

---

# **Flüssige Energieträger aus erneuerbaren Energien**

**Energieforum am 01.12.2017, TechnologieZentrumDresden**

Dr.-Ing. Rolf Schicke, Renewable Energies Consulting, Wernigerode

---

# Agenda

**Motivation**

**Möglichkeiten der Speicherung von EE**

**Anwendungsfelder für flüssige Energieträger**

**Wirtschaftlichkeit**

# Motivation

**Autarke / netzunabhängige Versorgung**

**Kostengünstige Stromversorgung / Speicherung**

**Ersatz von Dieselaggregaten**

**Kompakte Energievorräte**

**Gut handhabbares Speichermedium**

**Skalierbarkeit**

## **Möglichkeiten der Speicherung von EE**

**Batterien (Blei-Akku, NiMH, Li-Ionen)**

**Redox-Flow-Batterie**

**„Mini-Pumpspeicher“**

**Chemische Speicher (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>OH, HCOOH, LOHC, ...)**

## Batterien (Blei-Akku, NiMH, Zebra-Batterie, Li-Ionen)

### Blei-Akku

Kosten (CAPEX) bei ca. 250 bis 350 €/kWh (System)

Bewährte Technologie

Allerdings gewisser Wartungs- und Kontrollaufwand (z.B. keine Tiefentladungen)

Zyklenzahl ca. 1.500 bis 3.000 (je nach Zelltyp)

Gute Recyclebarkeit

### NiMH-Akku

Für größere Energiespeicheranwendungen kaum verbreitet

Bewährte Technologie

Zyklenzahl ca. 2.500 bis 4.000 (je nach Zelltyp und Betrieb der Zellen)

Relativ teuer (CAPEX) bei ca. 450 bis 650 €/kWh (System)

### Zebra-Batterie

Hochtemperaturbatterie (ca. 300 °C)

Robuste, relativ kostengünstige Technologie

Zyklenzahl ca. 4.500 bis 6.000 (je nach Betrieb der Zellen)



### Li-Ionen-Akku

Insbesondere die LiFePO<sub>4</sub>-Variante gut für stationäre Speicher geeignet  
(rel. große Zyklenzahlen, sicherer Betrieb, hohe Stromdichten möglich)

Bewährte Technologie

Zyklenzahl ca. 5.000 bis 12.000 (je nach Zelltyp und Betrieb der Zellen)

Relativ teuer (CAPEX) bei ca. 650 bis 850 €/kWh (System)

## Redox-Flow-Batterie

**Entkopplung** von maximal aufnehmbarer und abgebarer elektrischer Leistung (kW) und speicherbarer Energiemenge (kWh) → gute Anpaßbarkeit an Erfordernisse

**Kosten (CAPEX) bei ca. 5.000 €/kW und ca. 1.500 €/kWh**

Niedrige Energiedichten (ca. 30 bis 50 kWh / m<sup>3</sup> → 1 MWh erfordert ca. 30 m<sup>3</sup>)

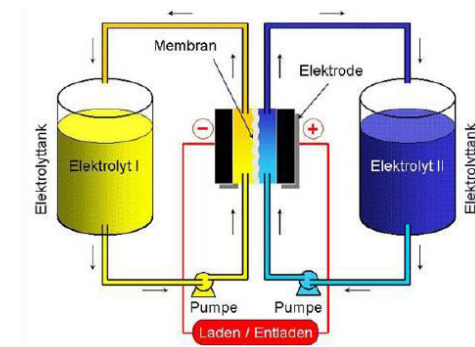
Giftiger Elektrolyt (Schwermetall Vanadium) → besondere Maßnahmen (Boden)

### Anbieter:

Vanadis, Gildemeister, Prudent Energy (herkömmliche Vanadium-Chemie)

### Entwicklung

Neuartige Polymerbatterien (JenaBattery), großes Potential bzgl. Kostenreduktion, aber nach wie vor sehr niedrige Energiedichten



## „Mini-Pumpspeicher“

### Extrem einfache Technologie

**Entkopplung** von maximal aufnehmbarer und abgebarer elektrischer Leistung (kW) und speicherbarer Energiemenge (kWh) → gute Anpaßbarkeit an Erfordernisse (die speicherbare Energiemenge ist nur eine Frage der Tankgröße (oberer Tank))



### Geringe Kosten je kWh Speicherkapazität:

Einfache Wassertanks beliebiger Form und (fast) beliebigen Materials (Kunststoff, Metall)

**Kosten pro kW** je nach Pumpe / Miniturbine: ca. 100 bis 200 €/kW

**Sehr niedrige Energiedichten** (ca. 28 Wh / m<sup>3</sup> bei 10 Meter Höhenunterschied)

**Anbieter:** Eigenbau ohne weiteres möglich, Komponenten am Markt erhältlich



## Chemische Speicher ( $H_2$ , $CH_4$ , $CH_3OH$ , $HCOOH$ , $LOHC$ , ...)

### „Power-to-Gas“ ( $H_2$ )

Bewährte Elektrolysetechnologie (alkalische EL, AEL)

Neuere Elektrolysetechnologien (PEM-EL, SOEC)

Nur  $H_2$ -Herstellung, lokale Speicherung, stoffliche Verwendung (Chemie, Mobilität) oder Einspeisung ins Netz)

Wirkungsgrad je nach Fahrweise / Belastung des EL, typisch zwischen 55 und 85 % (HHV)

### „Power-to-Gas“ ( $CH_4$ )

Wasserstofferzeugung per Elektrolyse, danach entweder Sabatierprozeß oder biologisch (Enzyme)

Kohlenstoffquelle erforderlich, z.B.  $CO_2$  aus einer Biomethananlage, Bioethanolanlage,

Verbrennungsprozesse, ggf. andere industrielle Quellen (Stahlherstellung, Zementherstellung)

**Aber:** insbesondere in afrikanischen Ländern sind z.T. hohe Preise für  $CO_2$  zu erzielen; d.h., wenn Biomasse (z.B. Biogas) als Quelle für  $CO_2$  genommen wird, konkurriert dies mit sehr lukrativen anderen Märkten (bis 1.000 €/kg  $CO_2$  für „food grade“  $CO_2$  sind zu erlösen)

### „Power-to-Liquid“ (Alkohole, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, DME, MTBE, OME, ...)

Bewährte Verfahren, wenn von Synthesegas ausgegangen wird, d.h. Mischungen von CO und  $H_2$ ;

Neue Entwicklungen (z.B. Methanol direkt aus  $CO_2$  und  $H_2$ ) sind in ersten Demoanlagen gezeigt (Carbon

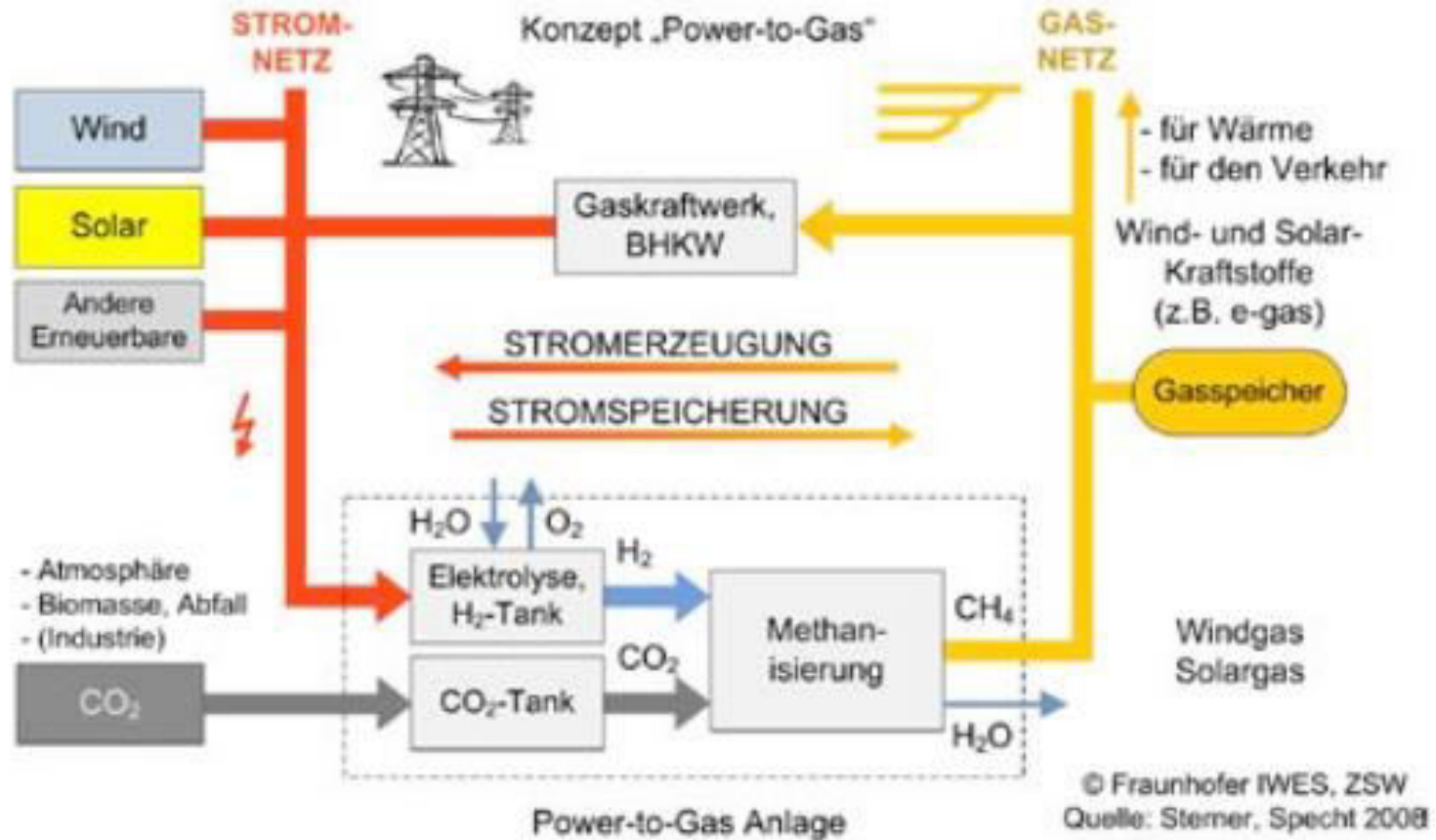
Recycling International (Island), Swiss Liquid Future AG, Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe)

### Reversibles hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)

Kompakte Energiespeicher (für  $H_2$ ) möglich, sofern keine C-Quelle verfügbar

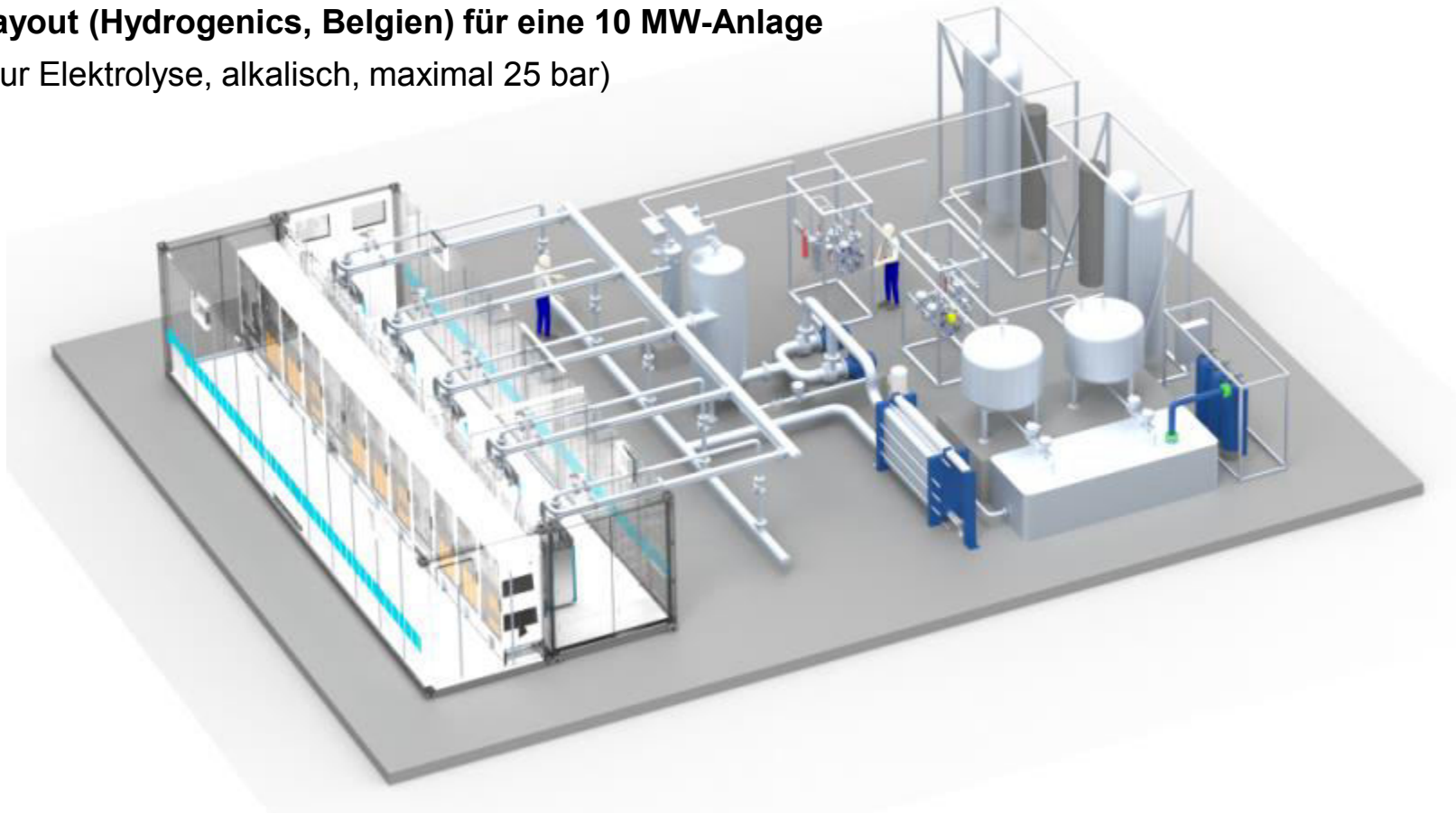


„Power-to-Gas“(H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>)



## „Power-to-Gas“ (H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>)

**Layout (Hydrogenics, Belgien) für eine 10 MW-Anlage**  
(nur Elektrolyse, alkalisch, maximal 25 bar)



Quelle: „Power to Gas, Roadmap for Flanders“, Oktober 2016

## „Power-to-Gas“ (H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>)

### Audi e-gas Projekt, Werlte, Niedersachsen



Produktion von „SNG“ (synthetic natural gas) aus Abfall-CO<sub>2</sub> aus einer Biomethananlage (EWE) und Wasserstoff aus einem alkalischen EL (6 MW), Sabatierprozeß bei etwa 12 bar

„Power-to-Gas“(H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>)

Audi e-gas Projekt, Werlte, Niedersachsen



Elektrolyseurhalle 2 MW<sub>el</sub> | Elektrolyseur



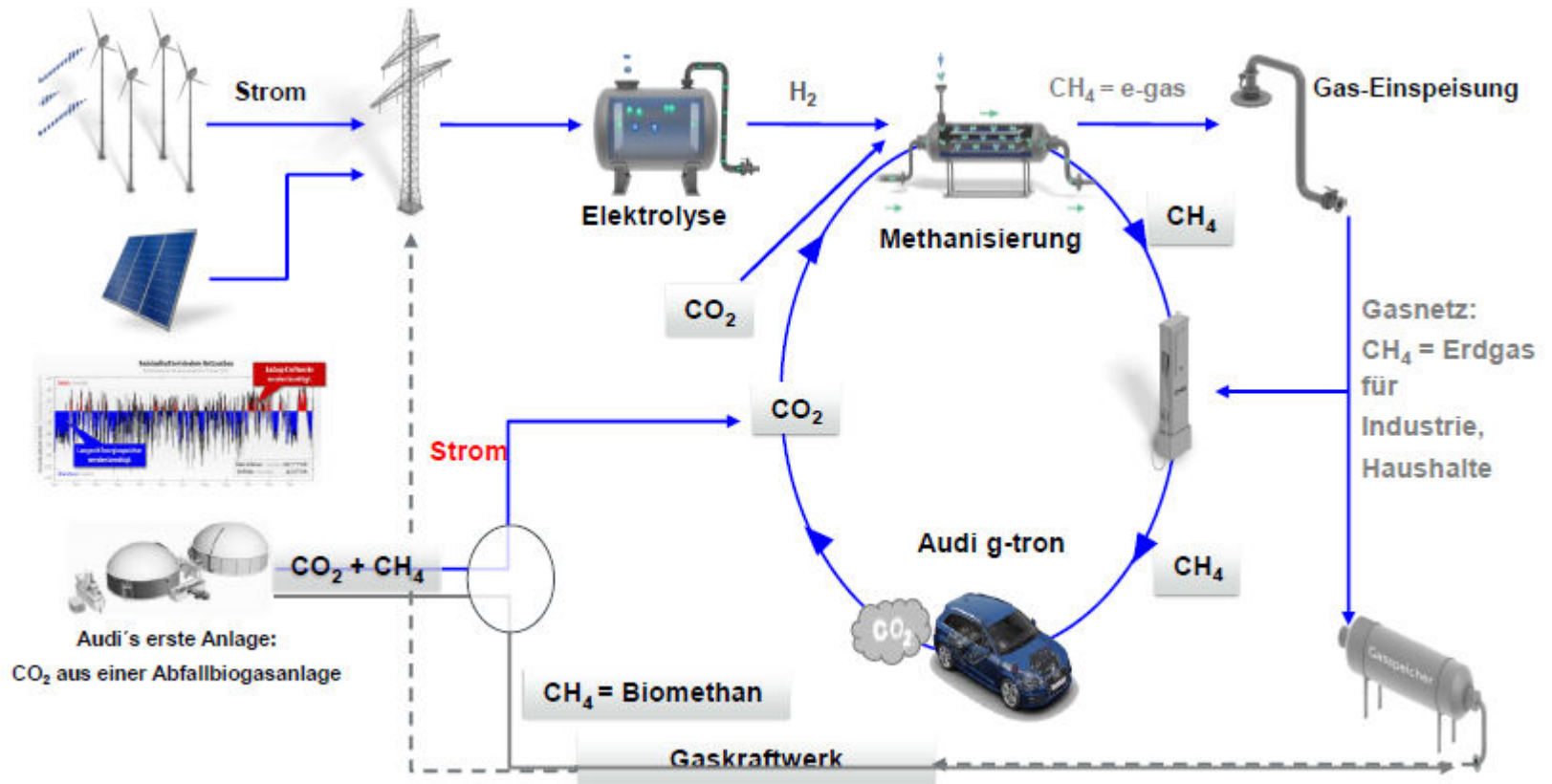
Festbett Methanisierung



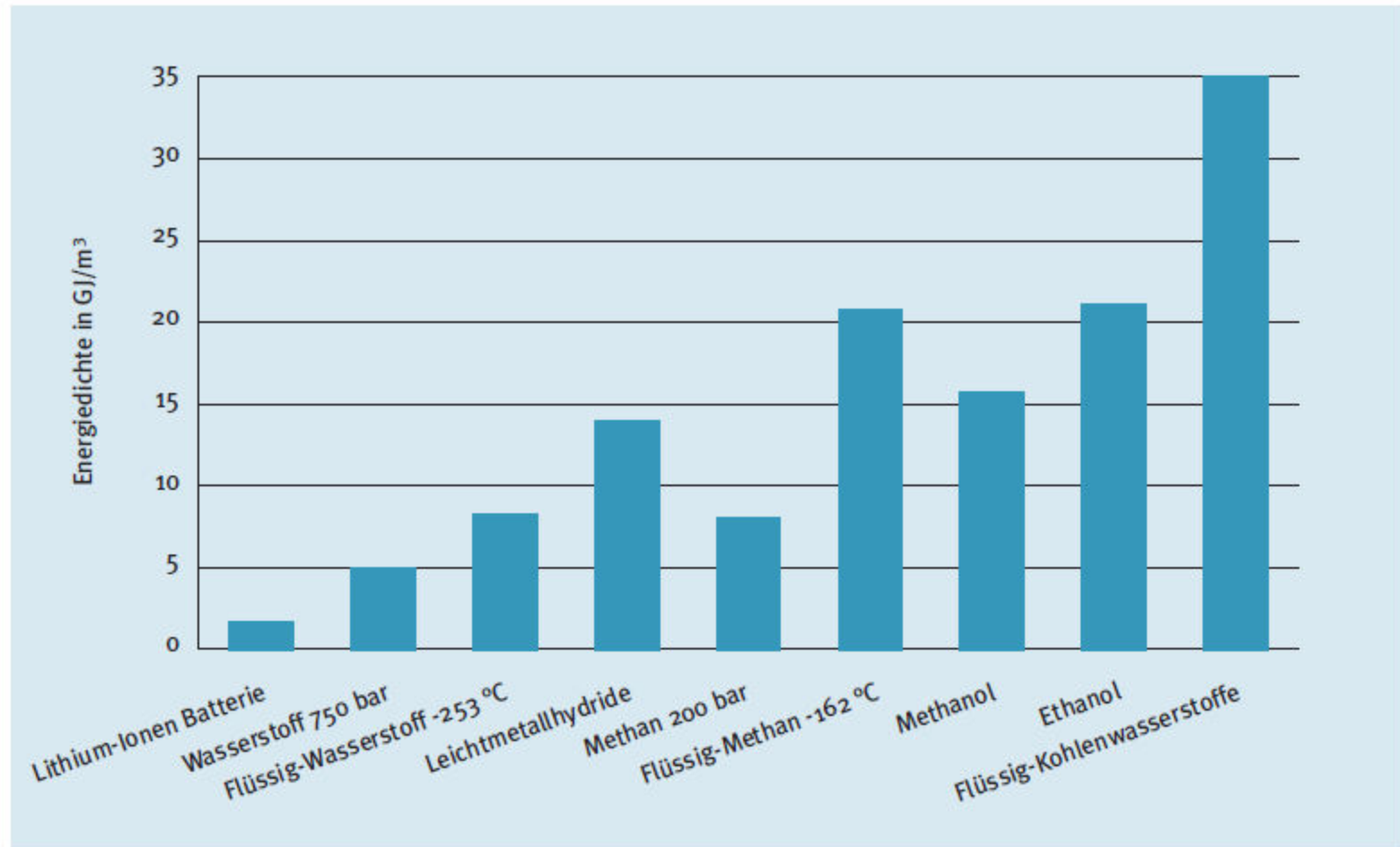


„Power-to-Gas“ (H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>)

Audi e-gas Projekt, Werlte, Niedersachsen

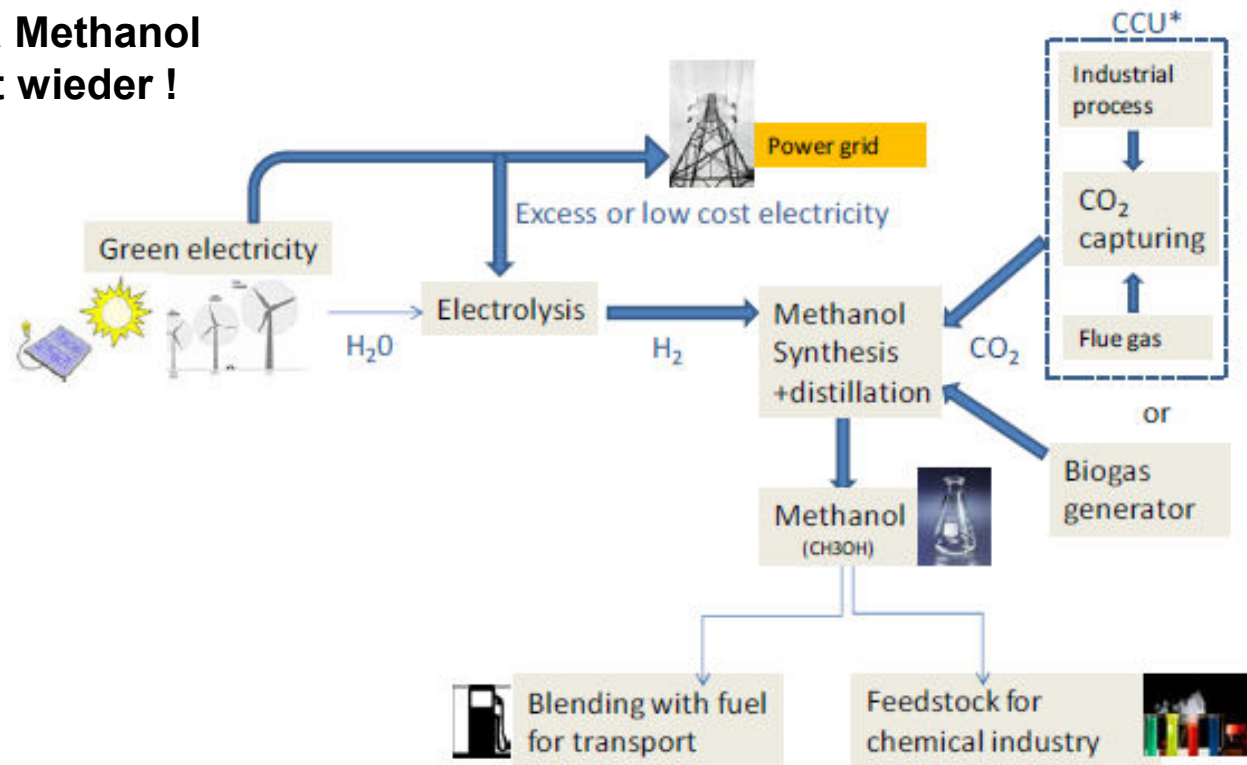


Quelle: ETOGAS

„Power-to-X“ (H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub> oder flüssige ET); Energiedichten in GJ / m<sup>3</sup>

Quelle: Dechema 2017

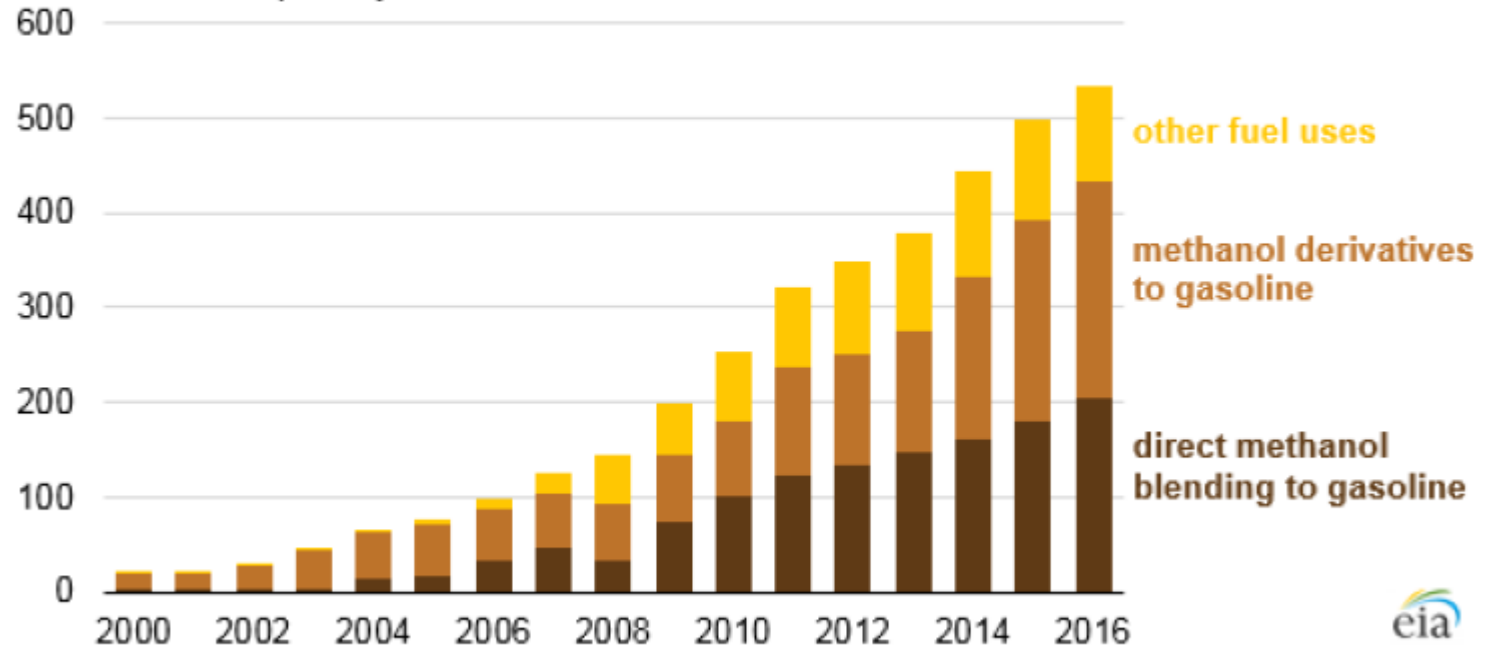
## „Power-to-Liquid“ (Alkohole, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, DME, MTBE, OME, ...)

Thema Methanol  
kommt wieder !

Quelle: „Power to Gas, Roadmap for Flanders“, Oktober 2016

**„Power-to-Liquid“ (Alkohole, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, DME, MTBE, OME, ...)****China methanol consumption in fuel products**

thousand barrels per day

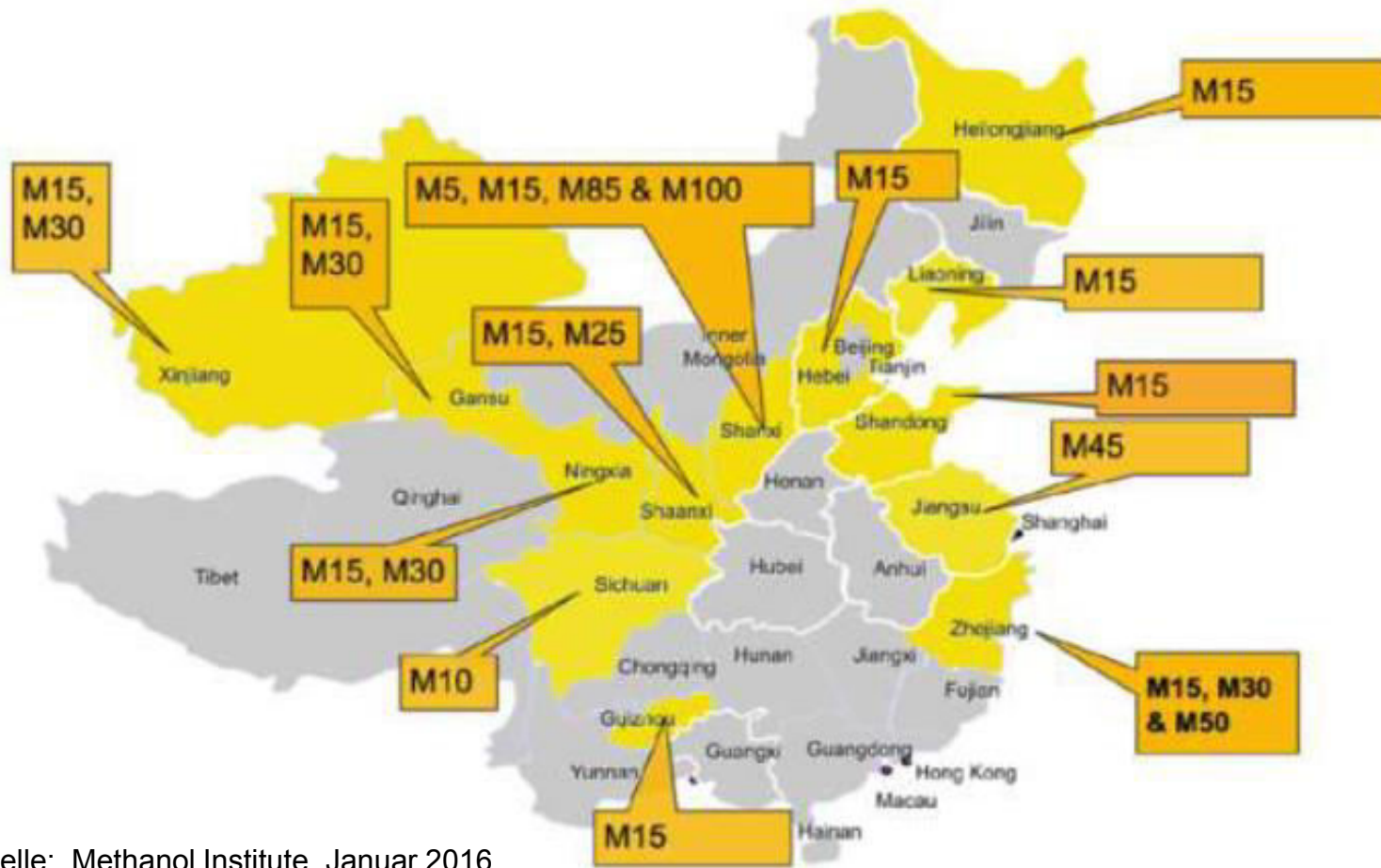


Source: U.S. Energy Information Administration, based on Argus Media Group

<http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Newsletters/AMF%20newsletter%201-2017.pdf>



„Power-to-Liquid“ (Alkohole, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, DME, MTBE, OME, ...)



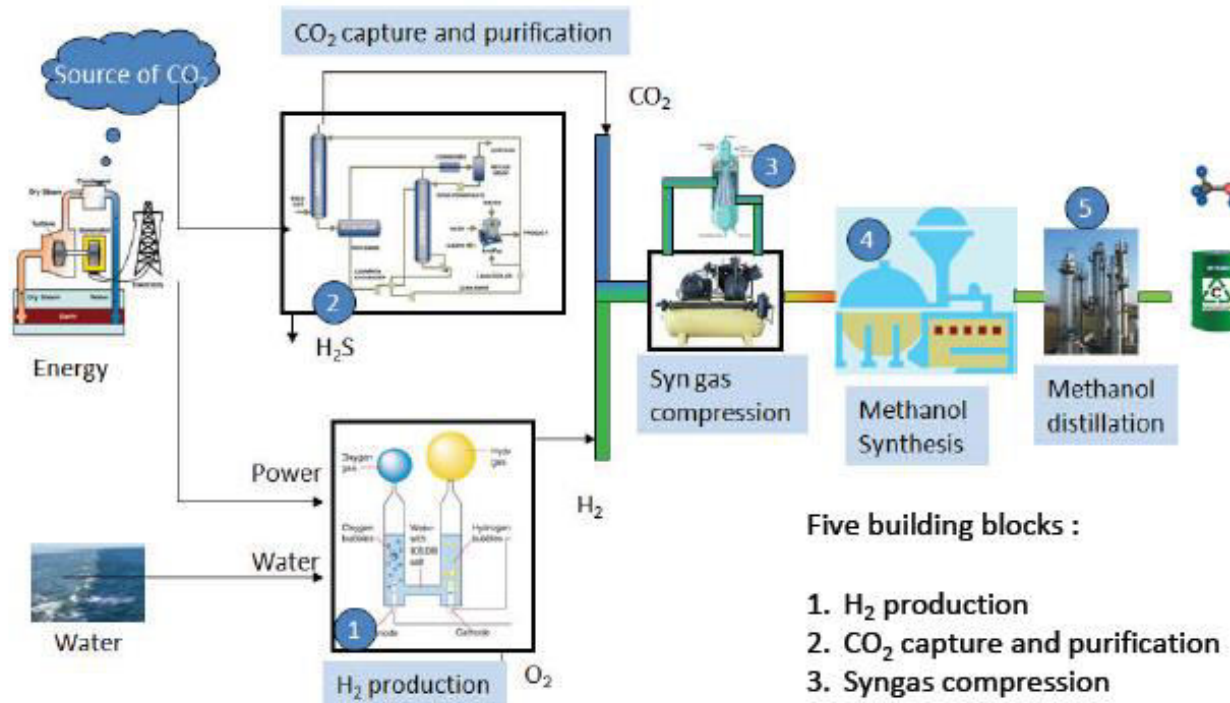
Quelle: Methanol Institute, Januar 2016

**„Power-to-Liquid“ (Alkohole, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, DME, MTBE, OME, ...)**



Errichtung der Pilotanlage von CRI auf Island, 5.000 t Methanol pro Jahr

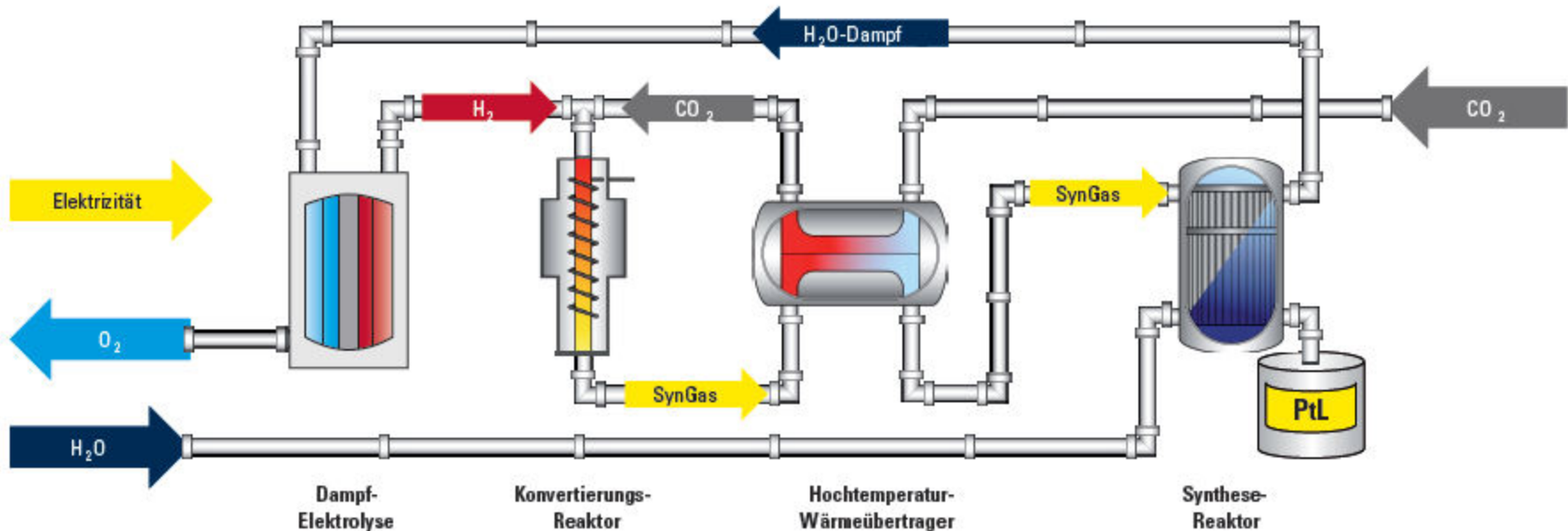
## „Power-to-Liquid“ (Alkohole, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, DME, MTBE, OME, ...)

CO<sub>2</sub> to Fuel Process

Five building blocks :

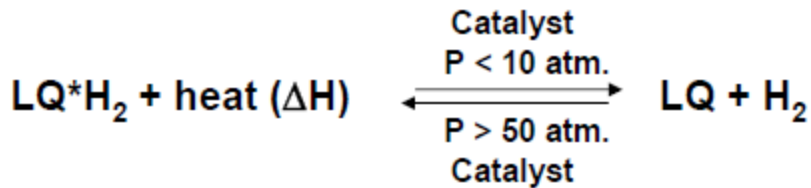
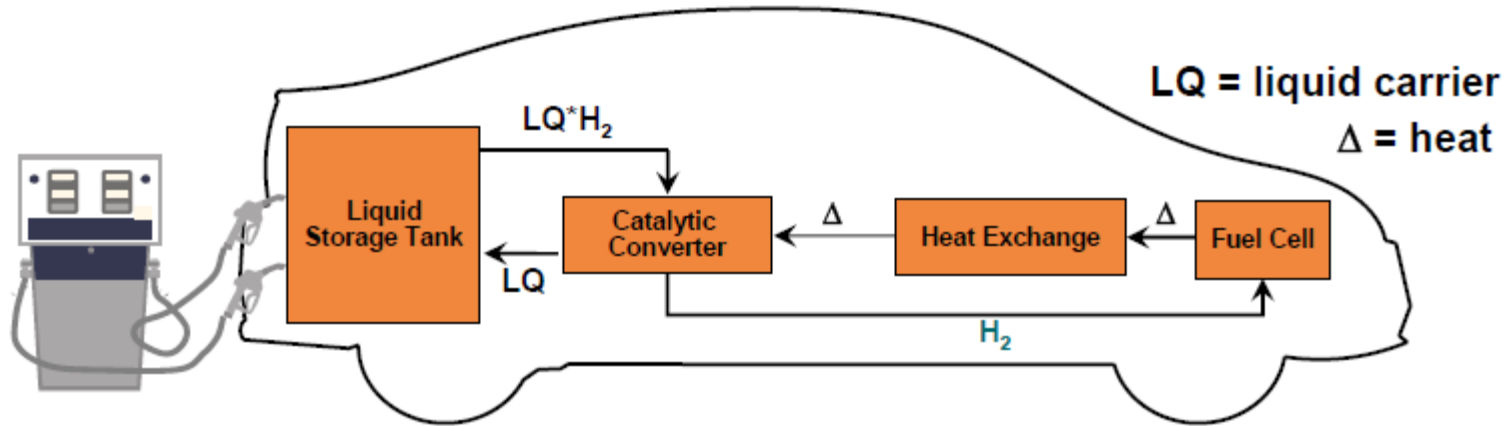
1. H<sub>2</sub> production
2. CO<sub>2</sub> capture and purification
3. Syngas compression
4. Methanol synthesis
5. Methanol distillation

## „Power-to-Liquid“ (Alkohole, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, DME, MTBE, OME, ...)

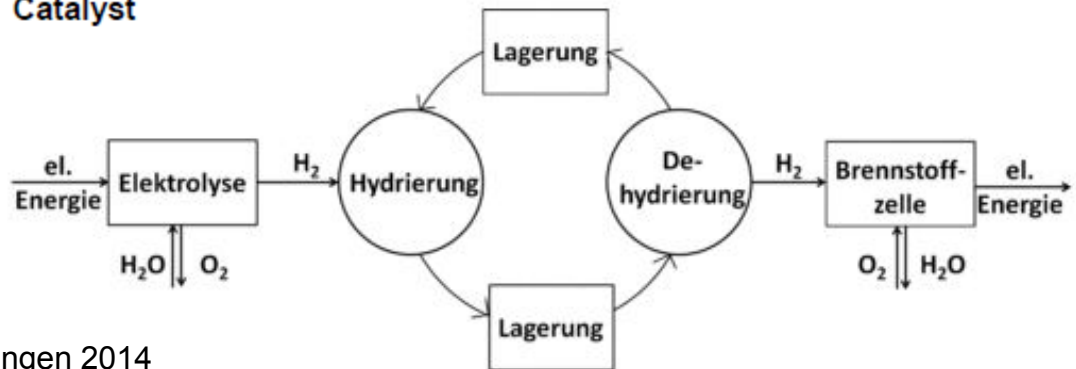


„Power-to-Liquid“ (Fischer-Tropsch-Kraftstoffe nach dem Sunfire-Verfahren mit SOEC)

## Reversibles Hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)

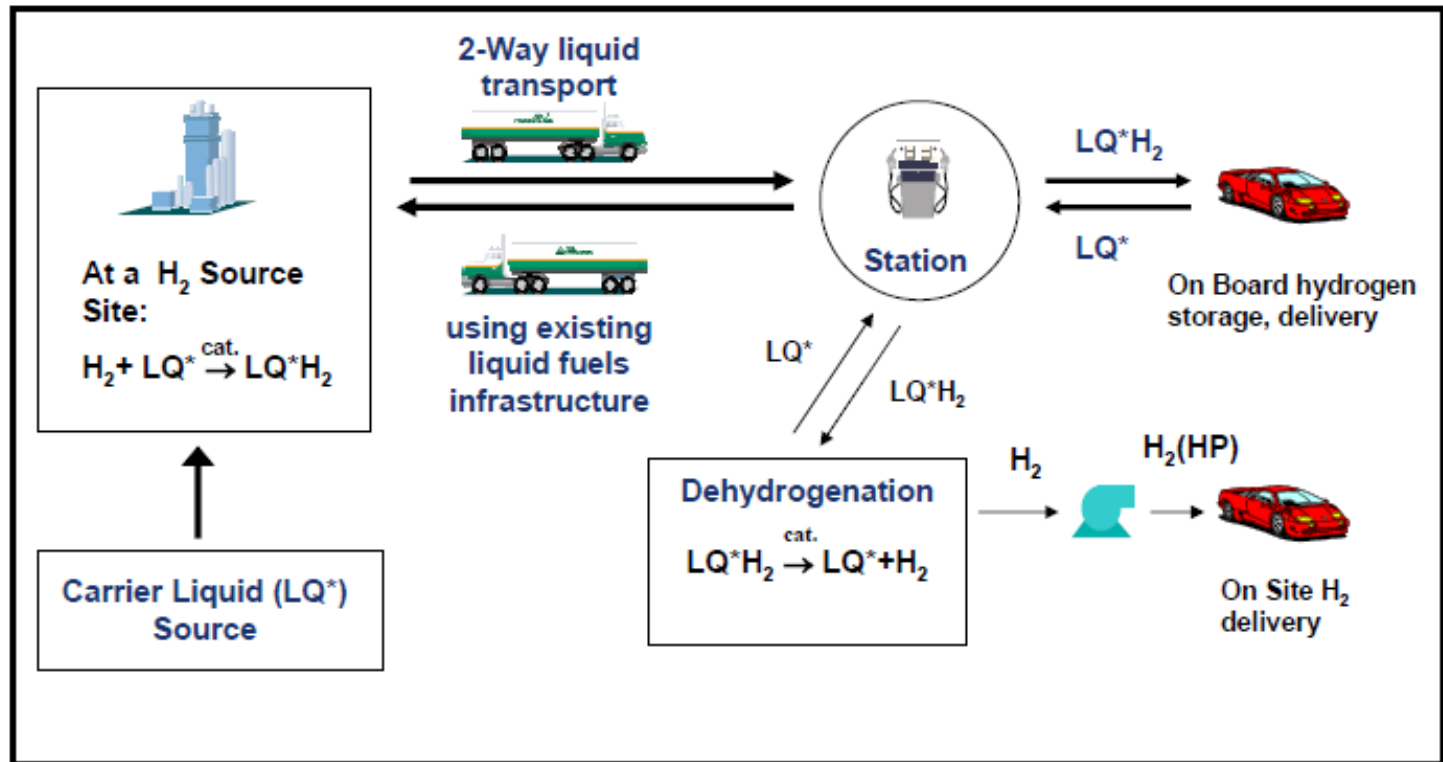


Quelle: Cooper, Air Products, 2006



Quelle: FAU Erlangen 2014

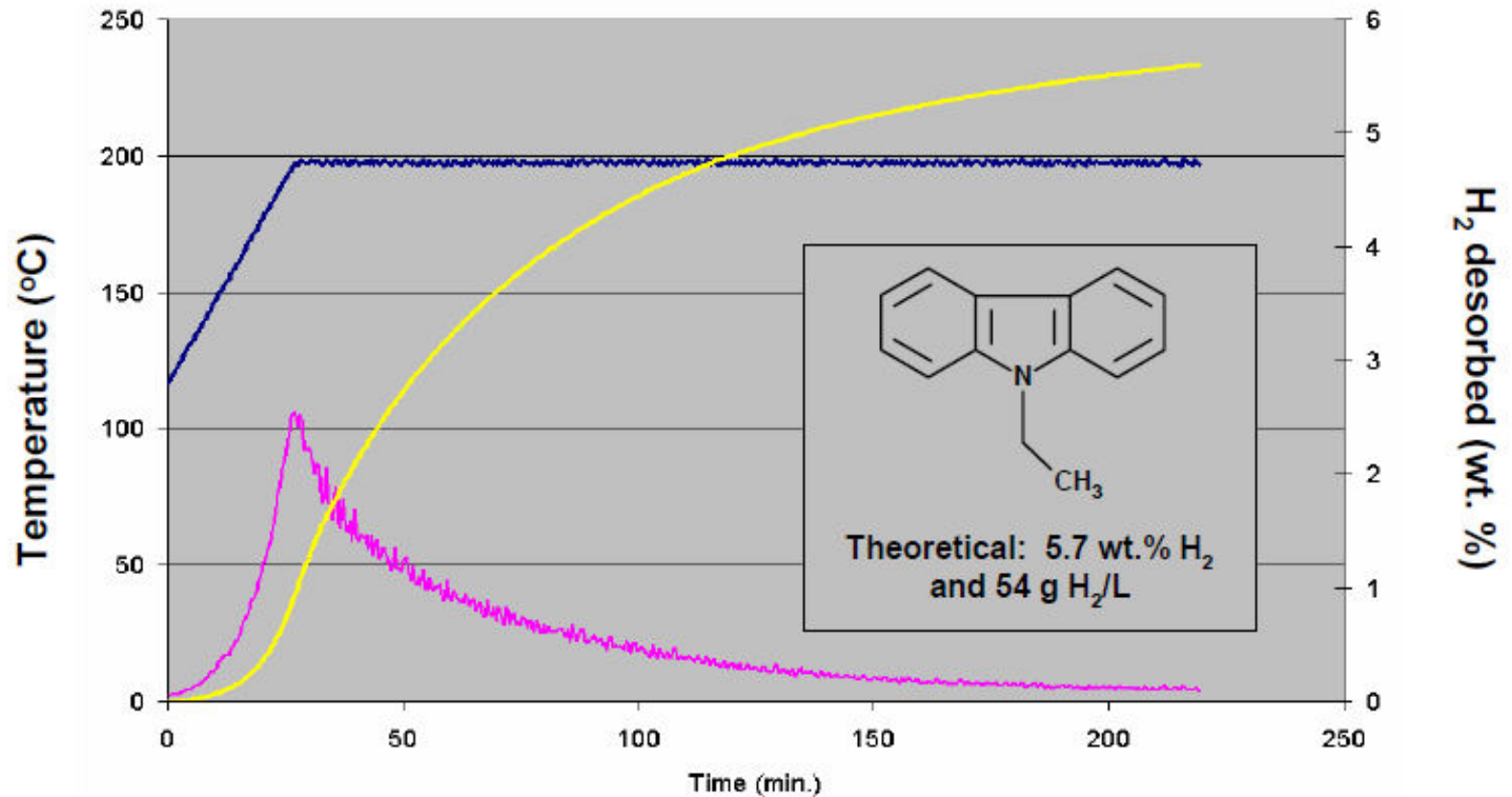
## Reversibles Hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)



Quelle: Pez, Cooper, Air Products, 2006

## Reversibles Hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)

**Beispiel:** Dehydrieren von Perhydro-N-Ethylcarbazol

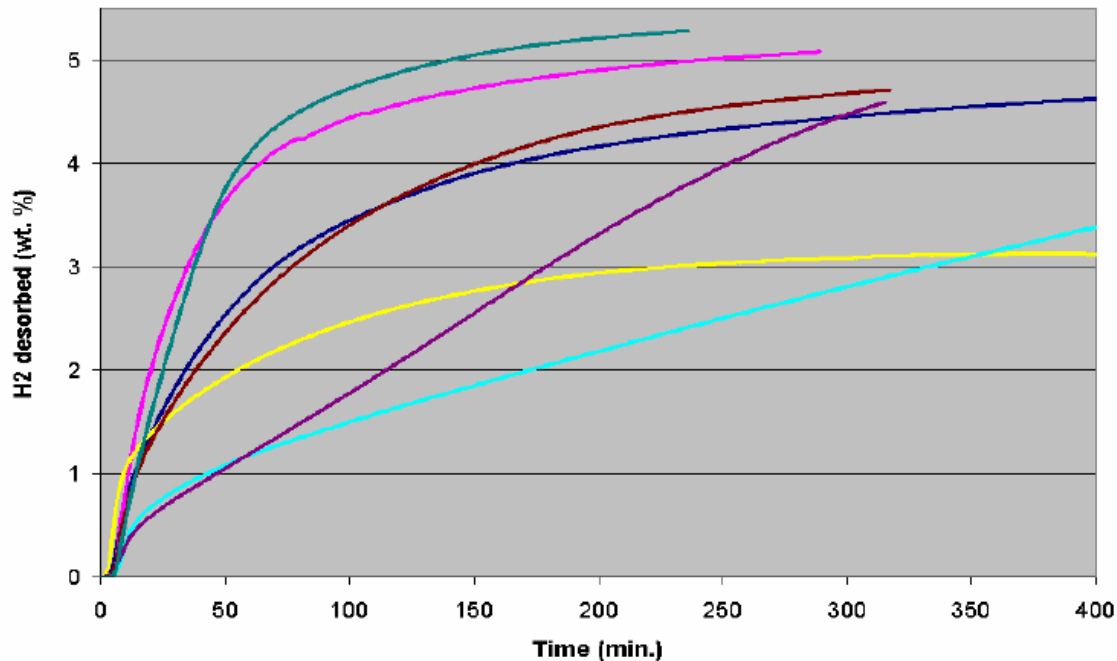


Quelle: Cooper, Air Products, 2006



## Reversibles Hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)

**Beispiel:** Dehydrieren von Perhydro-N-Ethylcarbazol

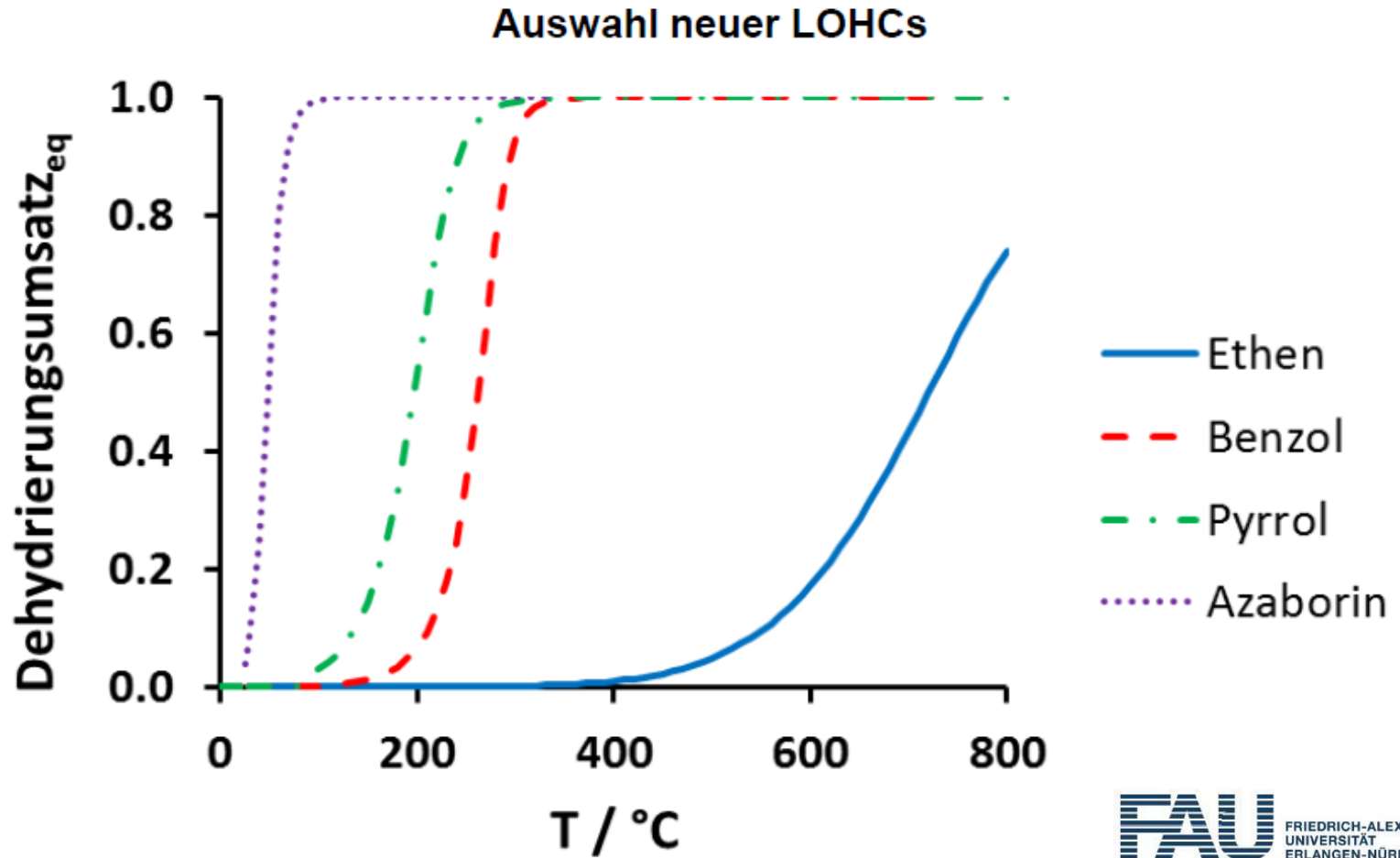


**Festbettreaktor,**  
ca. 320 °C

Quelle: Cooper, Air Products, 2006



## Reversibles Hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)



Quelle: FAU 2014

## Reversibles Hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)



**Pilotanlage bei Chiyoda** in Japan: Produktion von  $50 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2$  pro Stunde  
Eingesetzter Träger: Toluol / Methylcyclohexan



**Pilotanlage bei Chiyoda** in Japan: Speicherung von  $10.000 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2$   
Mittels Methylcyclohexan in Tanks à  $20 \text{ m}^3$

## Reversibles Hydrieren organischer Trägerflüssigkeiten (LOHC)



---

# Anwendungsfelder

**Einzelnes Haus**

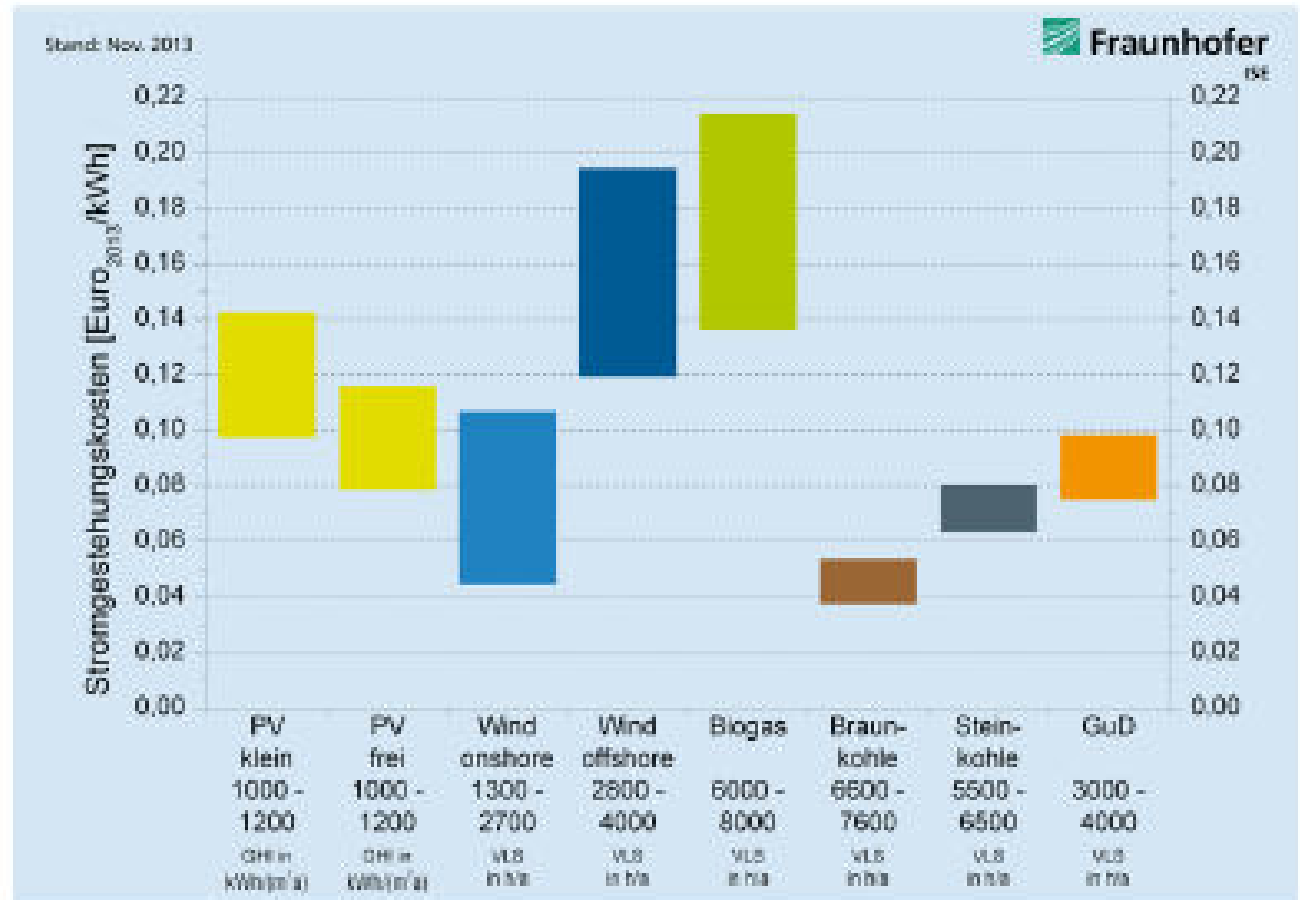
**Dorf, Siedlung, Kleingewerbe, kleinere Agrarbetriebe**

**Große Agrarbetriebe, Region**

**Sektorkopplung (EE-Strom → Kraftstoff, „Heizöl“)**

# Wirtschaftlichkeit

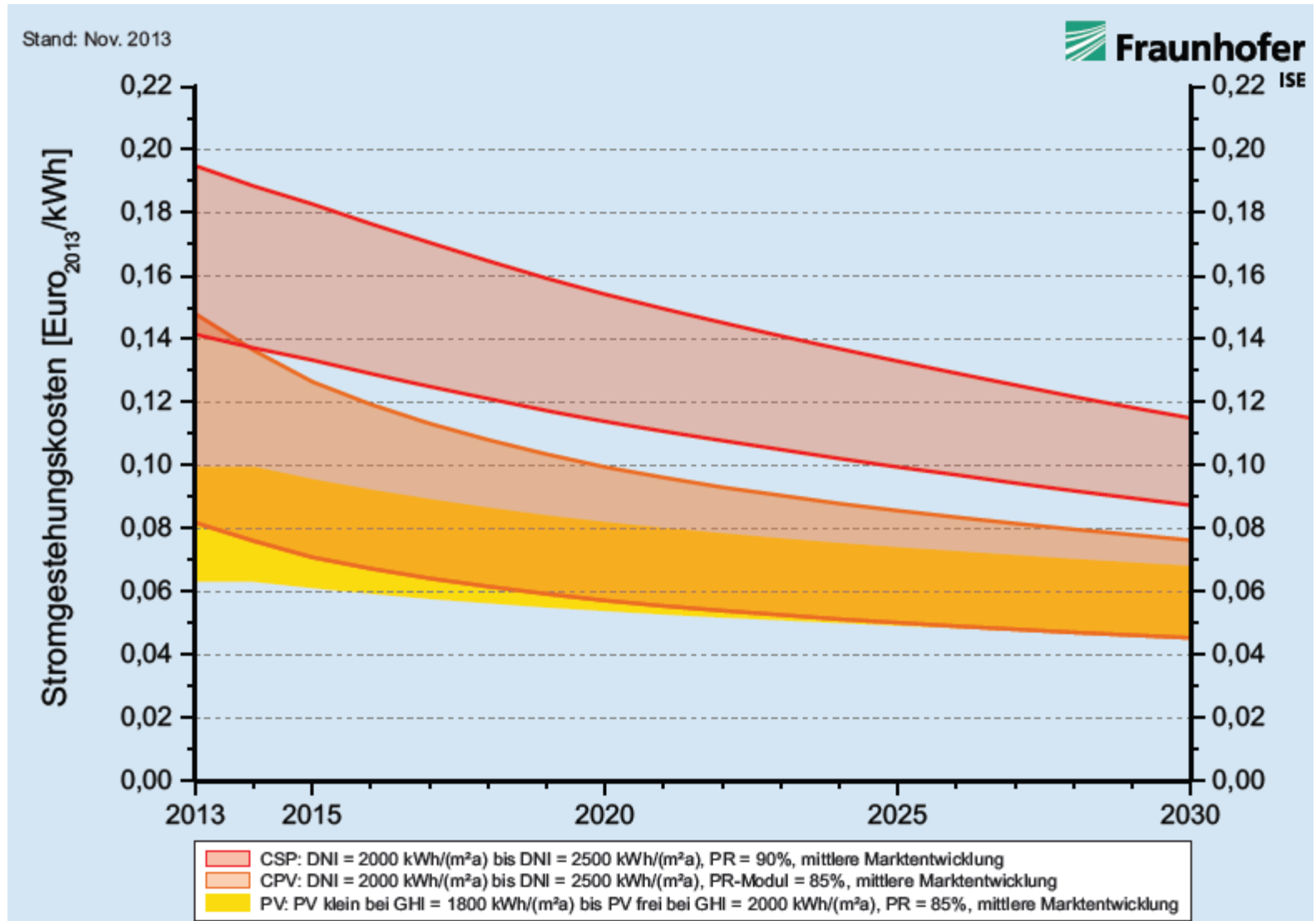
**Stromkosten !**

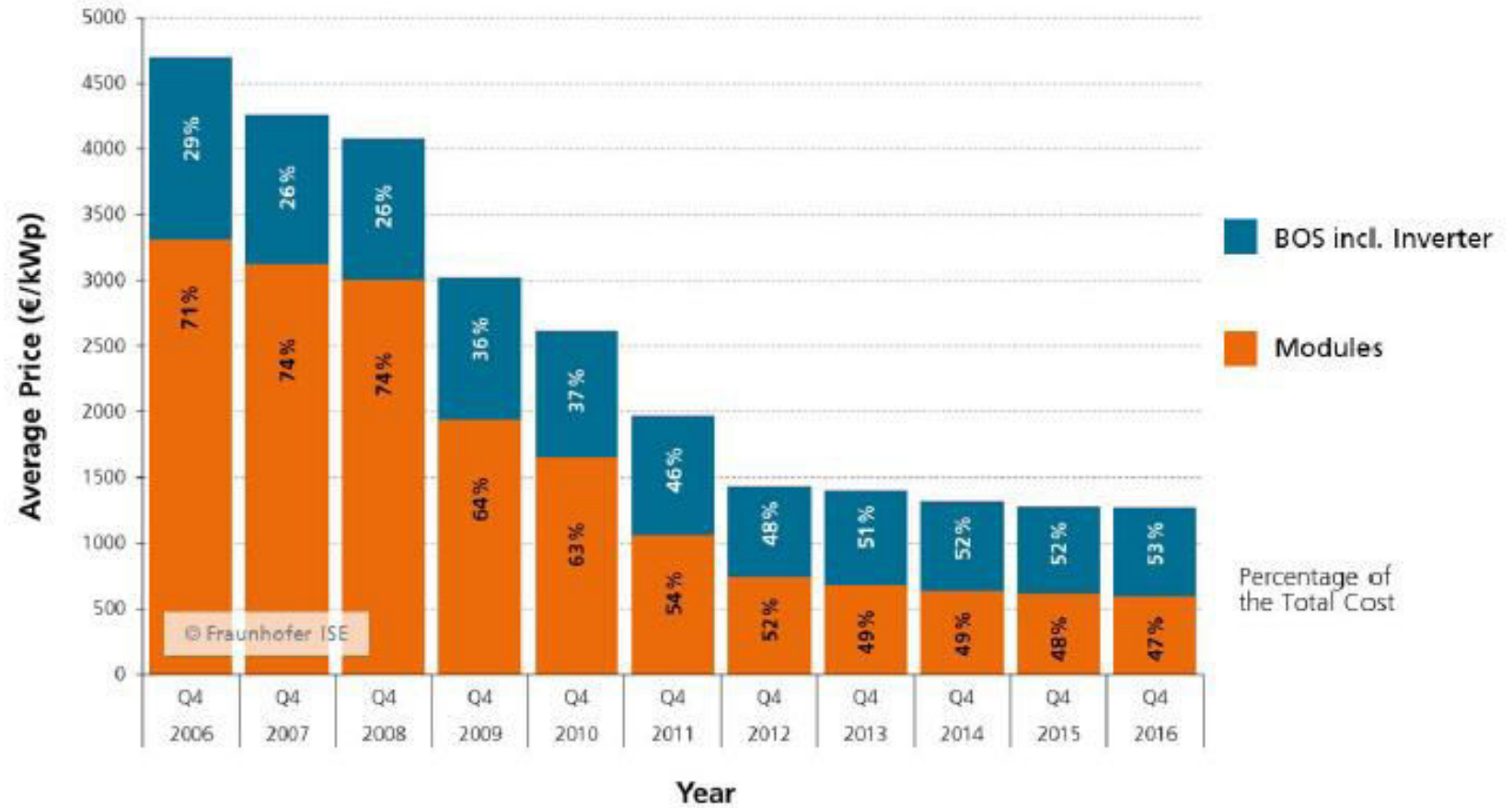


Quelle: Fraunhofer ISE 2013

Stand: Nov. 2013

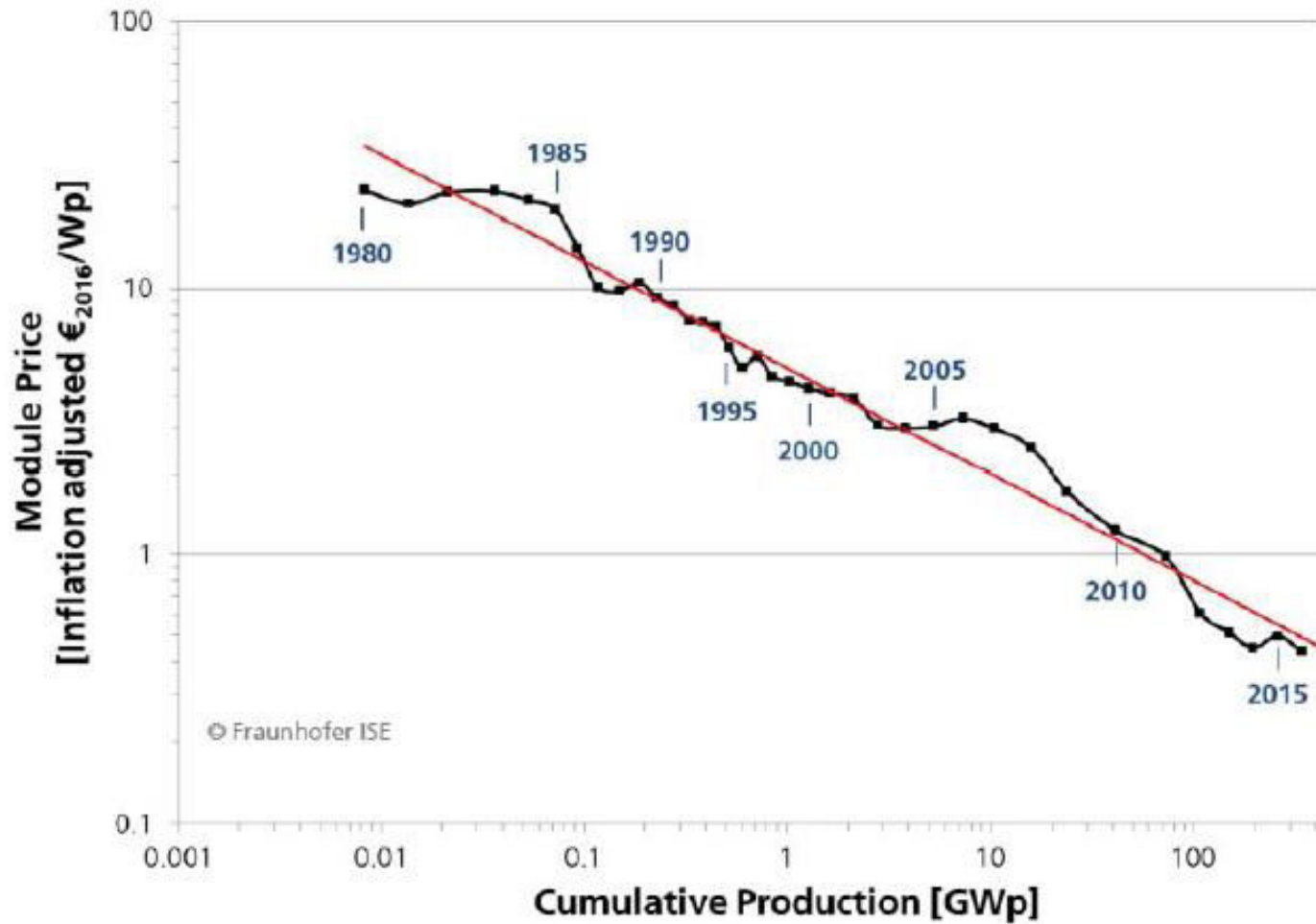
Quelle: Fraunhofer ISE 2013





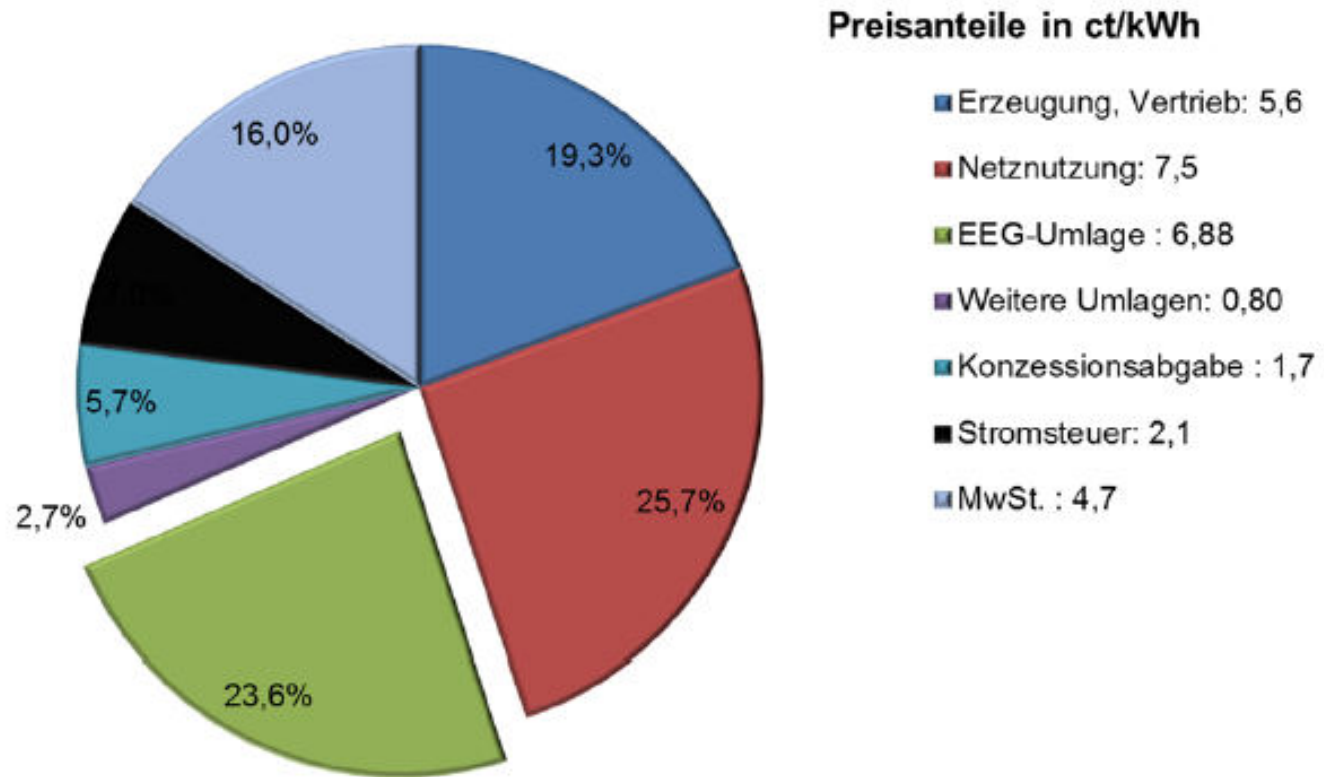
Quelle: Fraunhofer ISE November 2017





Quelle: Fraunhofer ISE November 2017





Quelle: Fraunhofer ISE November 2017



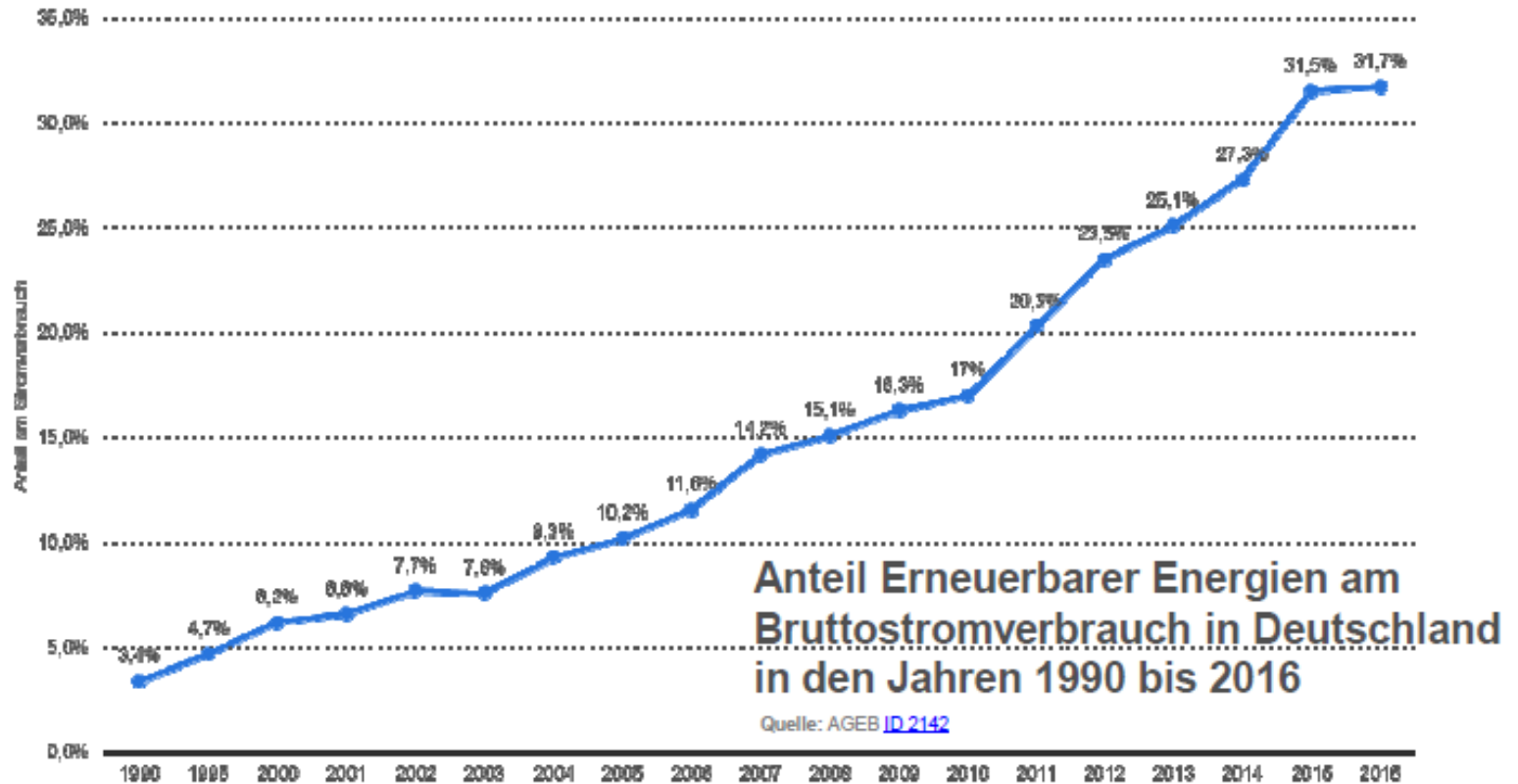
# Anhang

## CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr

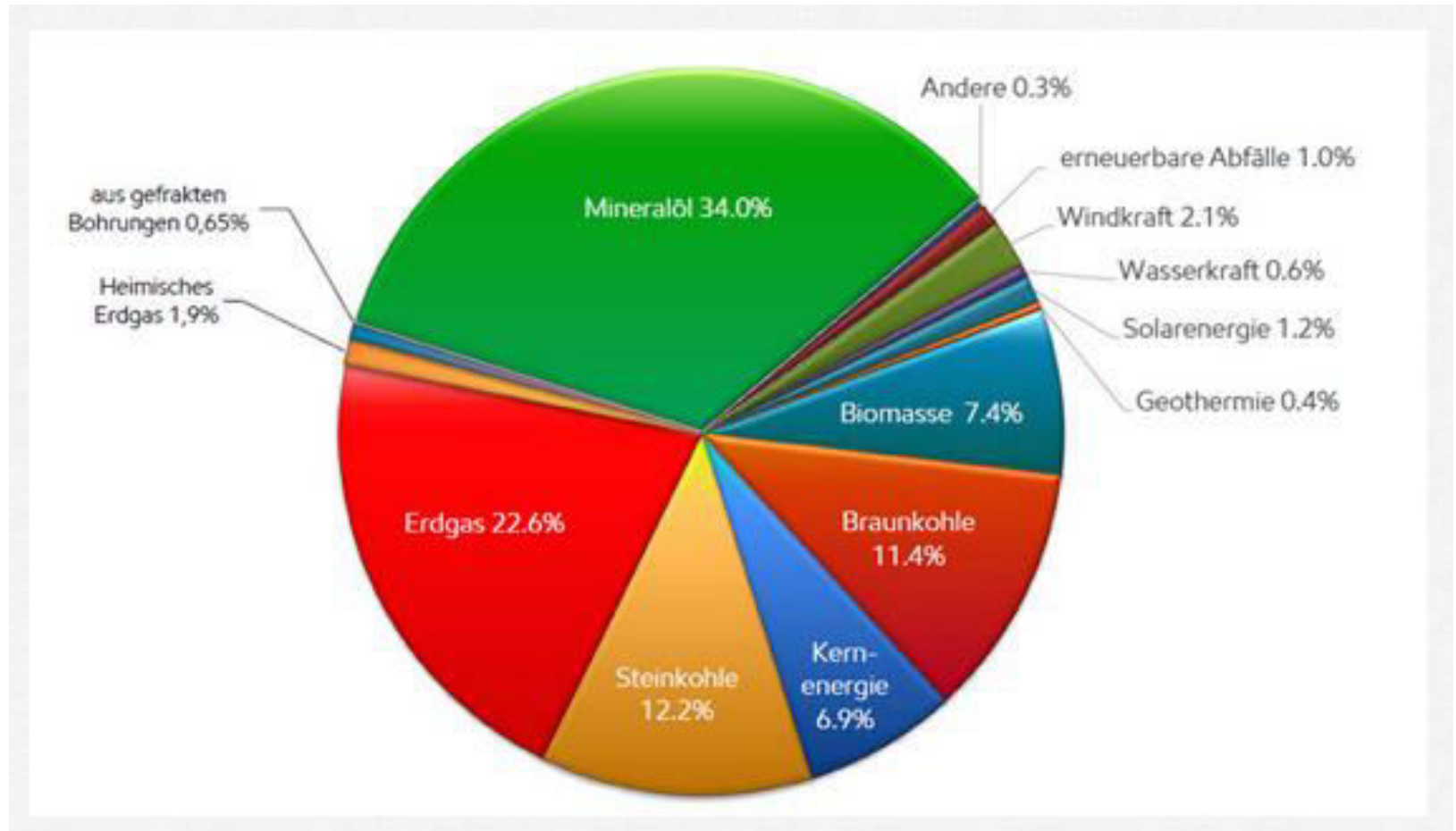
Die CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. der Kraftstoffverbrauch von Nutzfahrzeugen unterliegt bislang keiner Limitierung durch den Ordnungsgeber. Durch den wirtschaftlichen Wunsch der Betreiber, möglichst kostengünstig Transportleistungen zu erbringen, sollte angenommen werden, dass Nutzfahrzeuge generell verbrauchsoptimiert konzipiert werden. Die zu den Abgasemissionen vorhandene Schere hinsichtlich einer Emissionsminderung zu Lasten des Kraftstoffverbrauches hat jedoch zu teilweise gegenläufigen Entwicklungen geführt. Gleiches gilt für das stetig gestiegene Transportaufkommen, das alle technisch realisierten Verbrauchsoptimierungen kompensiert hat. So stieg z. B. der durch den Straßengüterverkehr allein in Deutschland verursachte Kraftstoffverbrauch in den Jahren von 1991 bis 2005 um 38,2 %. Die zuletzt prognostizierten Zahlen lassen diesbezüglich keine Trendwende erkennen.

„Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Nutzfahrzeugen“, UBA Texte: 86/2013

## Anteil der EE am Bruttostromverbrauch in D

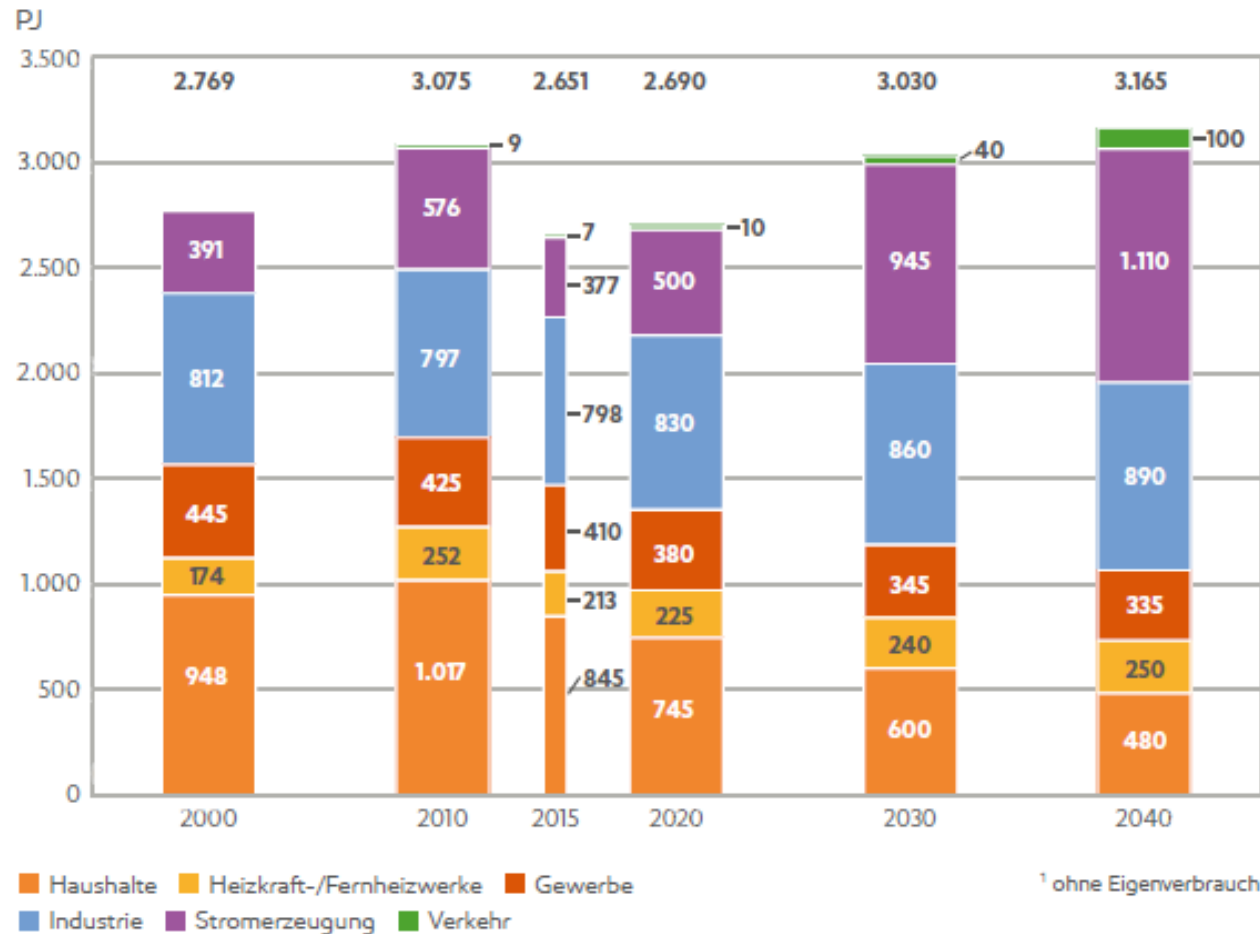


## Primärenergieanteile in Deutschland in 2016



<http://www.erdgas-aus-deutschland.de/de-de/erdgas/einsatzgebiete/einsatzgebiete/einsatzgebiete>

## Erdgasverbrauch nach Sektoren



[http://cdn.exxonmobil.com/~media/germany/files/energieprognose/energieprognose\\_2016.pdf](http://cdn.exxonmobil.com/~media/germany/files/energieprognose/energieprognose_2016.pdf)

## Einsatzgebiete von Erdgas

**Ca. 55 % für Raumwärme  
und Industrie (Wärme)**



**Kochen**



**Heizen / Warmwasser**



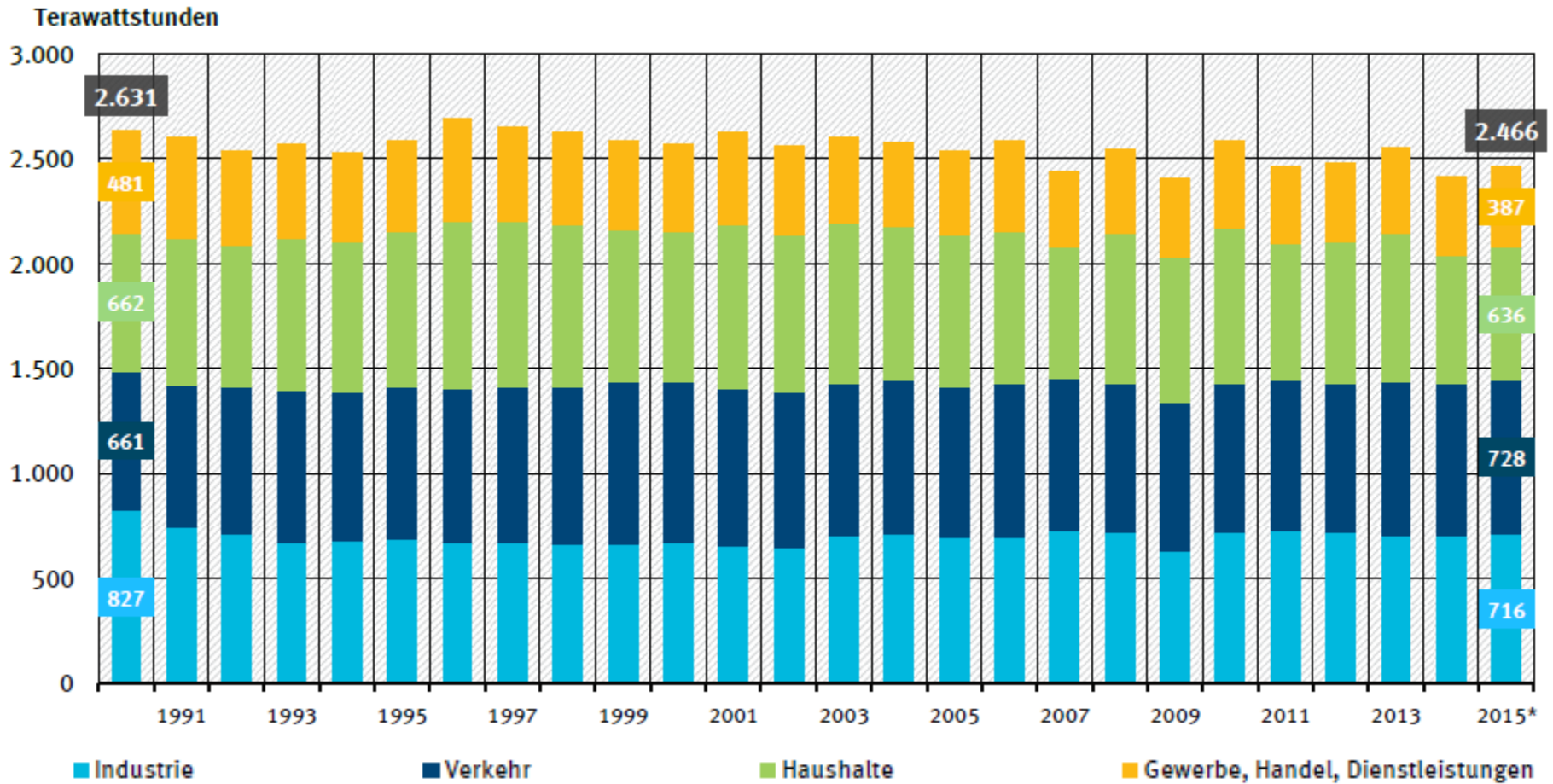
**Verkehr**



**Stromerzeugung**



# Endenergieverbrauch in Deutschland



[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2\\_abb\\_entw-eev-sektoren\\_2017-02-17\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_entw-eev-sektoren_2017-02-17_0.pdf)

## Anteil der EE am Bruttostromverbrauch und Bruttoendenergieverbrauch

