompreis exkl. Steuern und Umlagen</b>	9,13 ct/kWh (EEG Kompensation for überschüssige, erneuerbare Energie)	6 ct/kWh (Gestehungskosten für Windenergie)	2,127 ct/kWh (Durchschnittswert)
<b>EEG Umlage</b>	-	-	6.354 ct/kWh
<b>Strompreis gesamt</b>	9,13 ct/kWh	6 ct/kWh	8,53-12,32 ct/kWh (Prozessspezifisch)

# Kosten der Elektrolyse überwiegen

## Cradle-to-Gate Kosten von CO<sub>2</sub>-basiertem Methanol – Szenario 3



# Änderung regulatorischer Faktoren als Unterstützung für die Produktion von erneuerbarer Energie



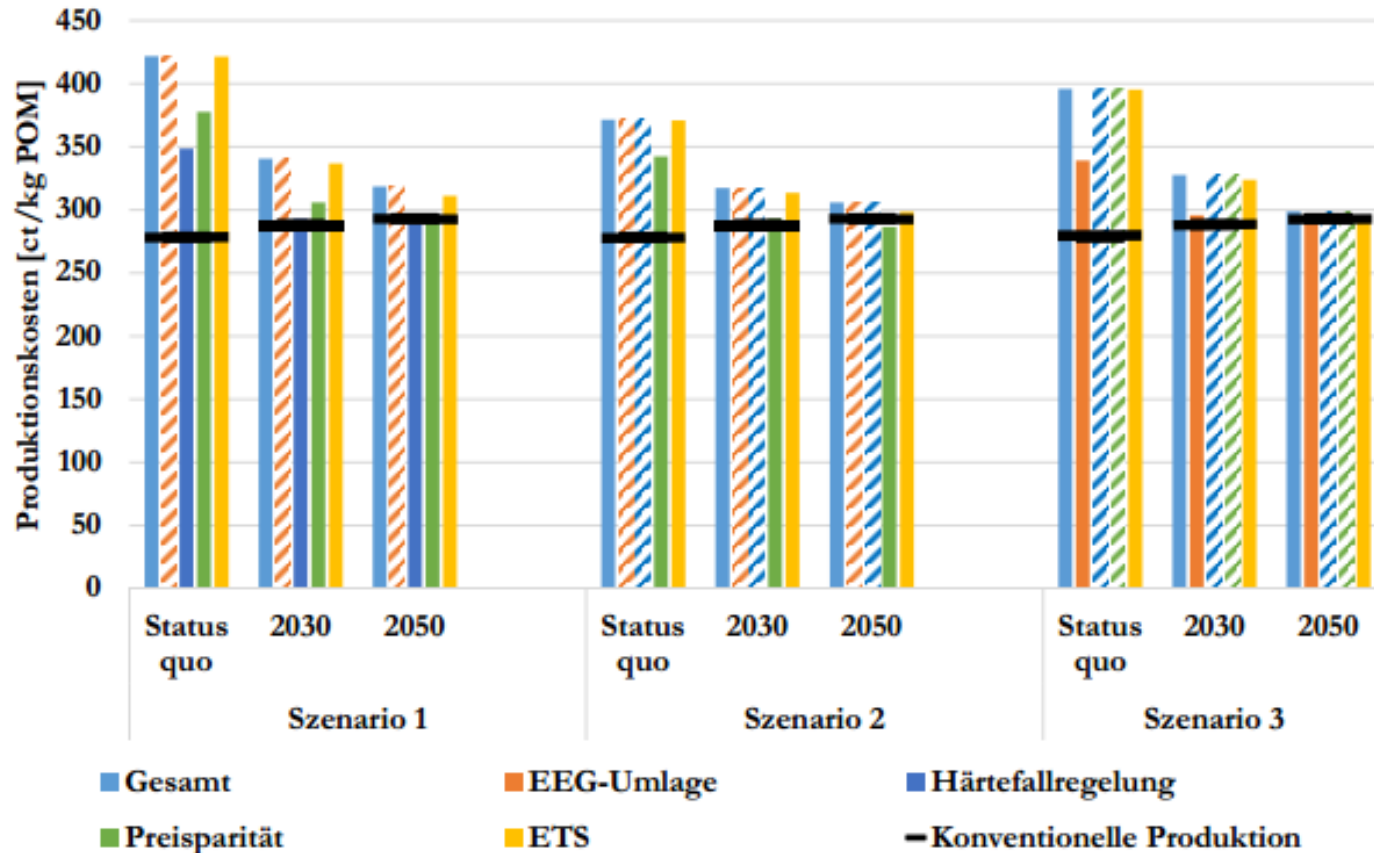
- Ausnahme von der EEG Abgabe und doppelte Anrechnung als erneuerbarer Kraftstoff würde CO<sub>2</sub>-basiertes Methanol bis 2030 wettbewerbsfähig machen
- Aber: die doppelte Anrechnung als Kraftstoff würde den Einsatz als Basischemikalie behindern

Quelle: Wachter 2017



# Höherwertige Polymere erreichen eher wettbewerbsfähige Preise

## Cradle-to-Gate Kosten von CO<sub>2</sub>-basiertem POM



### Anpassung des regulativen Rahmens bei der POM-Produktion

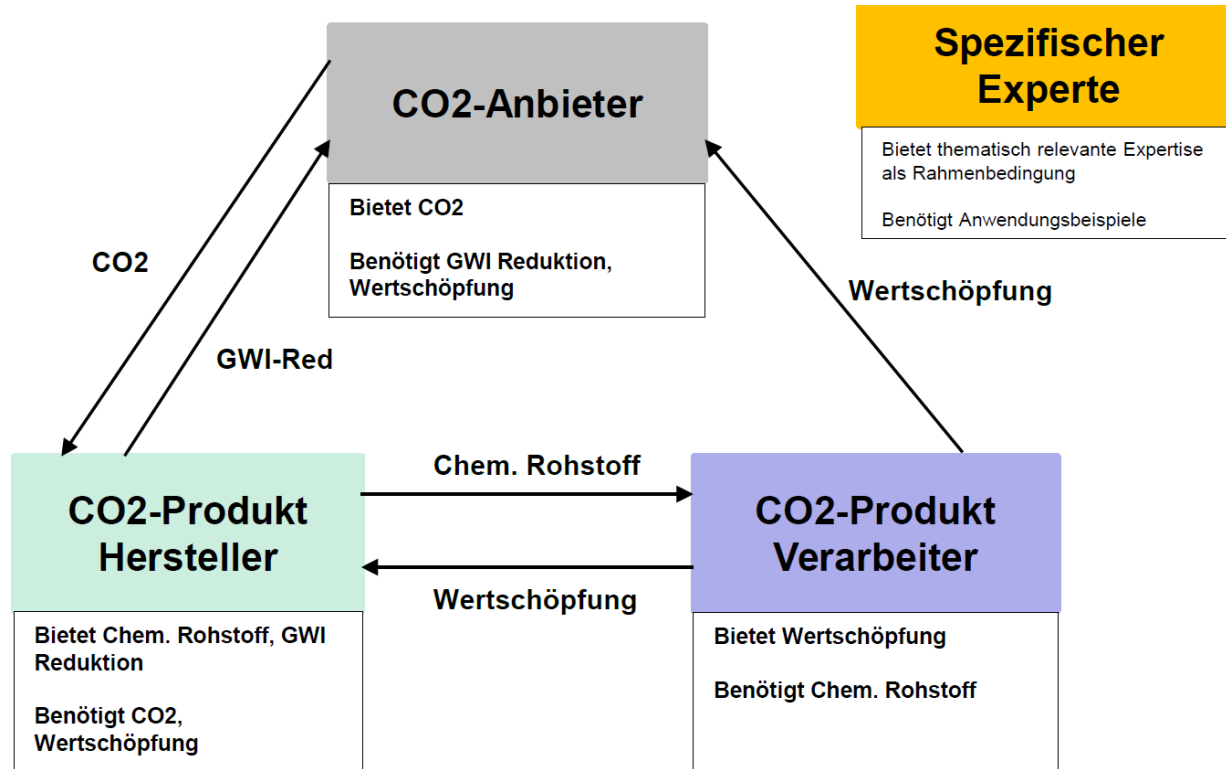
(Die gestrichelten Balken bedeuten, dass die Instrumente für das jew. Szenario obsolet sind)

## Schlussfolgerungen

- CO<sub>2</sub> Nutzung erfordert **zusätzliche erneuerbare Energie**
- CO<sub>2</sub>-basierten Chemikalien und Polymere können **THG-Emissionen vermindern bei höherem Ressourcenaufwand**
- Der Zielkonflikt ist **bei bestimmten Prozessrouten tolerabel**
- CO<sub>2</sub>- und Elektrolyse-basierte Chemikalien sind **deutlich teurer**
- **Höherpreisige Produkte** wie POM sind **näher an der Wirtschaftlichkeit**

# CO<sub>2</sub> nutzen?

Workshop Kassel 29. Mai 2018, 11:00-15:30



Anmeldung: [simon.kaiser@uni-kassel.de](mailto:simon.kaiser@uni-kassel.de)

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

[bringezu@uni-kassel.de](mailto:bringezu@uni-kassel.de)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**Life Cycle Assessment of Carbon Dioxide-Based Production of Methane and Methanol and Derived Polymers.** *W. Hoppe, N. Thonemann, S. Bringezu (2017).* DOI: [10.1111/jiec.12583](https://doi.org/10.1111/jiec.12583)

**Comparison of global warming potential between conventionally produced and CO<sub>2</sub>-based natural gas used in transport versus chemical production.** *W. Hoppe, S. Bringezu, N. Thonemann (2016).* Journal of Cleaner Production 121: 231-237, DOI [10.1016/j.jclepro.2016.02.042](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.042)

**Vergleichende Ökobilanz der CO<sub>2</sub>-basierten und konventionellen Methan- und Methanolproduktion.** *W. Hoppe und S. Bringezu (2016).* UmweltWirtschaftsForum uwf published online 12 May 2016, DOI [10.1007/s00550-016-0389-4](https://doi.org/10.1007/s00550-016-0389-4)

**Economic assessment of CO<sub>2</sub>-based methane, methanol and polyoxymethylene production** *W. Hoppe, S. Bringezu, N. Wachter (2018).* In Review