

Hypermotion 2017  
 Frankfurt / Main

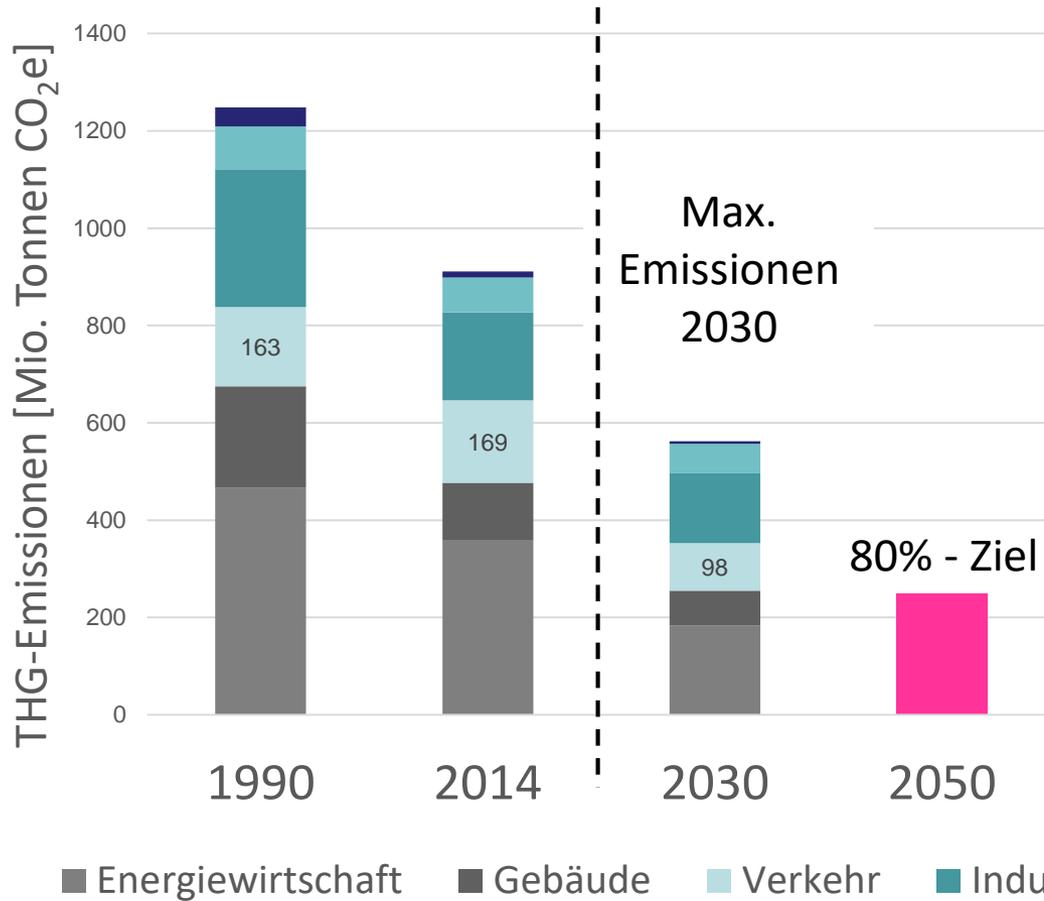
# Strombasierte Kraftstoffe für den schweren Güterfernverkehr

## Möglichkeiten und Grenzen

Martin Kaltschmitt, Sebastian Drünert, Sebastian Timmerberg



- Hintergrund
- Strombasierte Kraftstoffe
  - Grundlagen
  - Einordnung
  - Stand der Technik
- Diskussion
  - CO<sub>2</sub>- & Stromherkunft
  - Infrastruktur
  - Kosten
- Schlussbetrachtung



Differenz einzelner Sektoren im Vergl. zu 1990

|                | 2014         | 2030        |             |
|----------------|--------------|-------------|-------------|
|                |              | min         | max         |
| Energiew.      | -23,2%       | -61%        | -62%        |
| Gebäude        | -43,1%       | -66%        | -67%        |
| <b>Verkehr</b> | <b>+3,7%</b> | <b>-40%</b> | <b>-42%</b> |
| Industrie      | -36,0%       | -49%        | -51%        |
| Landw.         | -18,2%       | -31%        | -34%        |
| Sonstige       | -69,2%       | -87%        | -87%        |

Quelle: Klimaschutzplan 2050

## ■ Güterverkehr (D)

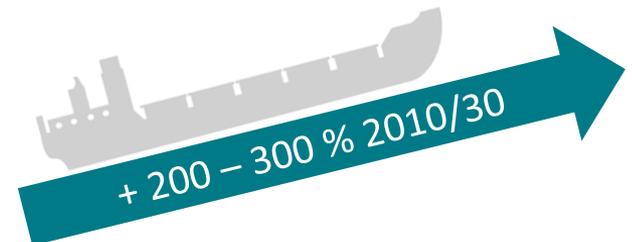
- Straßengüterverkehr +39%
- Binnenschifffahrt +23%

Zunahme 2010/30 um insgesamt +38% auf 838 Mrd. t km



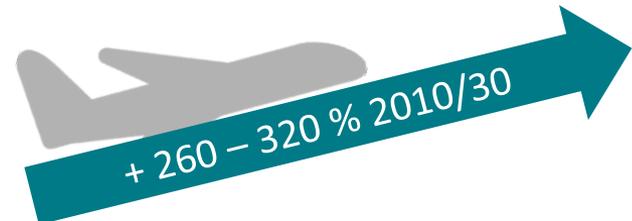
## ■ Hochsee-Schifffahrt (Welt)

je nach Szenario Zunahme zwischen 2010 und 2030 um den Faktor 2 bis 3

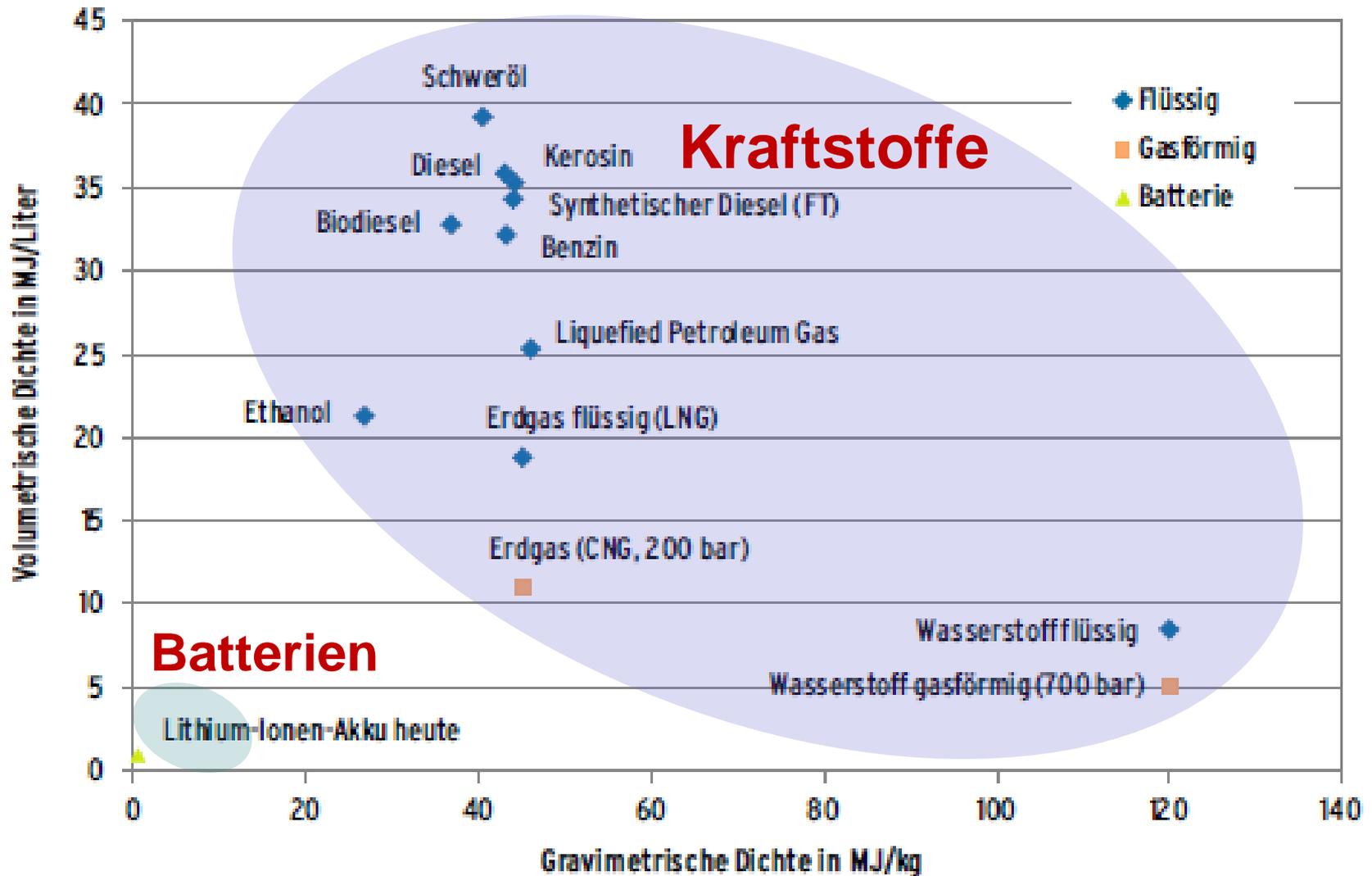


## ■ Flugverkehr (Welt)

je nach Szenario Zunahme zwischen 2010 und 2030 um 5 bis 6 %/a



- Aus ökologischen / Klimaschutztechnischen Gründen sind batterieelektrische Fahrzeuge sehr vorteilhaft – wenn Strom aus THG-freien erneuerbaren Energien eingesetzt wird; aber das Batteriegewicht ist hoch bzw. die Energiedichte im Vergleich zu Kohlenstoff-basierten Flüssigenergieträgern relativ gering



Bildquelle: UBA 2015

- Aus ökologischen / Klimaschutztechnischen Gründen sind batterieelektrische Fahrzeuge sehr vorteilhaft – wenn Strom aus THG-freien erneuerbaren Energien eingesetzt wird; aber das Batteriegewicht ist hoch bzw. die Energiedichte im Vergleich zu Kohlenstoff-basierten Flüssigenergieträgern relativ gering
- Die hohen Anforderungen an mechanische Leistung und Reichweite durch Hochsee-Schiffe und Flugzeuge sind aber absehbar kaum (nicht) sinnvoll durch Batterien erfüllbar; dies gilt auch für schwere LKW, wenn sie weiterhin dem heutigen Nutzungsprofil unterworfen werden
  - Zu geringe Energiedichten (volumetrisch und gravimetrisch); zu hohes Leergewicht und damit zu geringe Zuladung
  - Zu geringe Reichweite und zu lange Ladezeiten
  - Zu hohe Kosten (bisher)

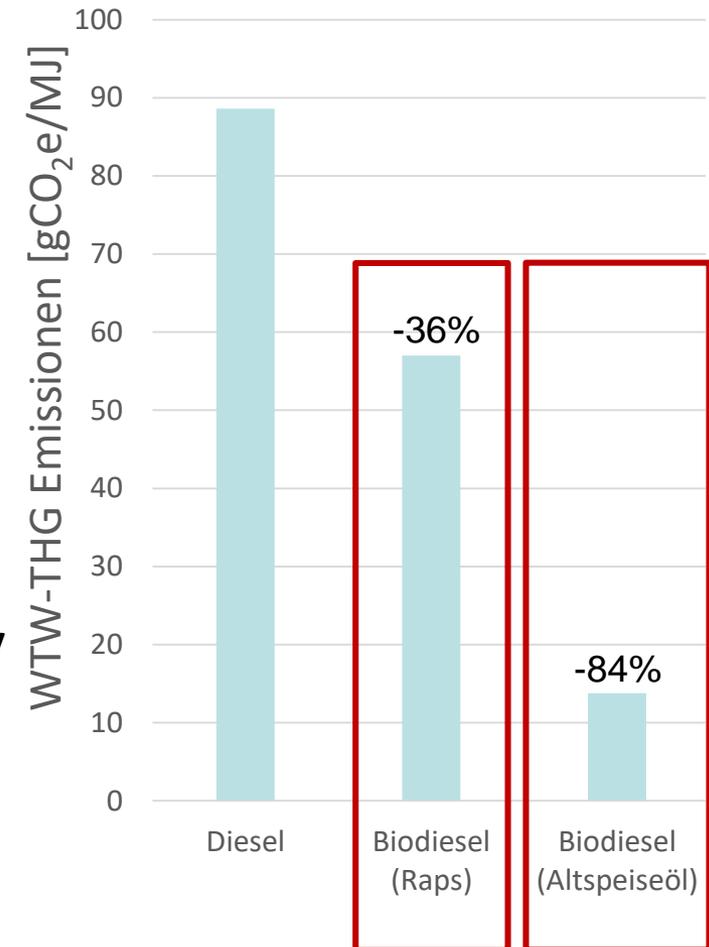
→ **(Schwere Lkw), Schiffe und Flugzeuge** benötigen potenziell weiterhin flüssige, tendenziell Kohlenstoff-basierte Kraftstoffe

## ■ Biokraftstoffe aus Energiepflanzen

- Potenzial begrenzt durch a priori begrenzte Anbauflächen
- Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion sowie zur stofflichen Nutzung
- Teilweise erhebliche Akzeptanzprobleme
- Oft lokale Umwelteffekte
- Begrenzter Beitrag zum Klimaschutz

## ■ Biokraftstoffe aus Abfällen / Rückständen / Nebenprodukten

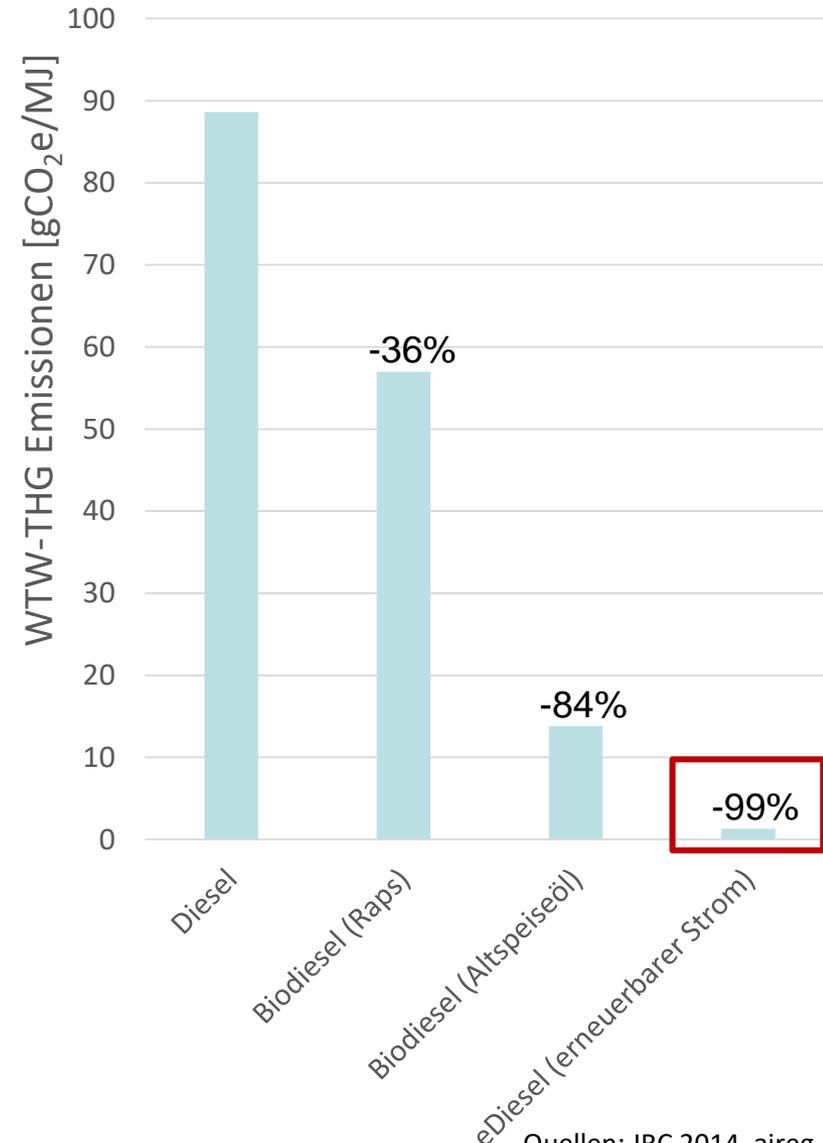
- Begrenzte Potenziale
- Oft keine Nutzungskonkurrenzen
- Oft keine Akzeptanzprobleme
- Typischerweise lokale Umweltvorteile
- Erheblicher Beitrag zum Klimaschutz



Quellen: JRC 2014, aireg

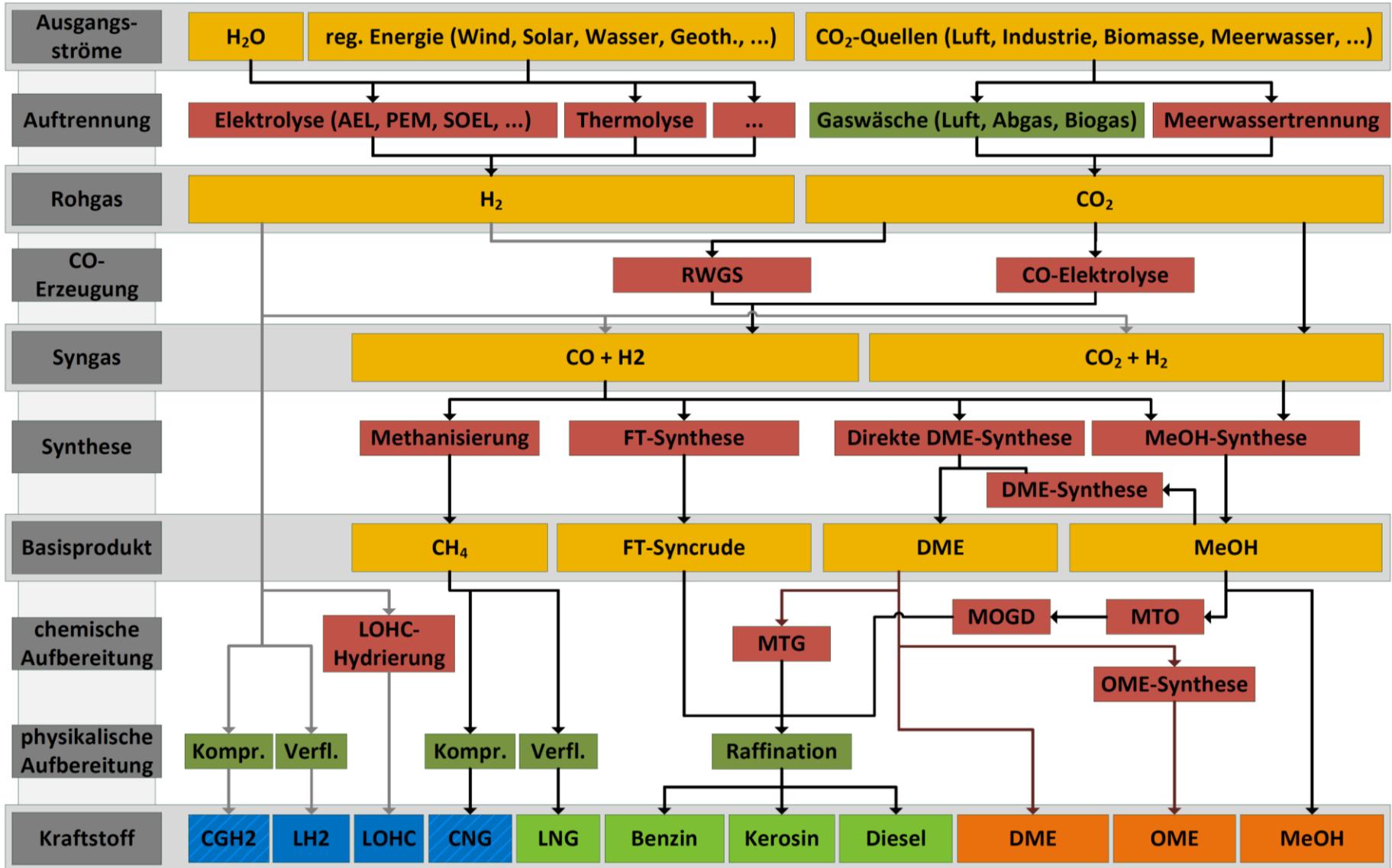
## ■ PtL-Kraftstoffe (Strom, Wasser und CO<sub>2</sub>)

- (Nahezu) unbegrenzte Potenziale; wesentliche Begrenzung ist die Verfügbarkeit kostengünstiger elektrischer Energie (d. h. Potenziale werden wesentlich durch die Verfügbarkeit kostengünstigen Stroms bestimmt)
- Keine (bekannten) Nutzungskonkurrenzen
- Keine (bekannten) Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung
- Kaum (bekannte) lokale Effekte auf die Umwelt
- Sehr weitgehender Beitrag zur THG-Minderung, wenn Strom und CO<sub>2</sub> aus erneuerbaren Quellen eingesetzt werden



Quellen: JRC 2014, aireg

# Strombasierte Kraftstoffe: Erzeugungsoptionen



■ chemische Prozesse     
 ■ Wasserstoffbasiert     
 ■ MeOH-Derivate     
 □ flüssig  
■ physikalische Prozesse     
 ■ Drop-in-Produkte     
 ▨ gasförmig

# Herkunft des CO<sub>2</sub>

- **Atmosphärisch (0,04 vol.-%)**

- nachhaltig
- energie- & kostenintensiv
- unbegrenzte Potenziale

- **Biogen (bis 99 vol.-%)**

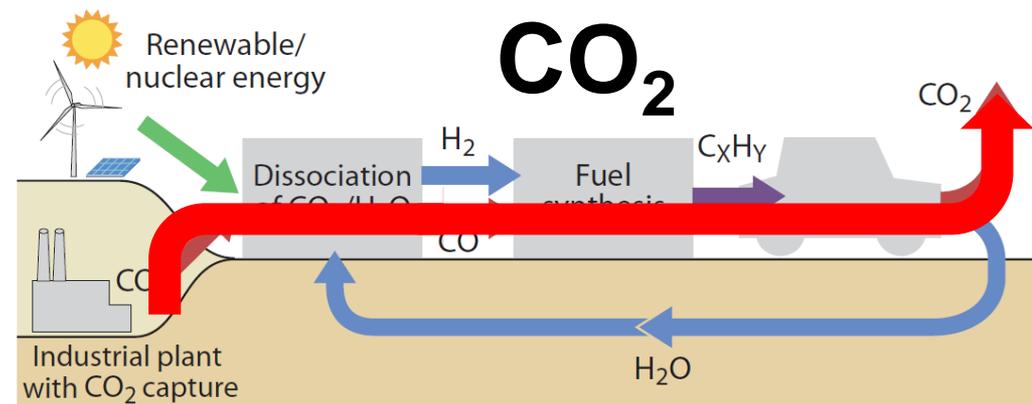
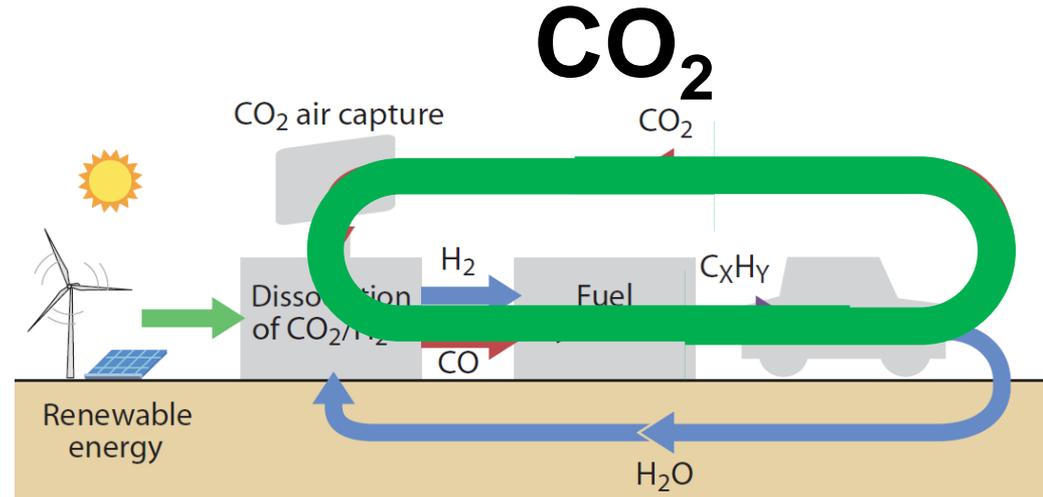
- nachhaltig
- kostengünstig verfügbar
- begrenzte Potenziale

- **Prozessspezifisch (3 ... 20 vol.-%)**

- bedingt nachhaltig
- Kaskadennutzung
- begrenzte Potenziale

- **Fossil (3 ... 20 vol.-%)**

- nicht nachhaltig
- Kaskadennutzung
- große Potenziale



Quelle: Graves 2011

- Deutschland: Stromerzeugungspotenziale aus regenerativen Energien sind begrenzt und in vielerlei Hinsicht nur "mittelmäßig" – und das bei hohem Strom-Verbrauchsniveau und hoher Bevölkerungsdichte
- Potenziale regenerativer Energien an Strandorten in Übersee können die Deutschlands erheblich übersteigen – und das bei deutlich geringerer Stromnachfrage und sehr großen verfügbaren "freien" Flächen
- Stromgestehungskosten an den entsprechenden Standorten können deutlich geringer als in Deutschland sein
  - PV: 0,017 US\$/kWh in Abu Dhabi (2017)
  - Wind: 0,028 €/kWh in Marokko
- Zukunftsfähige Erlöse für Länder, die vom Export fossiler Energien abhängig sind (Infrastruktur ist vorhanden)
- Diversifizierung der deutschen Energieimporte möglich (d. h. verbesserte Versorgungssicherheit)

- PtL-Kraftstoffe können die aus dem Erdöl-/Erdgasbereich vorhandene Downstream-Infrastruktur – zumindest teilweise – nutzen
  - Raffinerietechnik wird zwingend auch für die Bereitstellung normenkonformer PtL-Kraftstoffe benötigt
  - Transport-, Umschlag- und Lagerkapazitäten können ebenfalls weiterhin verwendet werden
- Das in der Erdöl-/Erdgasindustrie vorhandene Knowhow kann nutzbar gemacht werden; d. h. die entsprechende Industrie kann an der Wertschöpfung der PtL-Bereitstellungsketten partizipieren und die bisher getätigten Investitionen (teilweise) weiterhin nutzen
- Dies kann mit ökonomischen Vorteilen, verbesserter Akzeptanz bei der (großen) Energieversorgern und bei den erdölexportierenden Ländern sowie Vorteilen bei einer großtechnischen Umsetzung verbunden sein

- Drop-in Kraftstoffe: **EE-Benzin, EE-Diesel, EE-Kerosin**
  - Zulassung besteht / ist wahrscheinlich (z. B. Ft-Kerosin)
  - Infrastruktur und Endverbraucher müssen nicht an den neuen Kraftstoff angepasst werden (vorhandene Kraftstoffnormen werden eingehalten)
- Near Drop-in: **DME, MeOH, OME, EE-Methan**
  - Zulassung für geringe Mischungsverhältnisse möglich (Beispiel: DME, Bio-Diesel)
  - Bestehende Infrastruktur und Endverbraucher können (relativ einfach) an den neuen Kraftstoff angepasst werden (Methanol-Tankstellen, Erdgasnetz für den Verkehr nutzen)
- Alternative Kraftstoffe: **H<sub>2</sub>, LOHC**
  - Eine völlig neue Infrastruktur muss aufgebaut werden
  - Diese neue Infrastruktur und die neuen Endverbraucher / Endnutzer könnten langfristig unter Systemaspekten effizienter sein (langfristige volksw. Abwägung erforderlich)



- PtL-Kraftstoffe können signifikant zum Klimaschutz beitragen, ohne dass sich für den Endnutzer signifikant etwas ändert
- Prädestiniert ist diese Option aufgrund der hohen Energiedichte der damit bereitstellbaren flüssigen, normenkonformen Kraftstoffe für die Luftfahrt, für die Schifffahrt und (teilweise) für den schweren straßengebundenen Güterfernverkehr (heutiges Nutzungsverhalten)
- Die wesentliche Herausforderung sind die hohen Kosten; zwingend sind deshalb niedrige Stromkosten, kostengünstig verfügbares nicht-fossiles CO<sub>2</sub> und eine maximale Umwandlungseffizienz möglichst unter Ausnutzung weiterer (systemischer) Synergieeffekte
- Vorteilhaft ist die weitere Nutzung eines Teil der vorhandenen (fossilen) Erzeugungs- und Verteilinfrastruktur – und damit das potenzielle Interesse der heute aktiven Energieversorger
- Offen ist, ob im derzeit laufenden Technologiewettstreit PtL-Kraftstoffe sich gegen die parallel entwickelten Alternativen (z. B. Elektro-Lkw, Wasserstoffschiffe) werden durchsetzen können

# Strombasierte Kraftstoffe für den schweren Güterfernverkehr

## Möglichkeiten und Grenzen



Technische Universität Hamburg / Hamburg University of Technology

Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE)

Institute of Environmental Technology and Energy Economics (IUE)

Eissendorfer Str. 40; D-21073 Hamburg

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, MSc Sebastian Drünert, MSc Sebastian Timmerberg