



Leibniz  
Forschungszentrum  
Energie 2050



Leibniz  
Universität  
Hannover

# Sektorkopplung: Auf dem Weg zur Dekarbonisierung des Energiesystems - Hintergründe, Ansätze, Herausforderungen

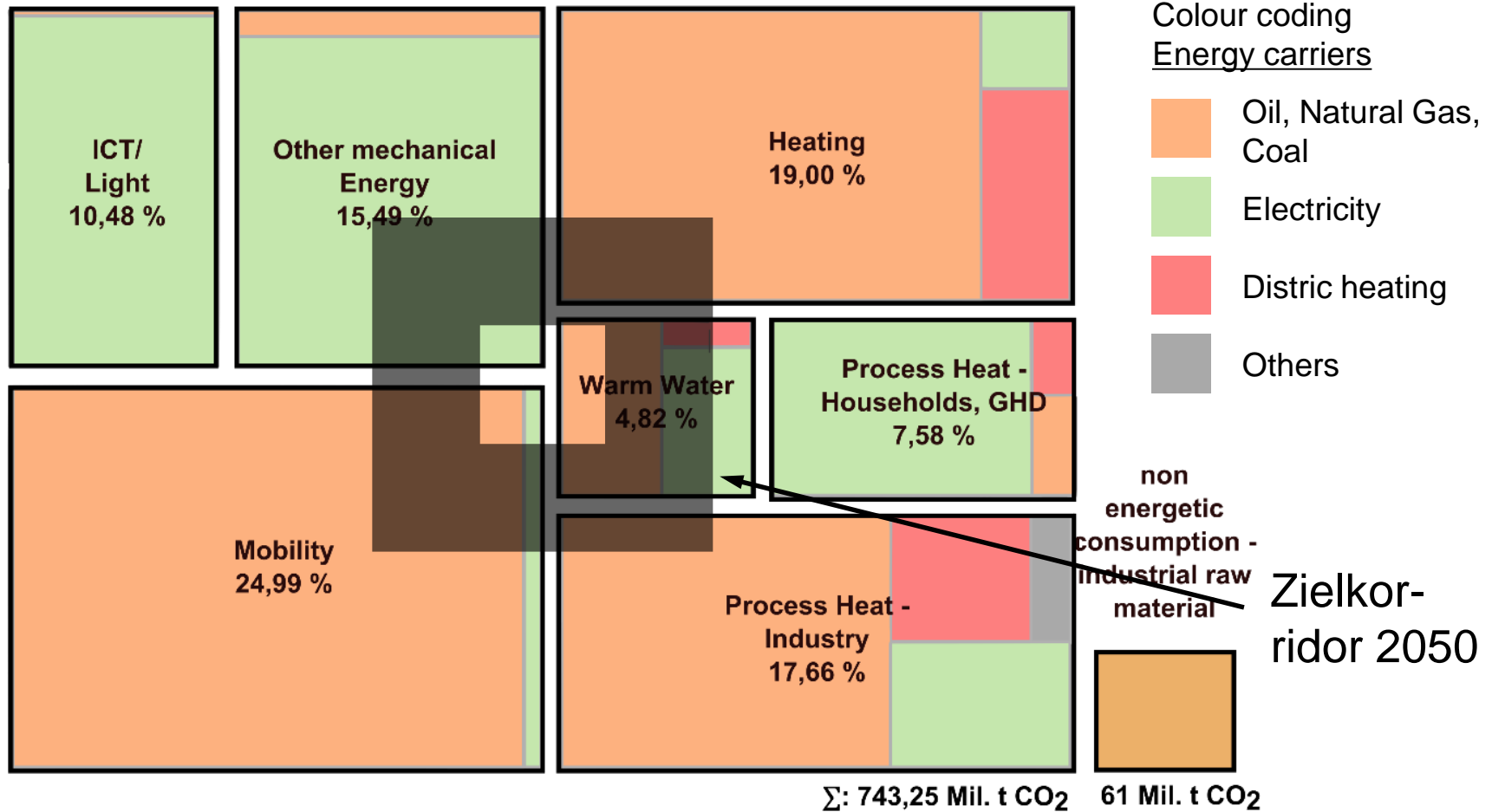
Richard Hanke-Rauschenbach<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)  
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

<sup>2</sup>Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

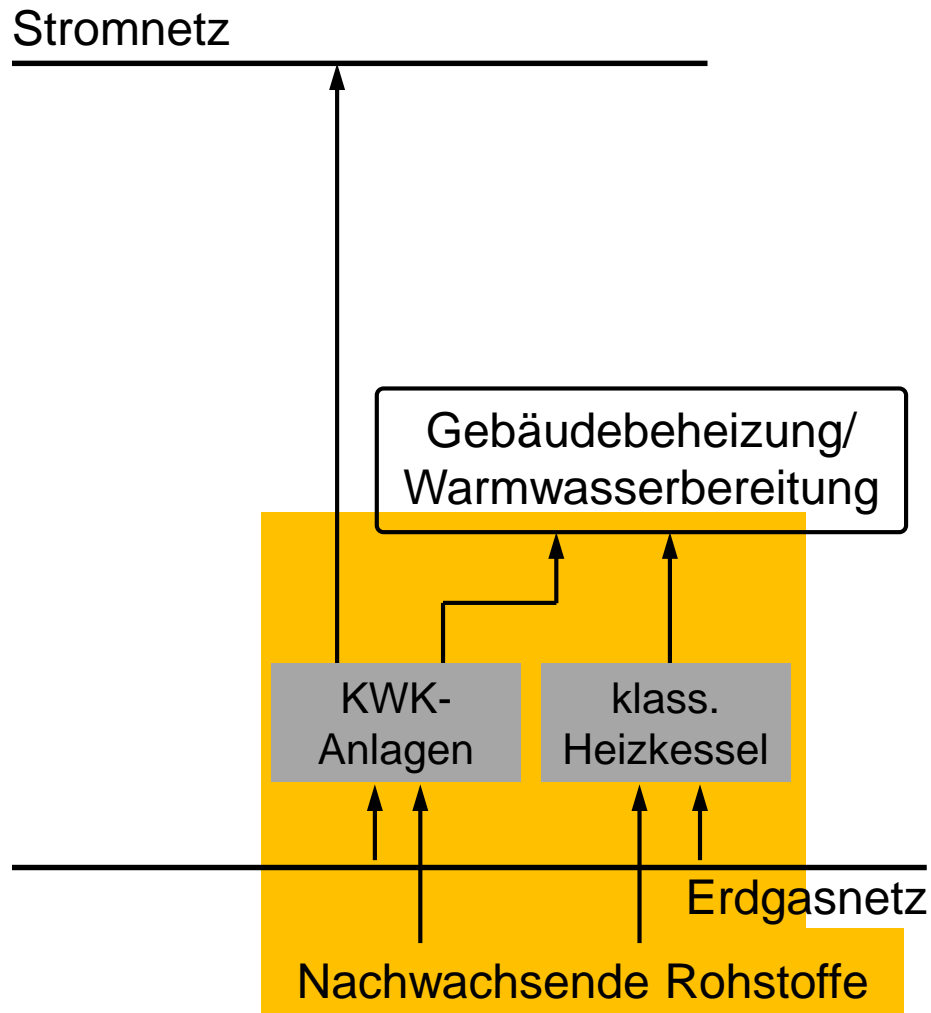
- 1. Die Sektorkopplung stellt ein wichtiges Lösungselement im Kontext der Wärme-/Verkehrswende dar.**
2. Die Umsetzung der Sektorkopplung erfordert einen gleichzeitigen (!) Zubau erneuerbarer Energien. Missachtung dieses Grundsatzes führt gegenwärtig zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
3. Die Sektorkopplung bietet unter bestimmten Voraussetzungen Flexibilitäten für den Betrieb des Stromsystems und hilft damit Speicherbedarfe zu senken.
4. Der Zubau Erneuerbarer zur Verwendung in der Sektorkopplung kommt unter bestimmten Voraussetzungen ohne Netzausbau aus.

# CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Anwendungsbereichen (Basisjahr: 2014)



B. Bensmann. Energetische Untersuchungen zur Druckwasserelektrolyse im Kontext von Power-to-Gas-Anwendungen. Dissertationsschrift Universität Magdeburg, 2017.

# Wärmesektor: Beispiel Gebäudebeheizung/ Warmwasserbereitung



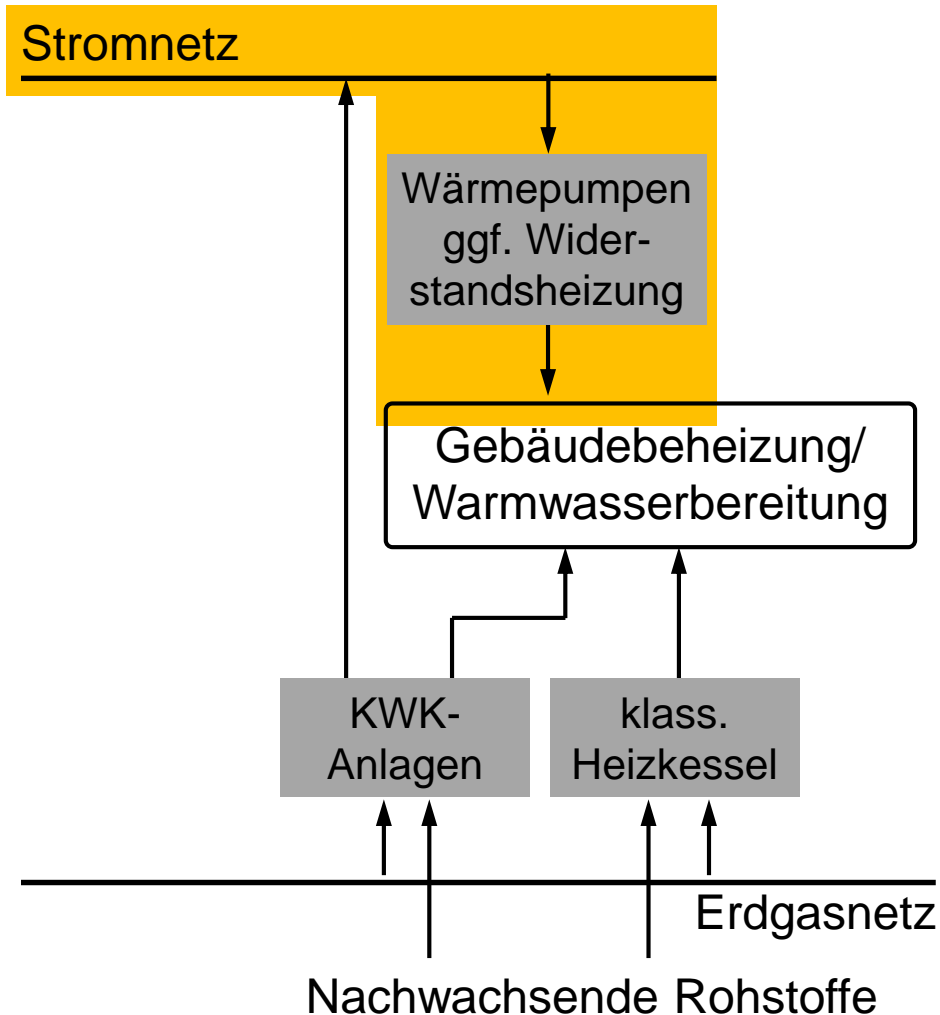
jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
178 Mio t<sub>CO2</sub> (24% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
770 TWh (32% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
  - + Nutzung bestehender Infrastr.
  - + liefern aktuell 105 TWh (entspricht 90% des EE-Anteils)
  - + Bedarfsgerechte Bereitstellung möglich
- insg. begrenztes Potential
- niedrige Kettenwirkungsgrade, hoher Flächenbedarf, deshalb Einhaltung Nutzungskaskade

\*Bezugsjahr: 2014

# Wärmesektor: Beispiel Gebäudebeheizung/ Warmwasserbereitung



jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
178 Mio t<sub>CO2</sub> (24% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
770 TWh (32% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

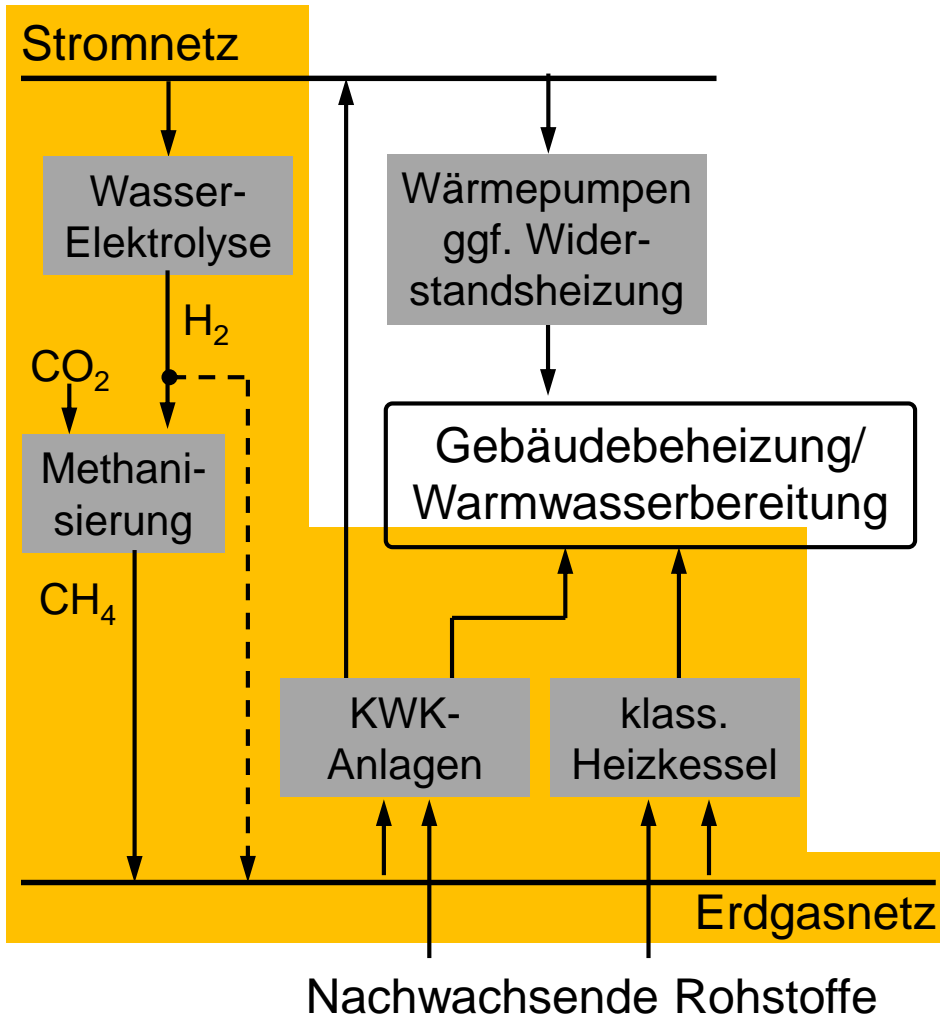
- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Power-to-Heat

mittels Wärmepumpenanlagen  
1 kWh elekt. → >3 kWh therm.

mittels Widerstandsheizung  
1 kWh elekt. → ≈1 kWh therm.

\*Bezugsjahr: 2014

# Wärmesektor: Beispiel Gebäudebeheizung/ Warmwasserbereitung



jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
178 Mio  $t_{CO_2}$  (24% d.  $CO_2$ -Emiss.)  
770 TWh (32% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

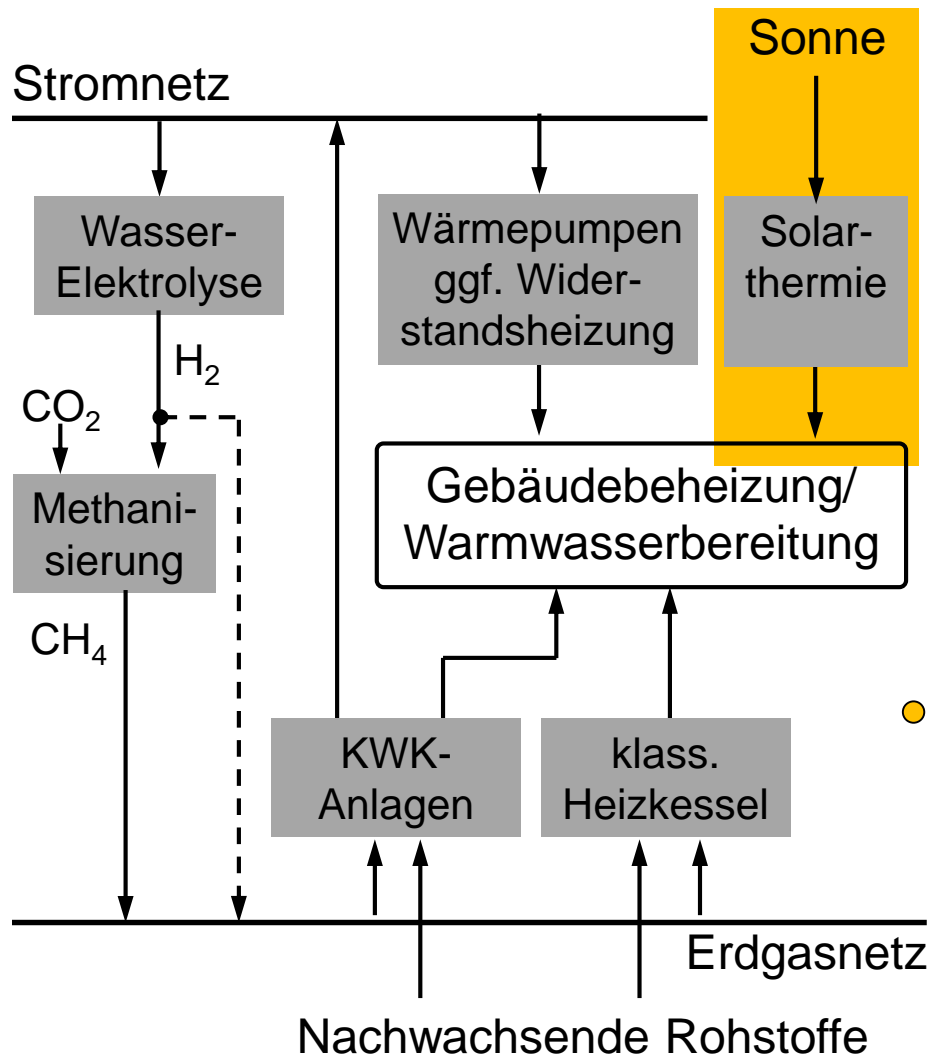
- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Power-to-Heat
- Power-to-Gas-to-Heat

+ Ausnutzung bestehender Infrastruktur

- schlechter Kettenwirkungsgrad  
1 kWh el.  $\rightarrow \approx 0,6$  kWh therm.

\*Bezugsjahr: 2014

# Wärmesektor: Beispiel Gebäudebeheizung/ Warmwasserbereitung



jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
178 Mio t<sub>CO2</sub> (24% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
770 TWh (32% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

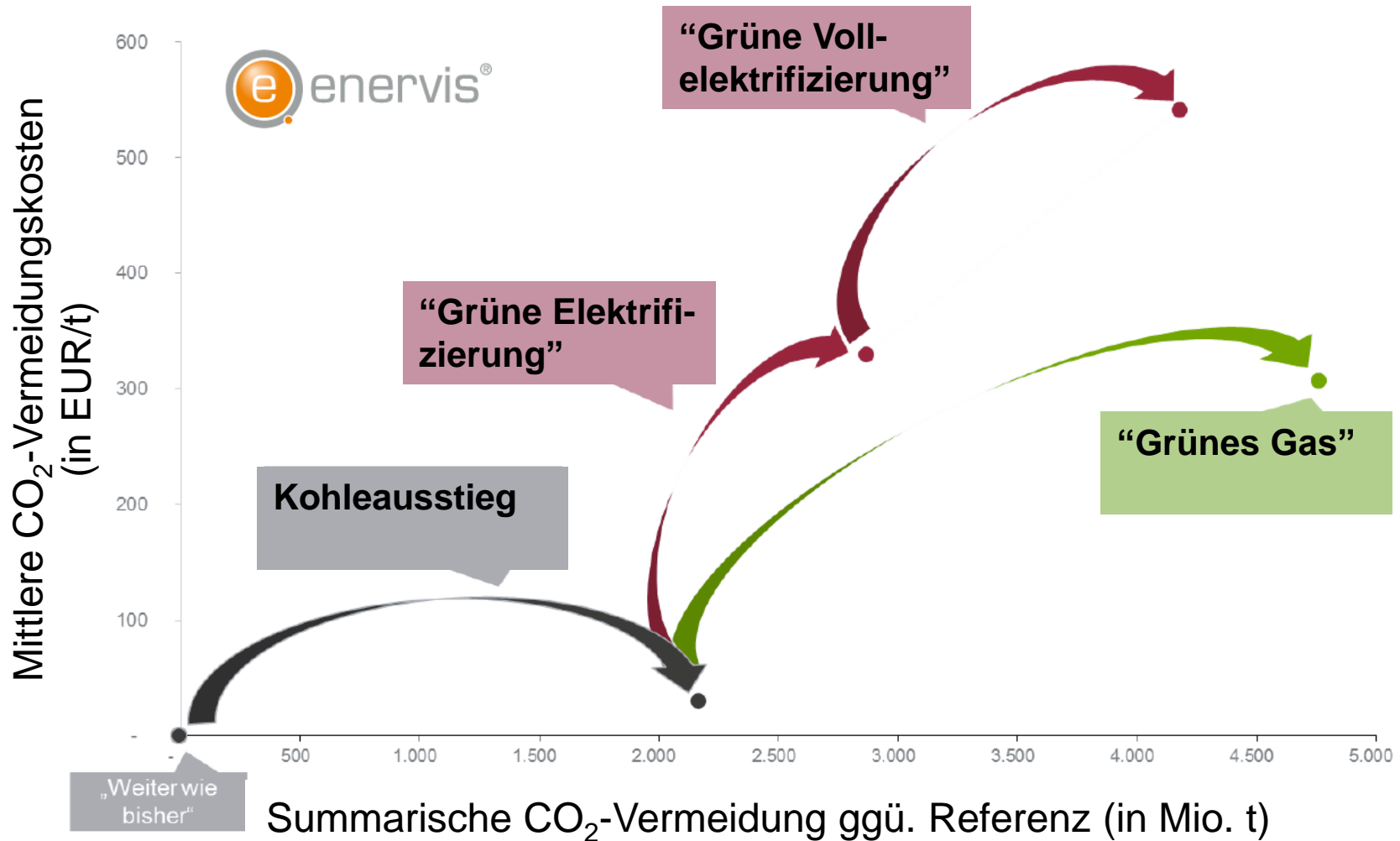
- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Power-to-Heat
- Power-to-Gas-to-Heat
- Direkte Nutzung erneuerbarer Energie



Bezugsjahr: 2014

# Welcher Pfad ist der Richtige? Gegenstand mehrerer aktueller Studien

Quelle: Ecke et al. (enervis): Klimaschutz durch Sektorenkopplung  
– Optionen, Szenarien, Kosten. März 2017





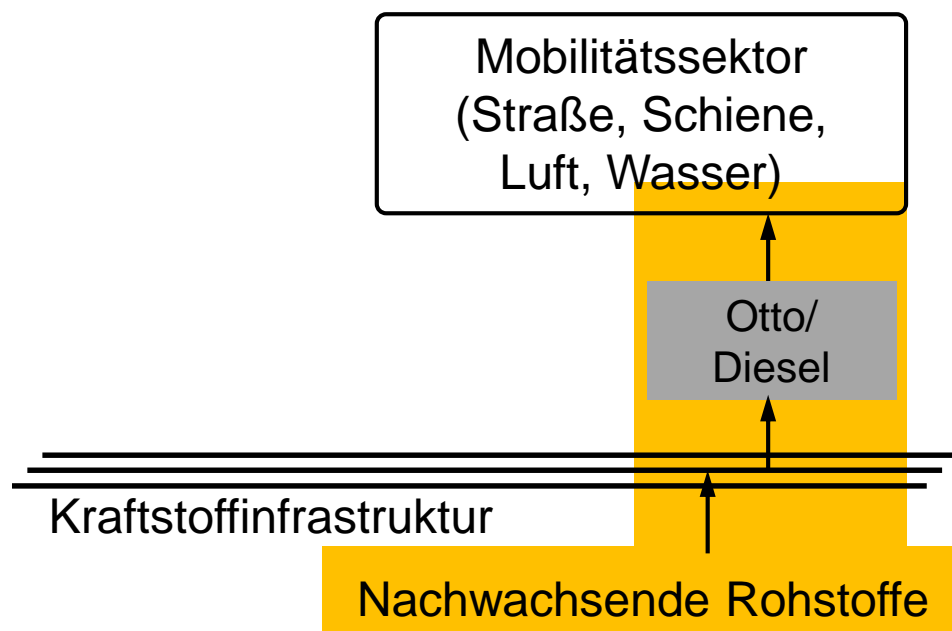
## Stromnetz

---

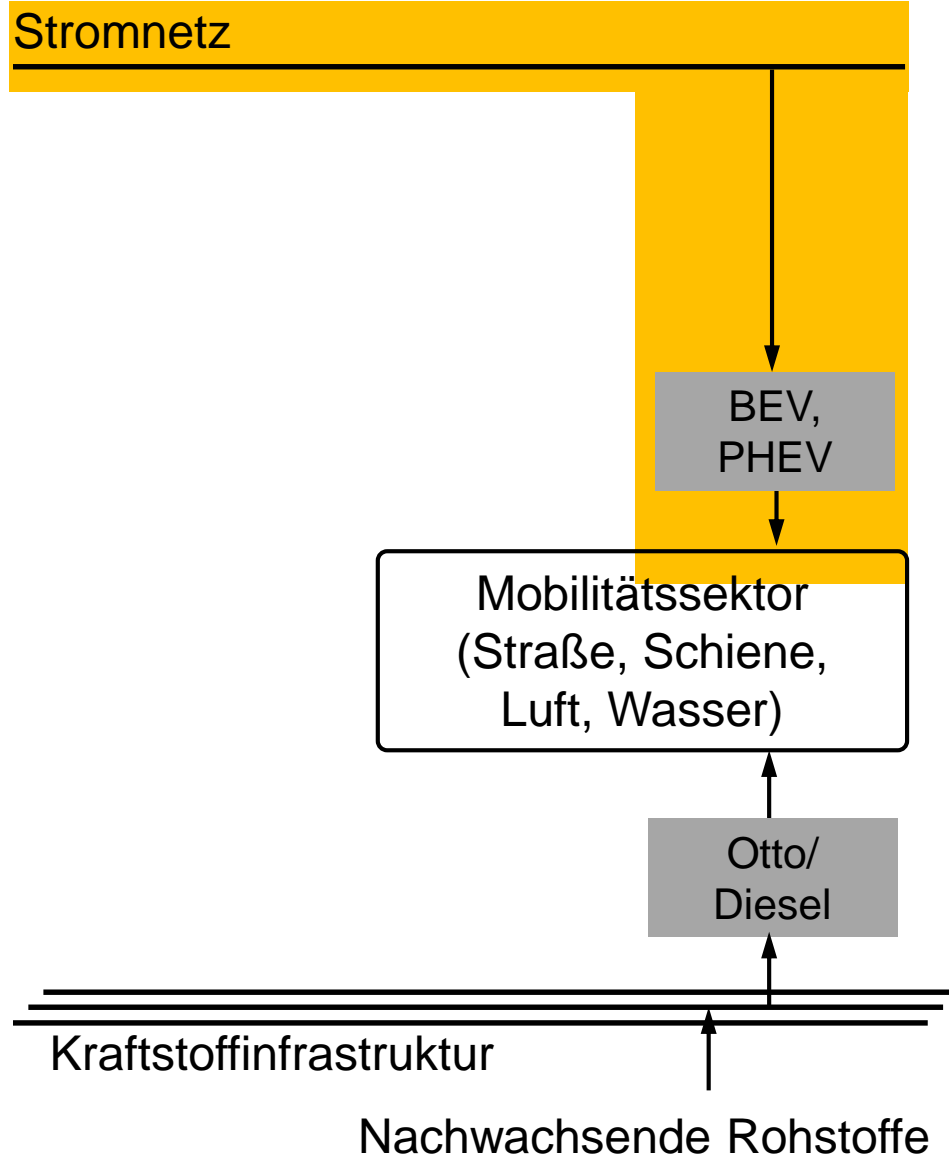
jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
185 Mio t<sub>CO<sub>2</sub></sub> (25% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- + Nutzung bestehender Infrastr.
- + liefern aktuell 35 TWh (entspricht 99% des EE-Anteils)
- insg. begrenztes Potential
- niedrige Kettenwirkungsgrade, hoher Flächenbedarf



\*Bezugsjahr: 2014

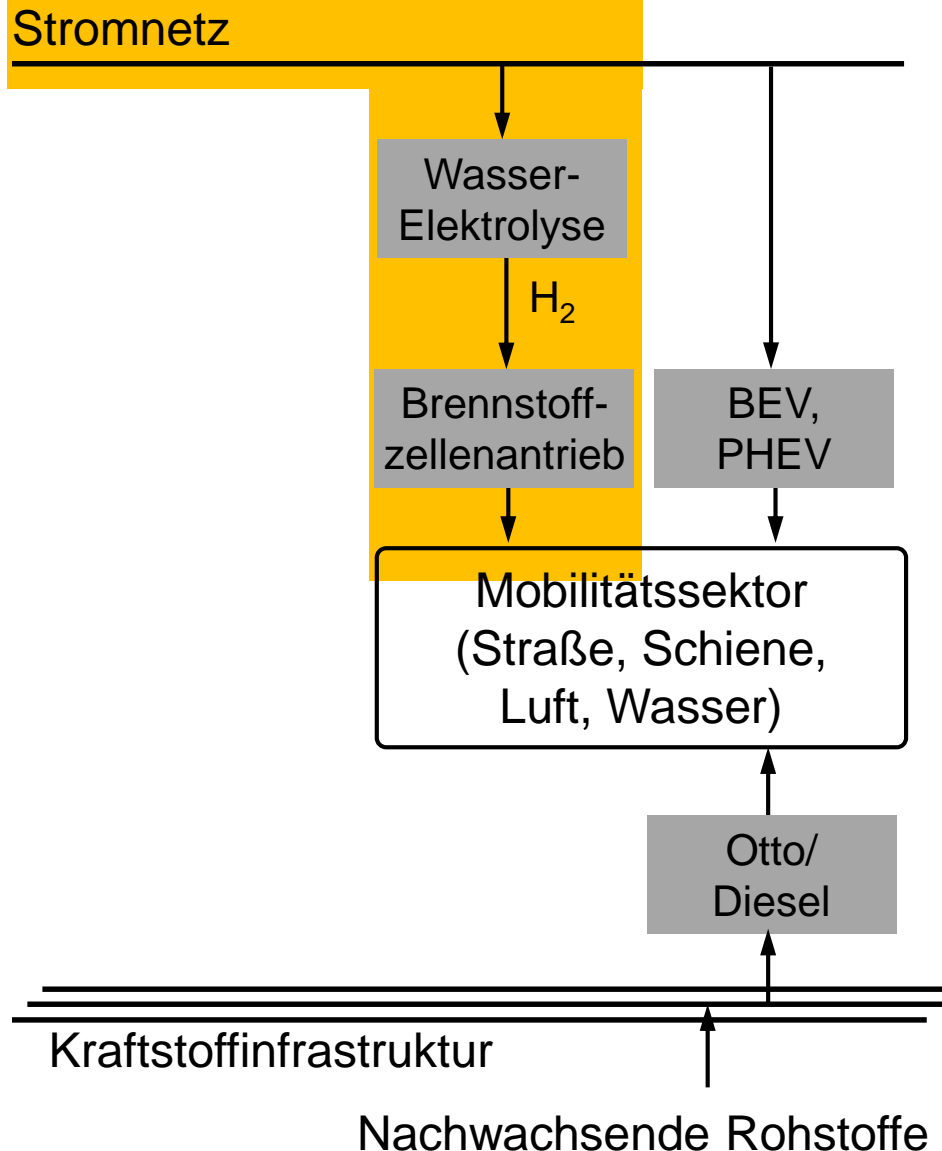


jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
185 Mio t<sub>CO2</sub> (25% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität (Power-to-Mobility)
- + sehr guter Kettenwirkungsgrad
- gegenwärtig häufig mit Komforteinschränkungen verbunden

\*Bezugsjahr: 2014



jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
185 Mio t<sub>CO<sub>2</sub></sub> (25% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

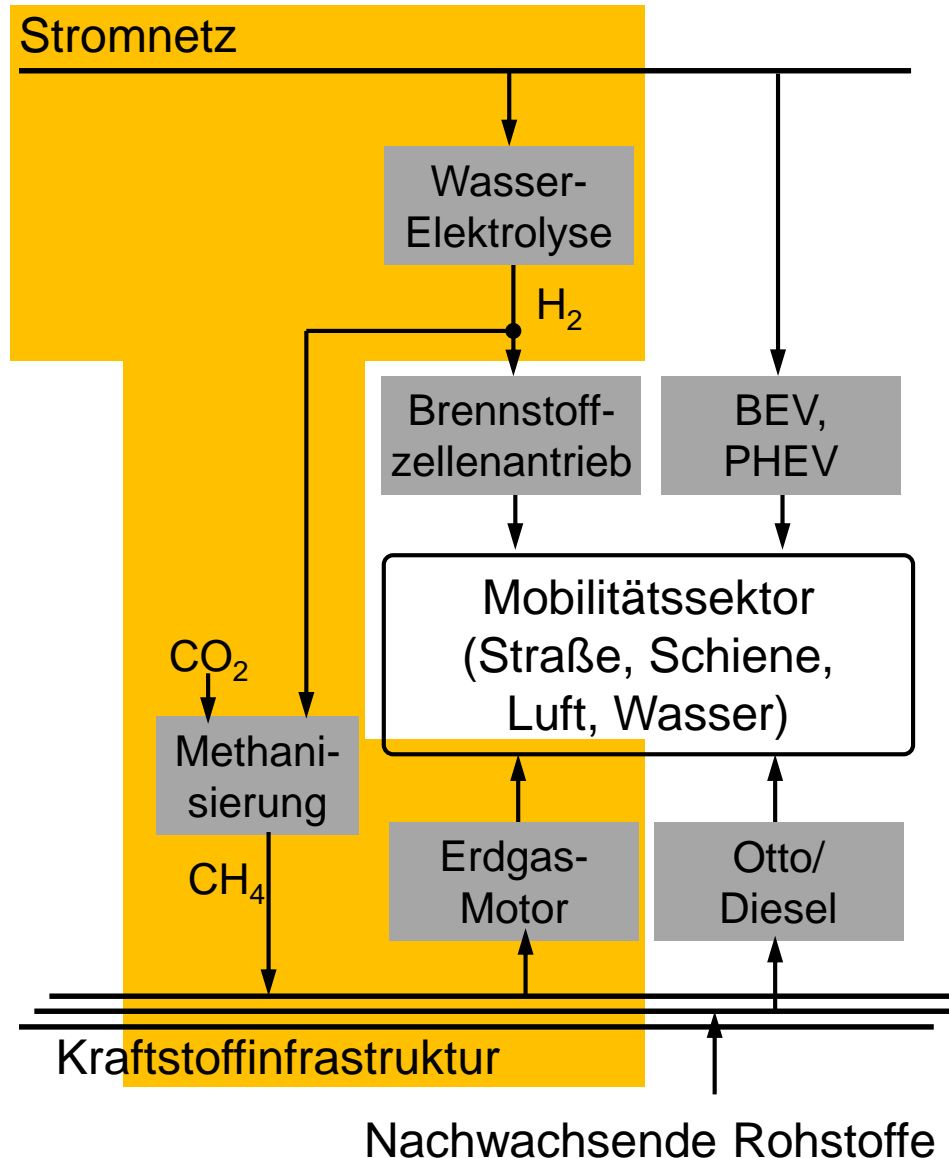
- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität

– Wasserstoff-Mobilität  
(Power-to-Gas-to-Mobility)

\* weniger starke Komfort-einschränkungen

\* mäßiger Kettenwirkungsgrad

\*Bezugsjahr: 2014

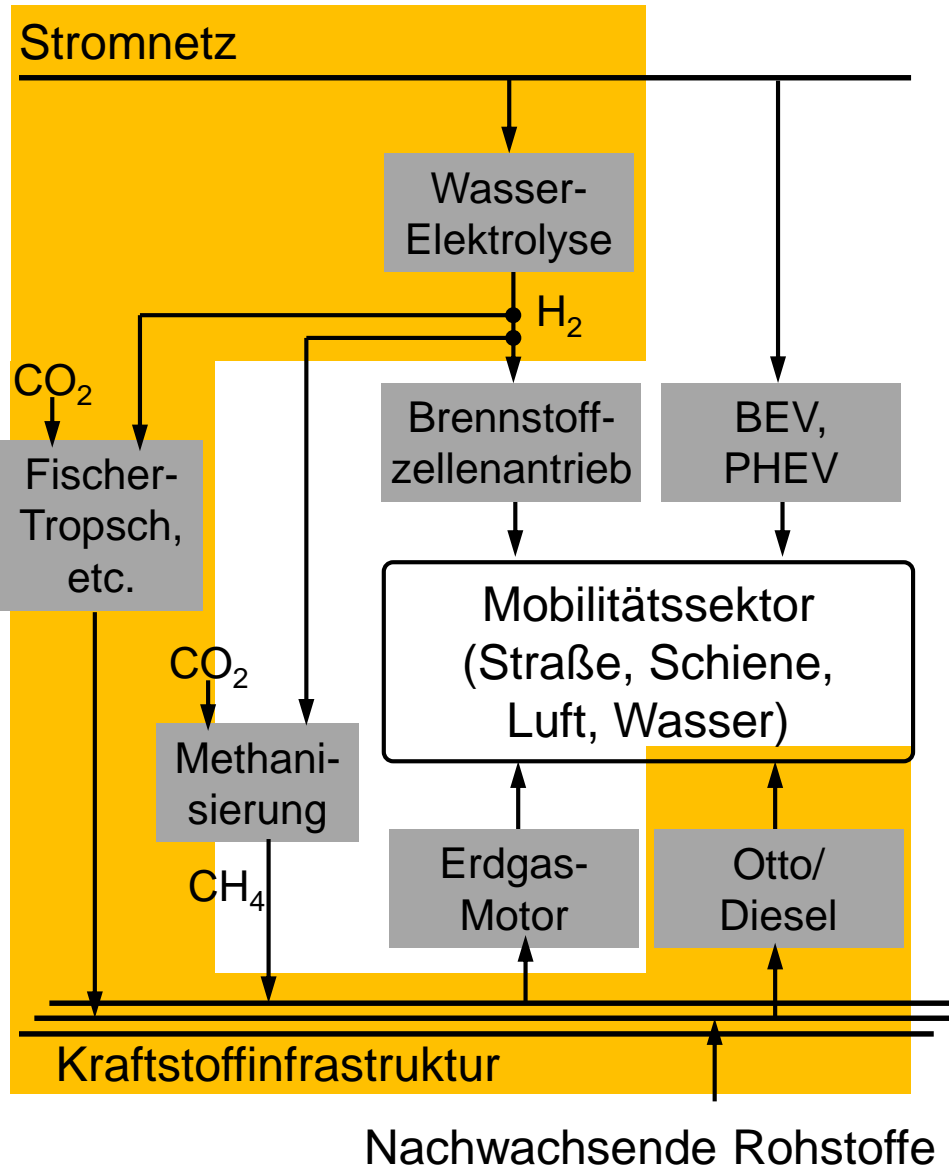


jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
185 Mio  $t_{CO_2}$  (25% d.  $CO_2$ -Emiss.)  
720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität
- Wasserstoff-Mobilität
- Synthetische Kraftstoffe (Power-to-Gas-to-Mobility)

\*Bezugsjahr: 2014



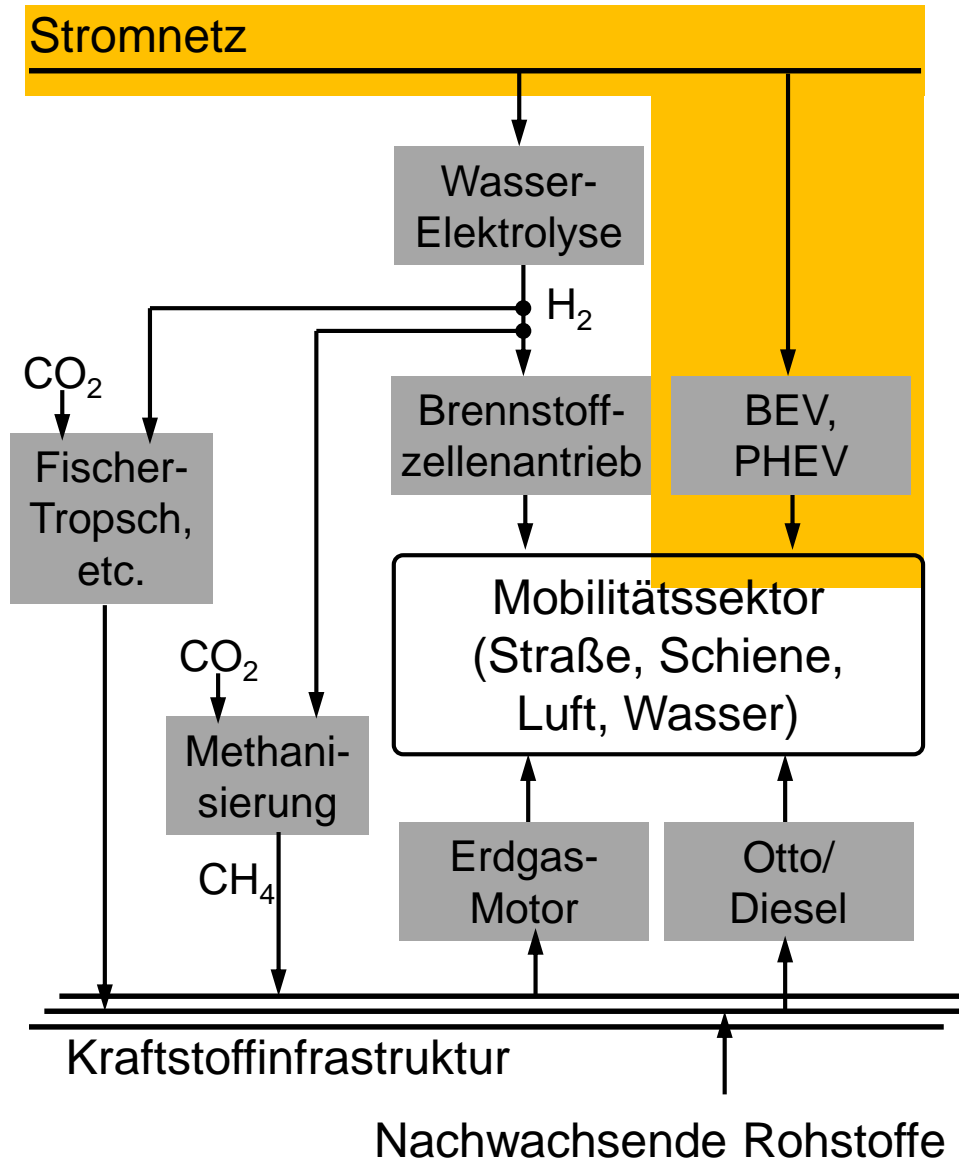
jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
 185 Mio  $t_{CO_2}$  (25% d.  $CO_2$ -Emiss.)  
 720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität
- Wasserstoff-Mobilität
- Synthetische Kraftstoffe (Power-to-Gas-to-Mobility bzw. Power-to-Fuels-to-Mobility)
- + keine Komforteinschränkungen
- + Ausnutzung bestehender Infrastruktur
- geringer Kettenwirkungsgrad

\*Bezugsjahr: 2014

1. Die Sektorkopplung stellt ein wichtiges Lösungselement im Kontext der Wärme-/Verkehrswende dar.
- 2. Die Umsetzung der Sektorkopplung erfordert einen gleichzeitigen (!) Zubau erneuerbarer Energien. Missachtung dieses Grundsatzes führt gegenwärtig zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.**
3. Die Sektorkopplung bietet unter bestimmten Voraussetzungen Flexibilitäten für den Betrieb des Stromsystems und hilft damit Speicherbedarfe zu senken.
4. Der Zubau Erneuerbarer zur Verwendung in der Sektorkopplung kommt unter bestimmten Voraussetzungen ohne Netzausbau aus.



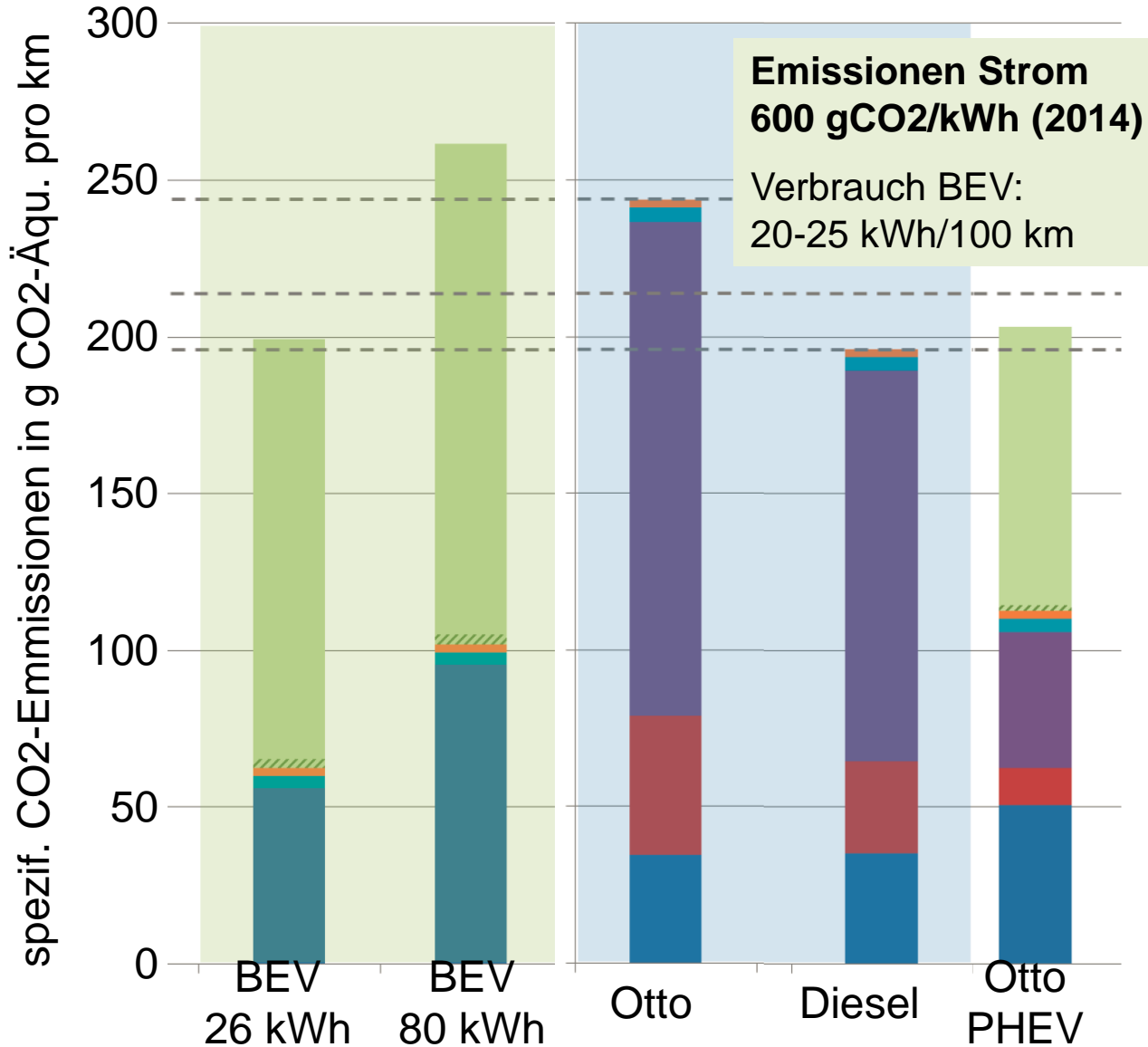
jährl. Substitutionspotential/bedarf\*:  
185 Mio t<sub>CO2</sub> (25% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

## Dekarbonisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität
- Wasserstoff-Mobilität
- Synthetische Kraftstoffe

\*Bezugsjahr: 2014

# Zu These 2 – Beispiel Mobilitätssektor



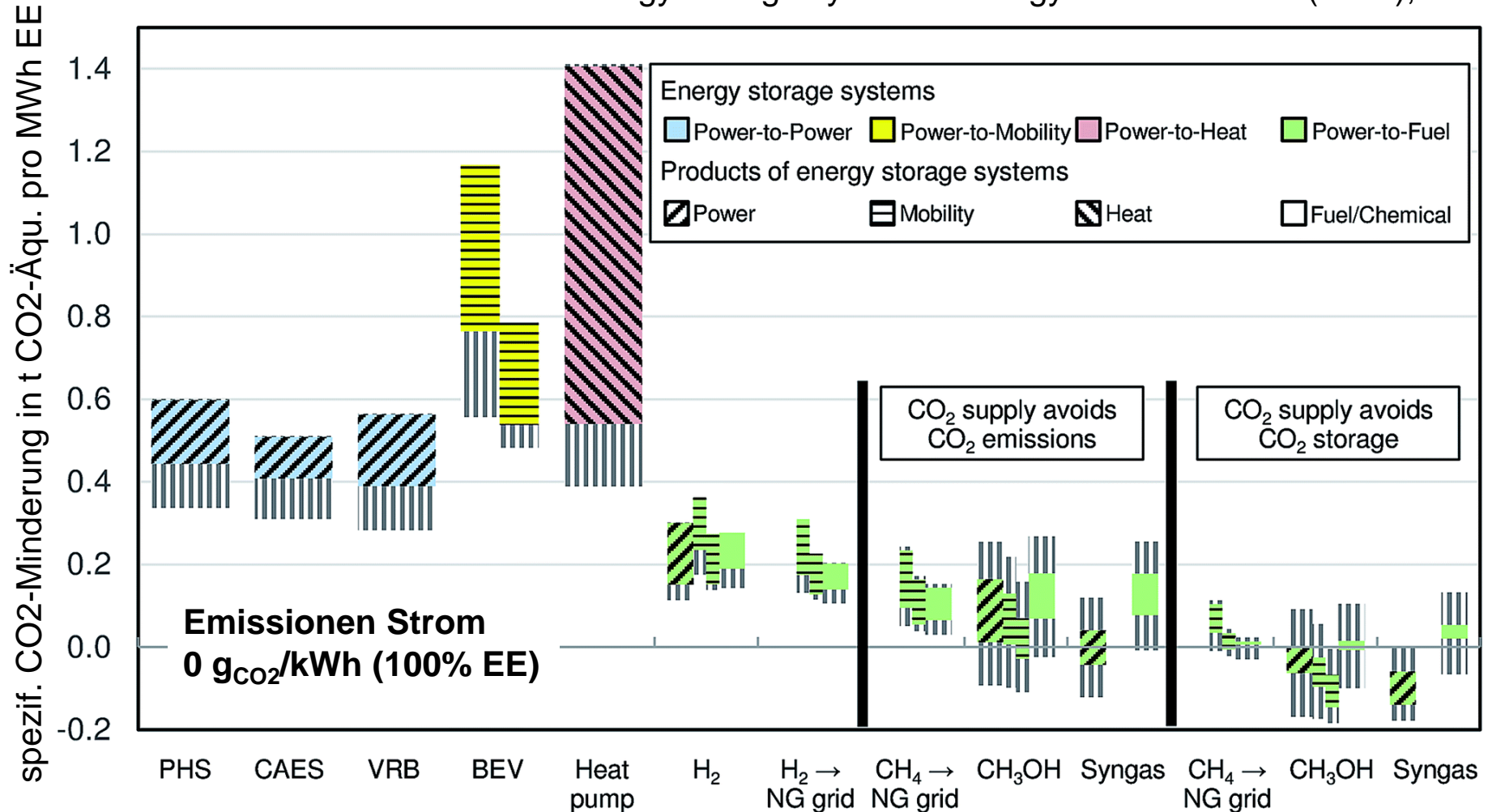
Quelle: IFEU:  
Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. 2016

- Strombereitstellung Mix
- Strombereitstellung EE
- Fahrzeugentsorgung
- Wartung
- direkte Emissionen
- Kraftstoffbereitstellung
- Fahrzeugherstellung

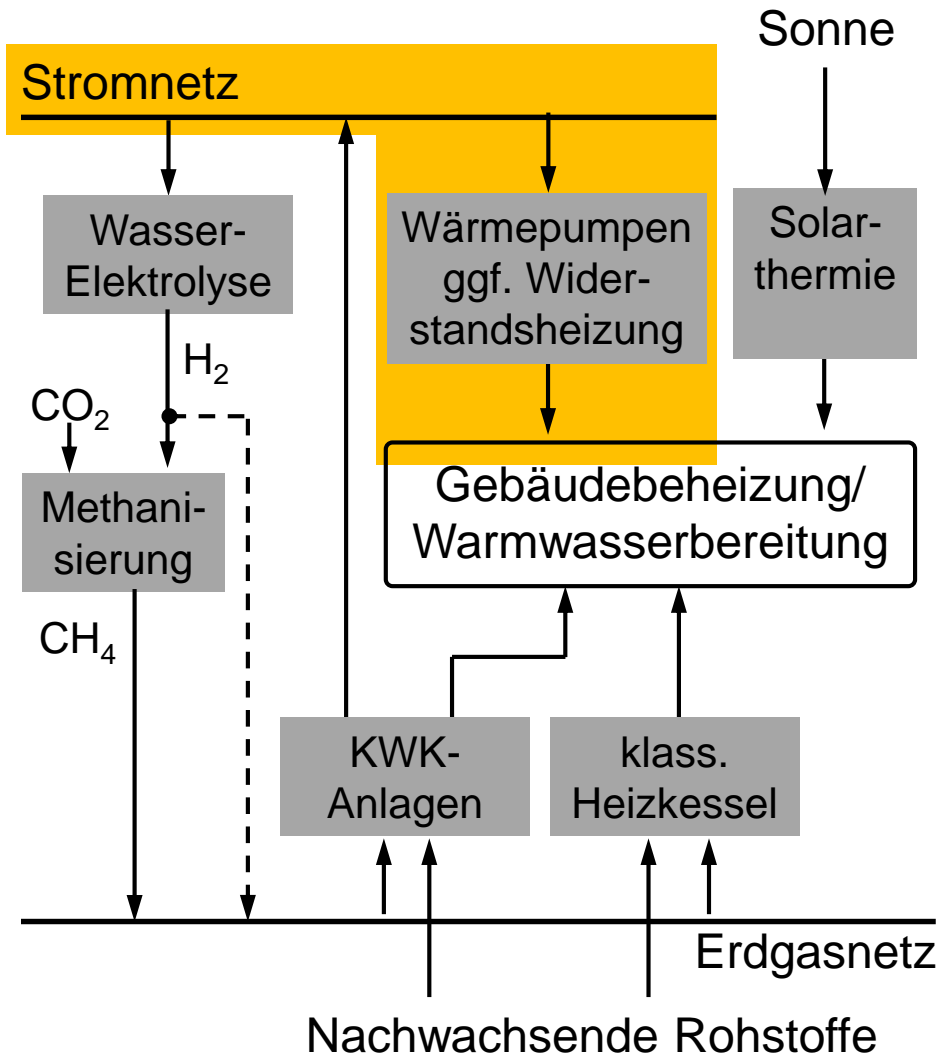


# Zu These 2 – Auf die Reihenfolge kommt es an!

Quelle: Sternberg und Bardow: Power-to-What? – Environmental assessment of energy storage systems. Energy Environ. Sci. 8 (2015), 389



1. Die Sektorkopplung stellt ein wichtiges Lösungselement im Kontext der Wärme-/Verkehrswende dar.
2. Die Umsetzung der Sektorkopplung erfordert einen gleichzeitigen (!) Zubau erneuerbarer Energien. Missachtung dieses Grundsatzes führt gegenwärtig zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
3. **Die Sektorkopplung bietet unter bestimmten Voraussetzungen Flexibilitäten für den Betrieb des Stromsystems und hilft damit Speicherbedarfe zu senken.**
4. Der Zubau Erneuerbarer zur Verwendung in der Sektorkopplung kommt unter bestimmten Voraussetzungen ohne Netzausbau aus.

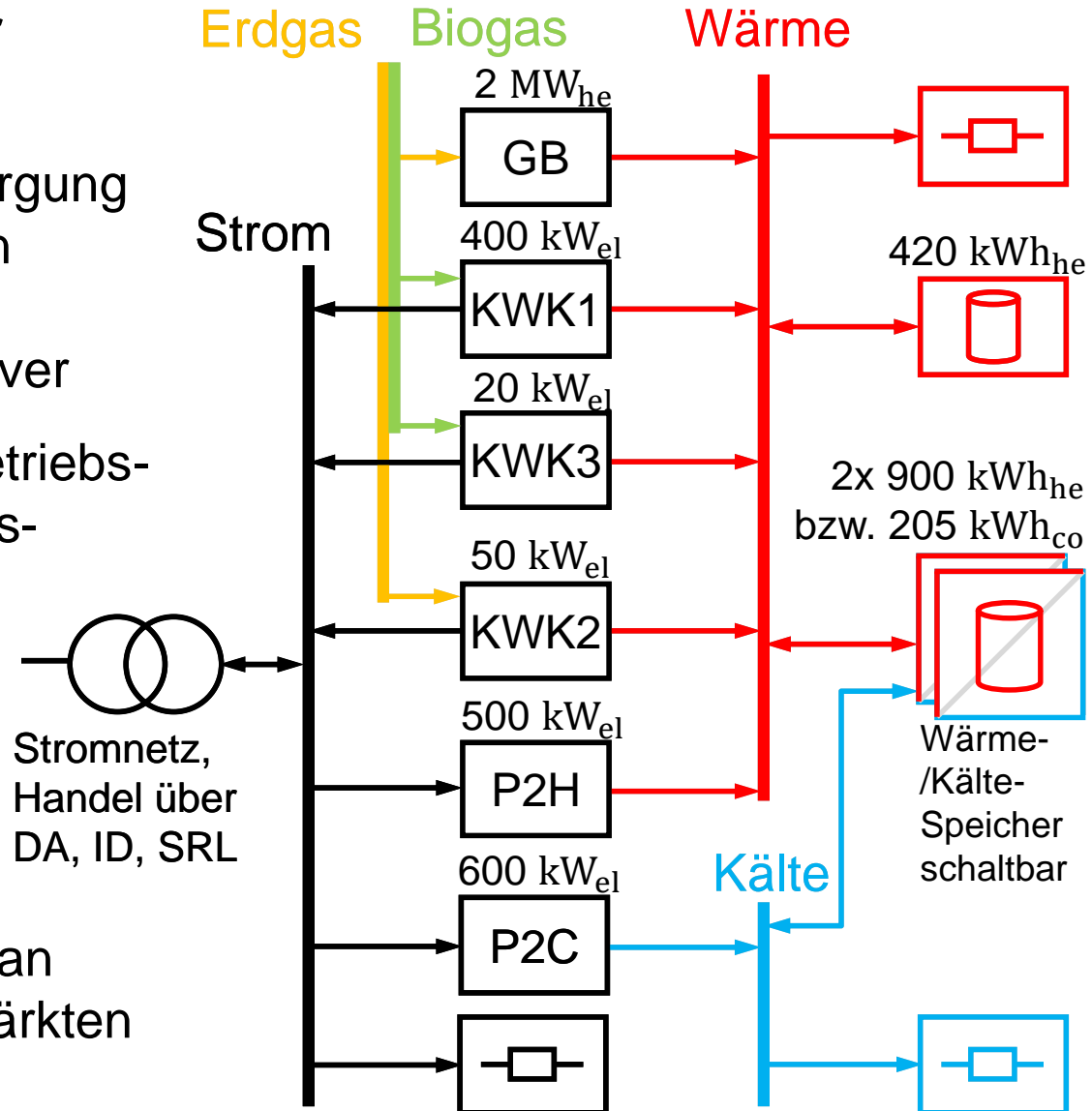


## Dekarbonisierungsoptionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- **Power-to-Heat**
- Power-to-Gas-to-Heat
- Direkte Nutzung erneuerbarer Energie

## Flexibilisierter Betrieb einer Power-to-Heat/Cold-Anlage

- P2H/P2C-Anlage zur Versorgung des EUREF-Campus, Berlin
- Gemeinsames Projekt von GASAG AG und Uni Hannover
- Zielsetzung: Erarbeitung Betriebsführungs- und Vermarktungskonzept, um
  - \* Lieferverpflichtungen für den Campus erfüllen
  - \* Gleichzeitig Bereitstellung von Flexibilitäten für Stromsystem
- Gegenwärtig: Vermarktung an Spot- und Regelleistungsmärkten



1. Die Sektorkopplung stellt ein wichtiges Lösungselement im Kontext der Wärme-/Verkehrswende dar.
2. Die Umsetzung der Sektorkopplung erfordert einen gleichzeitigen (!) Zubau erneuerbarer Energien. Missachtung dieses Grundsatzes führt gegenwärtig zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
3. Die Sektorkopplung bietet unter bestimmten Voraussetzungen Flexibilitäten für den Betrieb des Stromsystems und hilft damit Speicherbedarfe zu senken.
4. **Der Zubau Erneuerbarer zur Verwendung in der Sektorkopplung kommt unter bestimmten Voraussetzungen ohne Netzausbau aus.**

# Zu These 4 – Sektorkopplung und Netz

## Beispiel: Veränderung des Lastgangs im Nie- derspannungs-Netz

- Referenz: 150  
Haushalte  
im Jahr 2007
- 150 Haushalte  
in 2017



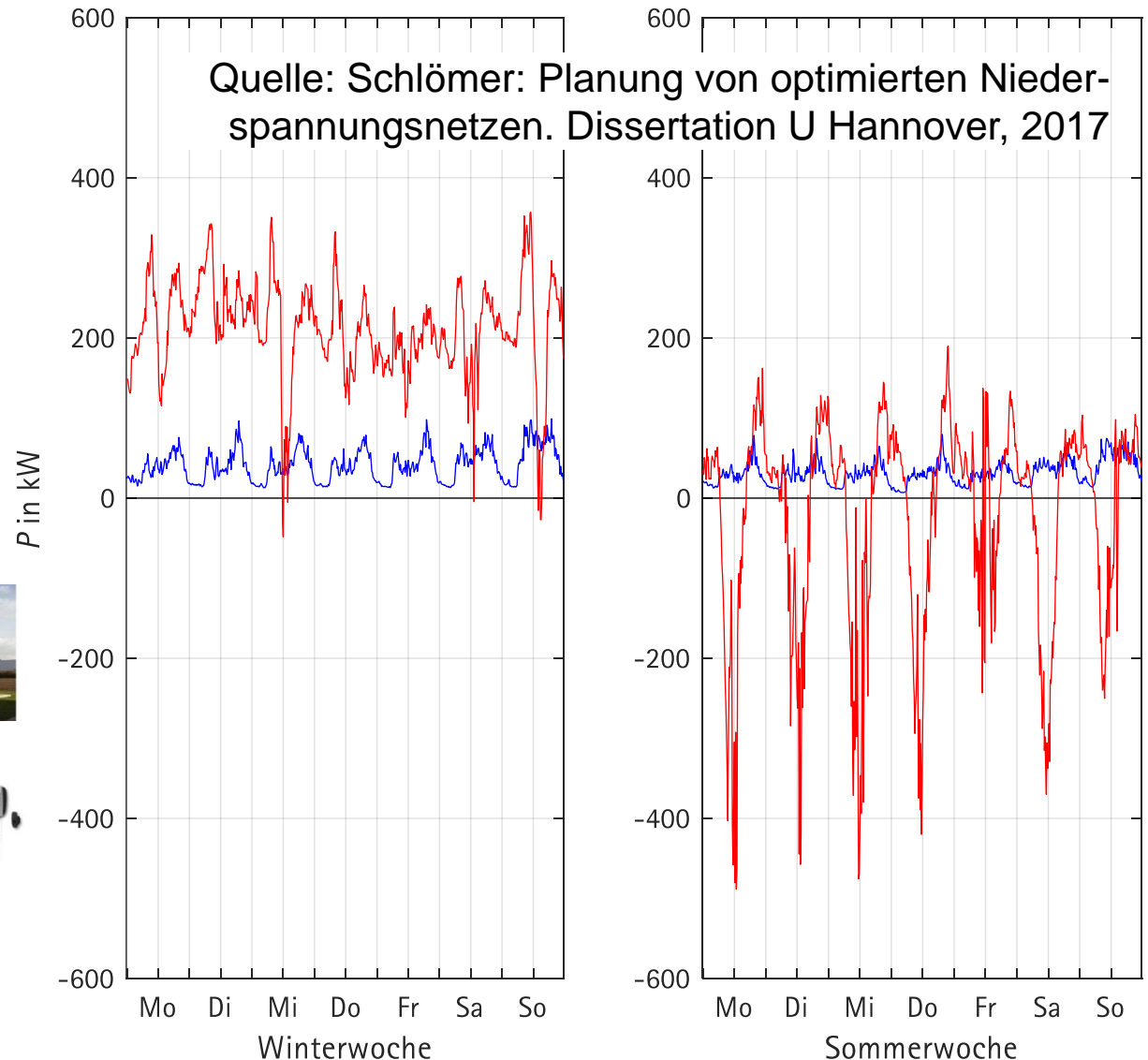
- PV-Anlagen



- Elektro-  
mobilität

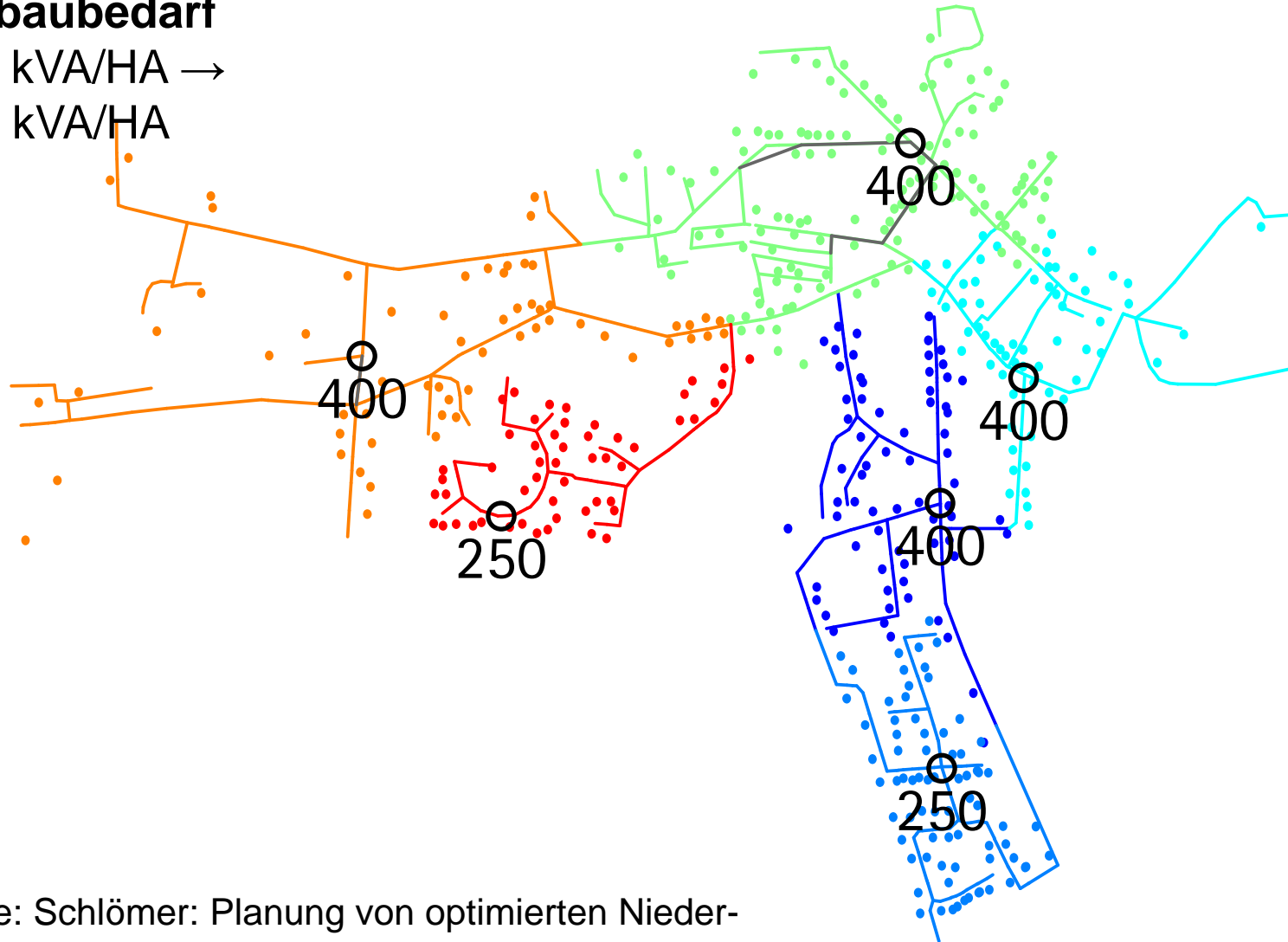


- Wärme-  
pumpen



# Zu These 4 – Sektorkopplung und Netz

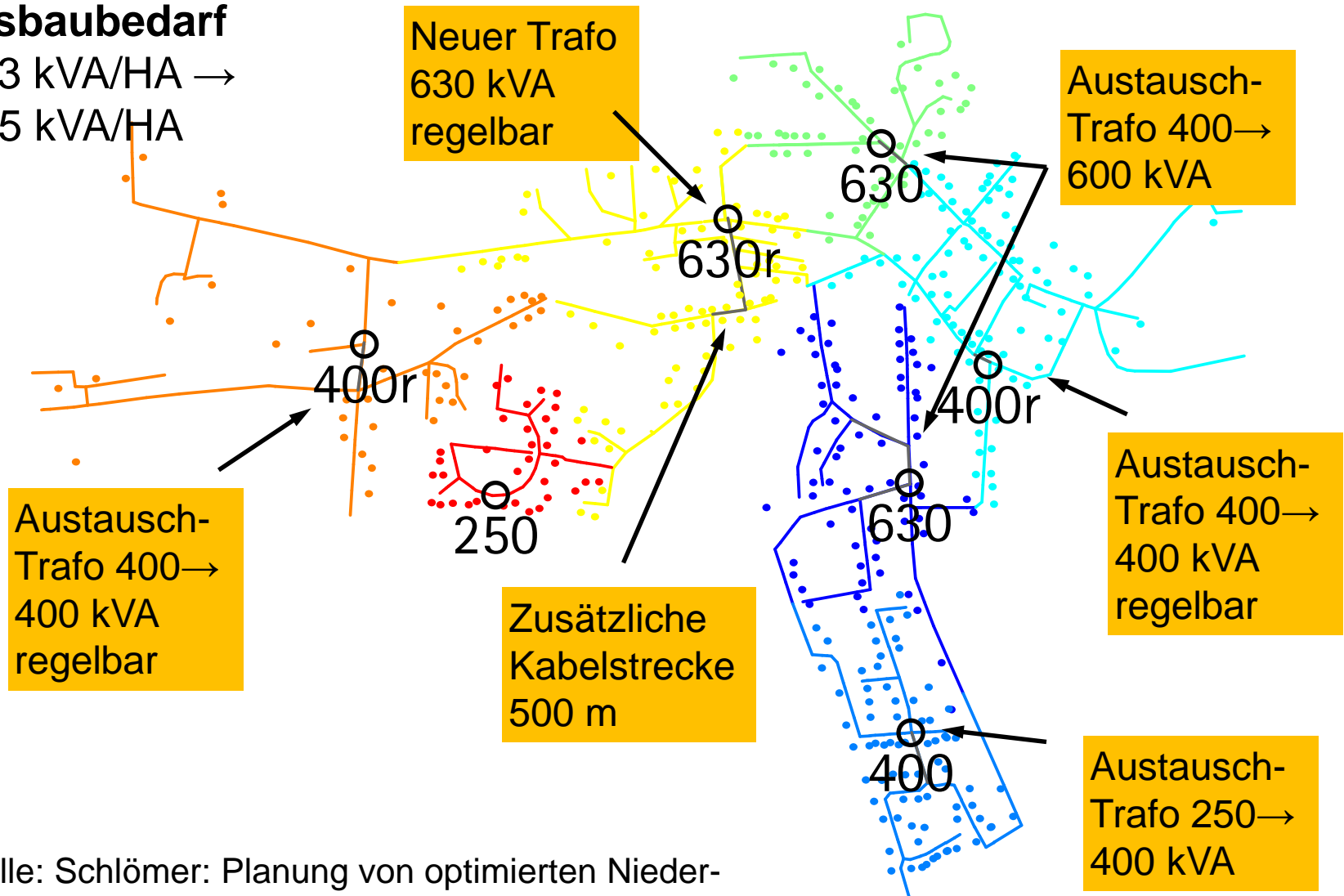
**Ausbaubedarf**  
für 3 kVA/HA →  
+/- 5 kVA/HA



Quelle: Schlömer: Planung von optimierten Niederspannungsnetzen. Dissertation U Hannover, 2017

# Zu These 4 – Sektorkopplung und Netz

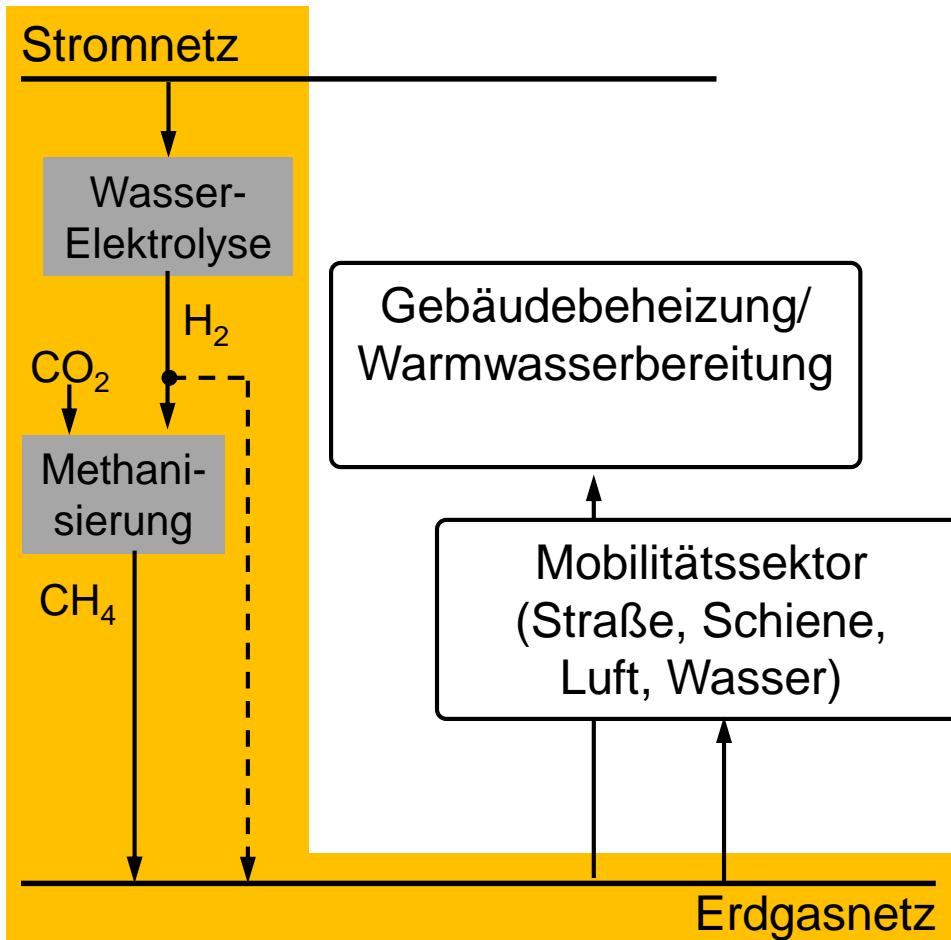
**Ausbaubedarf**  
für 3 kVA/HA →  
+/- 5 kVA/HA



Quelle: Schlömer: Planung von optimierten Niederspannungsnetzen. Dissertation U Hannover, 2017







- Dekarbonisierung bestimmter Zielsektoren steht nicht unmittelbar im Vordergrund
- Stattdessen:
  - \* Nutzung/Auslastung bestehender Infrastruktur (Gasnetz)
  - \* Reduktion Ausbaubedarf des Stromnetzes (insb. Übertragungsnetz und hohe Spannungsebenen des Verteilnetzes) durch alternative Transport-Route
- Kritisch: Wirkungsgrad
- Zu bewerten: volkswirtschaftlicher Nutzen

# Zusammenfassung

## Vier (technische) Thesen zur Sektorkopplung

1. Die Sektorkopplung stellt ein wichtiges Lösungselement im Kontext der Wärme-/Verkehrswende dar.
2. Die Umsetzung der Sektorkopplung erfordert einen gleichzeitigen (!) Zubau erneuerbarer Energien. Missachtung dieses Grundsatzes führt gegenwärtig zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
3. Die Sektorkopplung bietet unter bestimmten Voraussetzungen Flexibilitäten für den Betrieb des Stromsystems und hilft damit Speicherbedarfe zu senken.
4. Der Zubau Erneuerbarer zur Verwendung in der Sektorkopplung kommt unter bestimmten Voraussetzungen ohne Netzausbau aus.

# Zusammenfassung

## Vier (technische) Thesen zur S

Flexibilitäten  
(Verteil-)  
netzdienlich  
nutzen

Power-to-X ohne EE-  
Zubau ist aus CO2-  
Sicht kontraproduktiv

- Die Nutzung der Sektorkopplung erfordert einen  
(!) Zubau erneuerbarer Energien.  
Die Einhaltung dieses Grundsatzes führt gegenwärtig  
zur Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die Sektorkopplung bietet unter bestimmten  
Bedingungen Flexibilitäten für den Betrieb  
von Energiesystemen und hilft damit Speicherbedarf  
zu reduzieren.
  - Der Zubau Erneuerbarer zur Verwendung in  
der Sektorkopplung kommt unter bestimmten Voraus-  
setzungen ohne Netzausbau aus.

Installations-  
reihenfolge der  
Power-to-X-  
Technologie  
berücksichtigen

# Sektorkopplung: Auf dem Weg zur Dekarbonisierung des Energiesystems - Hintergründe, Ansätze, Herausforderungen

Richard Hanke-Rauschenbach<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)  
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

<sup>2</sup>Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

**Vielen Dank für Ihr Interesse!**

Dank an: Boris Bensmann, Gerrit Schlömer (LUH/IfES)

## Unsere Themen

- Energiespeicherkonzepte und deren Geschäftsmodelle
- Multimodale Energiesysteme zur Bereitstellung von Flexibilitäten für das Stromsystem
- Wasserelektrolyse im Kontext von Power-to-Gas-Anwendungen

## Ihre Ansprechpartner

- Prof. Dr.-Ing. Richard Hanke-Rauschenbach  
Institutsleiter  
[hanke-rauschenbach@ifes.uni-hannover.de](mailto:hanke-rauschenbach@ifes.uni-hannover.de)
- Dr.-Ing. Astrid Bensmann  
Gruppenleiterin Speichersystemtechnik  
[astrid.bensmann@ifes.uni-hannover.de](mailto:astrid.bensmann@ifes.uni-hannover.de)
- Dr.-Ing. Boris Bensmann  
Gruppenleiter Wasserelektrolyse  
[boris.bensmann@ifes.uni-hannover.de](mailto:boris.bensmann@ifes.uni-hannover.de)