



Power-to-What ?

André Bardow

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, RWTH Aachen University
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-10), Forschungszentrum Jülich

Niedersächsische Energietage – net, Hannover, 07.11.2017

Danksagung

Mitarbeiter & Kooperationspartner



André
Sternberg



Christian
Jens



Arne
Kätelhön



Sarah
Deutz



Richard
Hanke-Rauschenbach



Boris
Bensmann

Förderung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Projektpartner



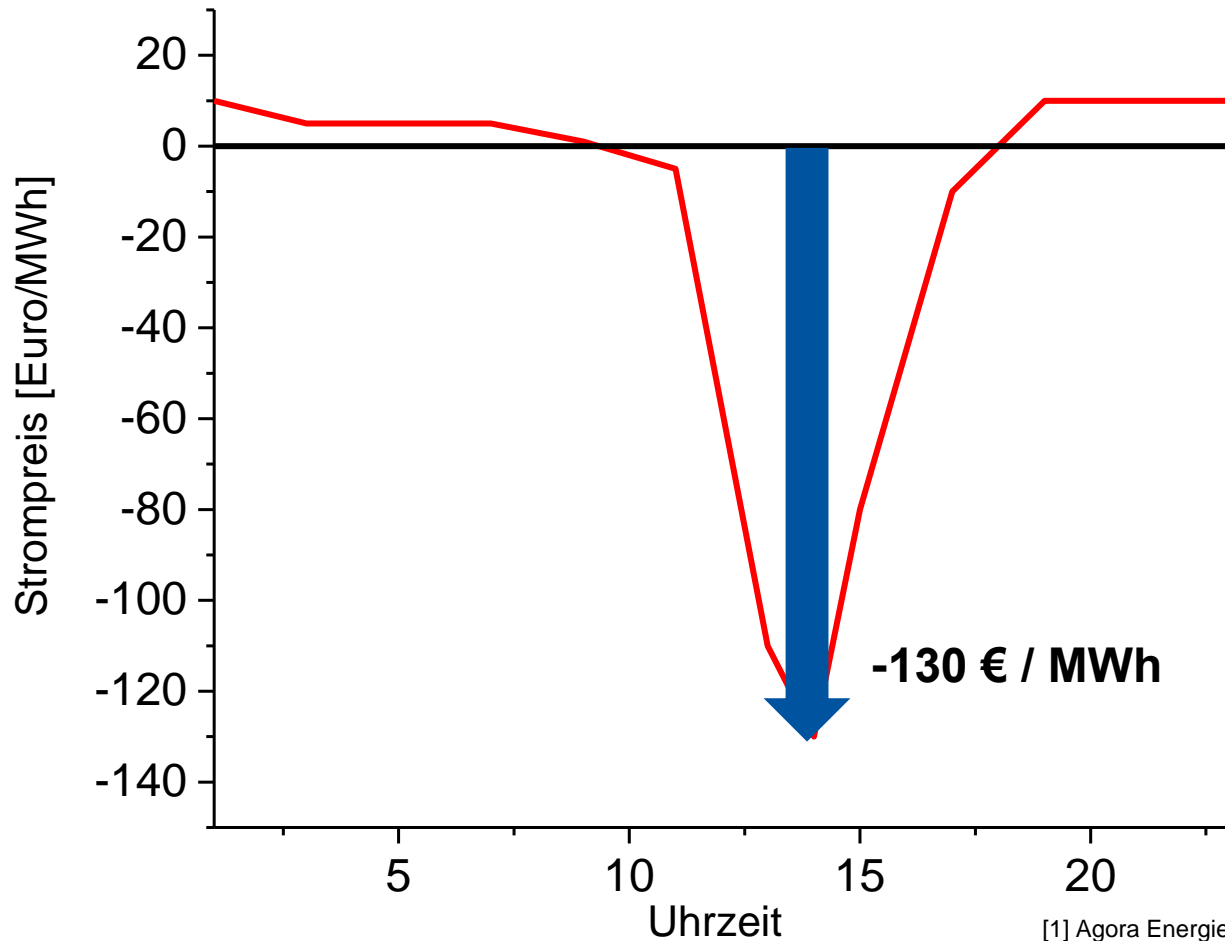
Überschussstrom

Sonntag, 08.05.2016



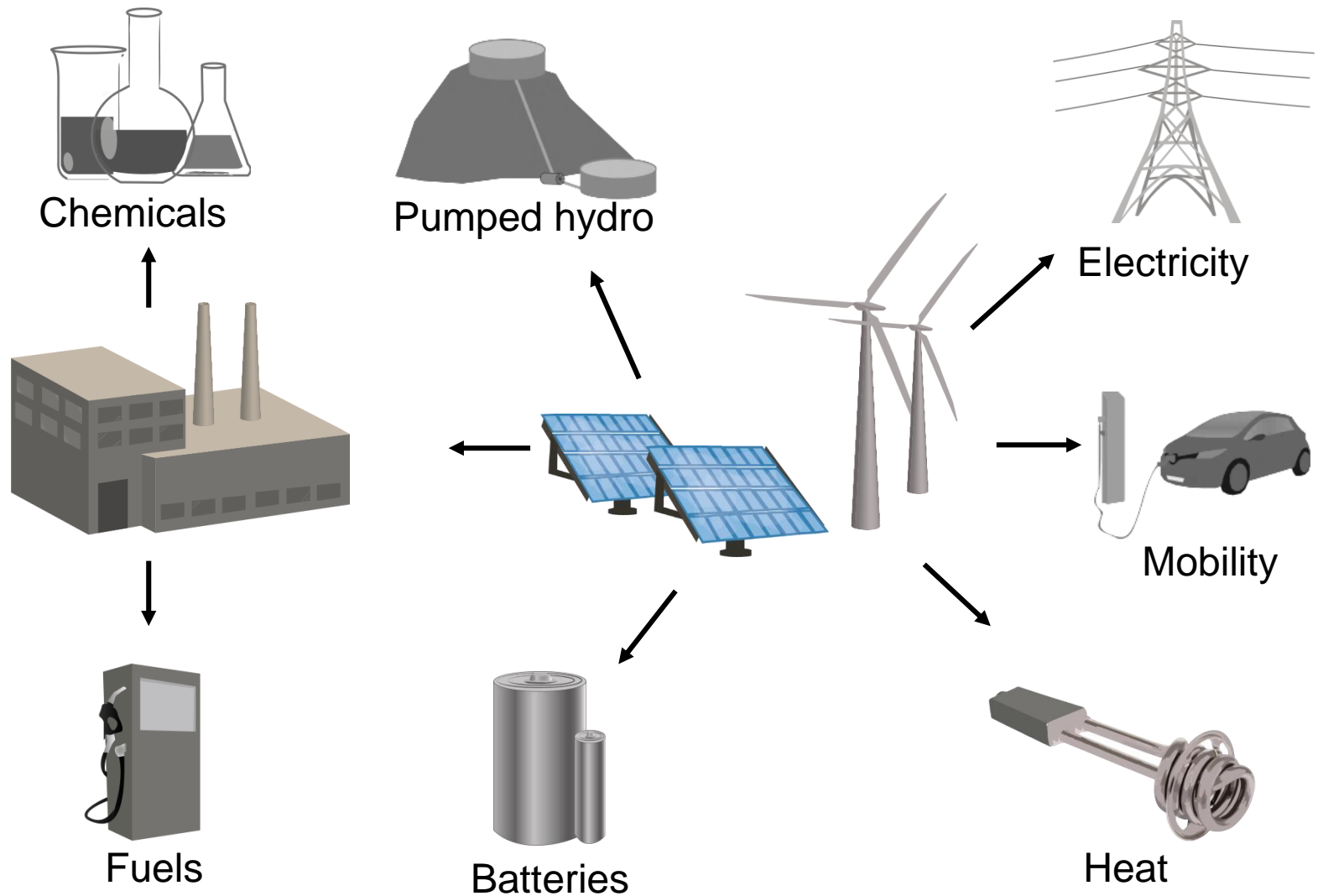
Überschussstrom

Sonntag, 08.05.2016



[1] Agora Energiewende, <https://www.agora-energiewende.de>, 2016.

Goldgräberstimmung: Power-to-X



Professor Knoche (1933 – 2016)



Nutzung von Überschuss-Strom ?

Sehr spannend !

Vielleicht schauen Sie mal in unsere Arbeiten aus den 70ern.



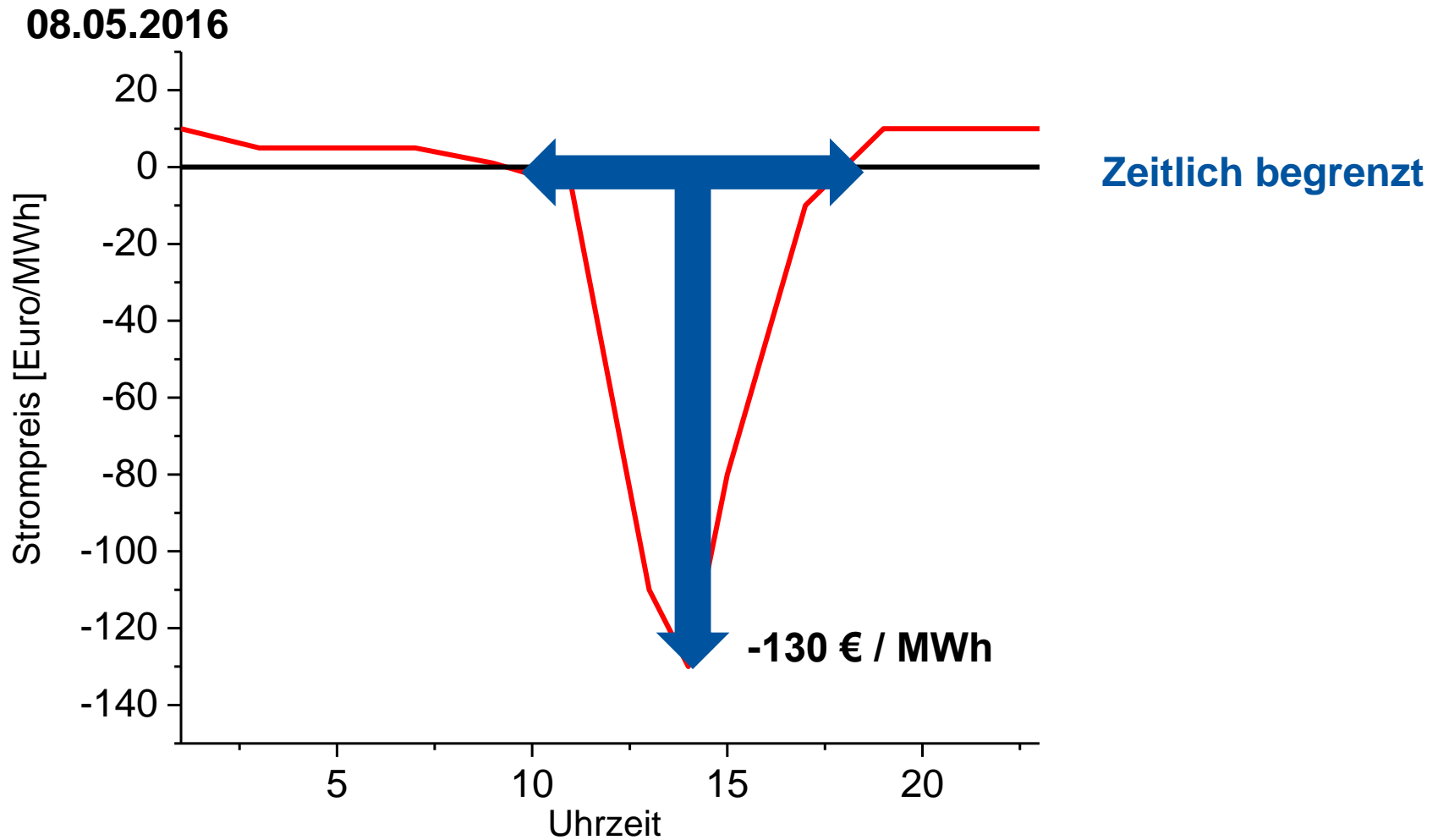
Heat-to-What ? Über die Nutzung von Überschuss-Wärme aus Atomkraftwerken

Karl-Friedrich Knoche

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik
RWTH Aachen

ZZ. Oktober 197X

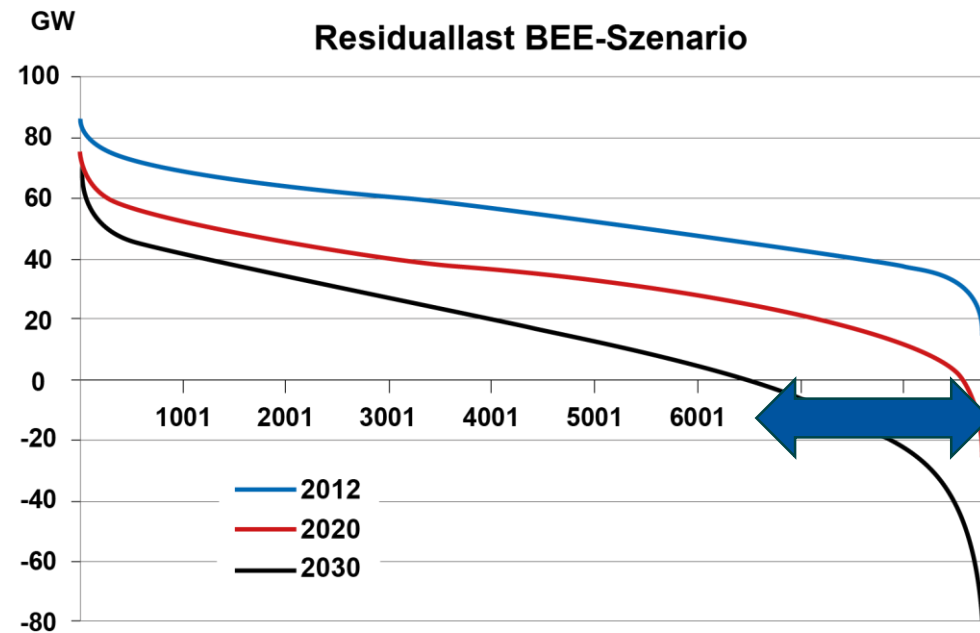
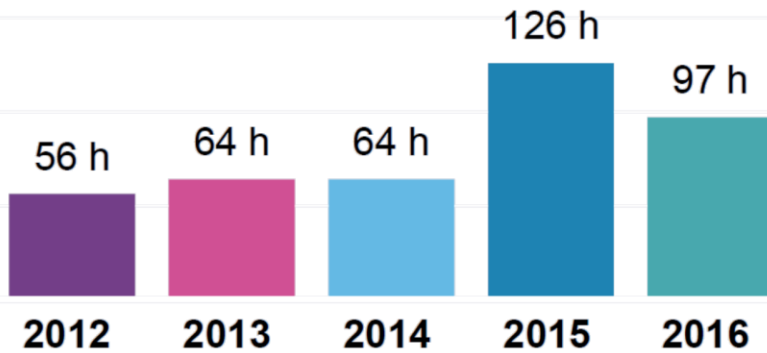
Überschussstrom



[1] Agora Energiewende, <https://www.agora-energiewende.de>, 2016.

Verfügbarkeit von Überschuss-Stromes

Stunden mit negativen Preisen



- Überschuss ist zeitlich begrenzt
- Überschuss bleibt zeitlich begrenzt

[1] Graichen, Kleiner, Podewils, *Agora Energiewende* - Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2016

[2] Krzikalla, Achner, Brühl, BET Studie, 2013.

Status Überschuss-Strom

- Überschuss ist zeitlich begrenzt
- Überschuss bleibt zeitlich begrenzt

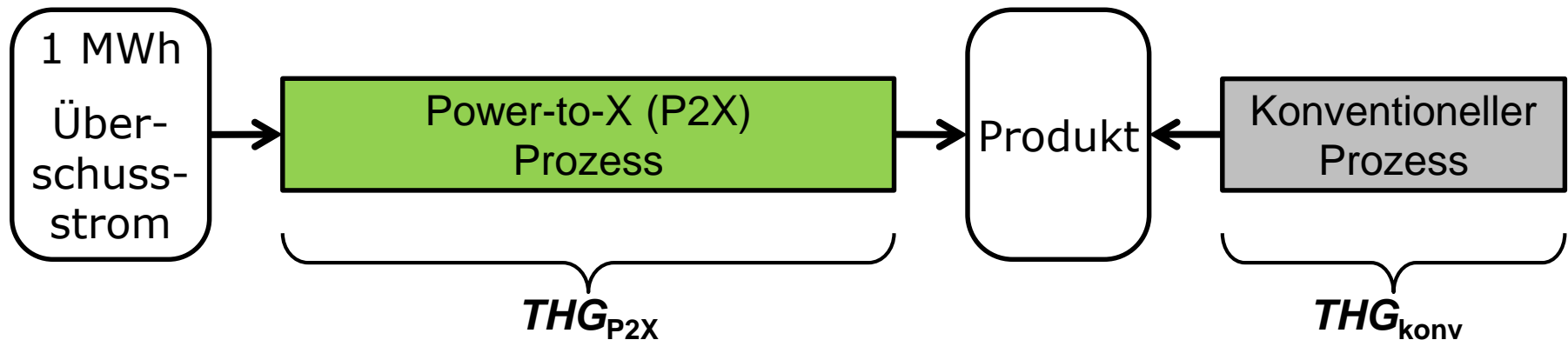


Welche Power-to-X-Route
nutzt Überschuss-Strom am besten ?

Effizienzmaß der Nutzung von Überschuss-Strom

Welche Power-to-X-Route
nutzt Überschuss-Strom am besten ?

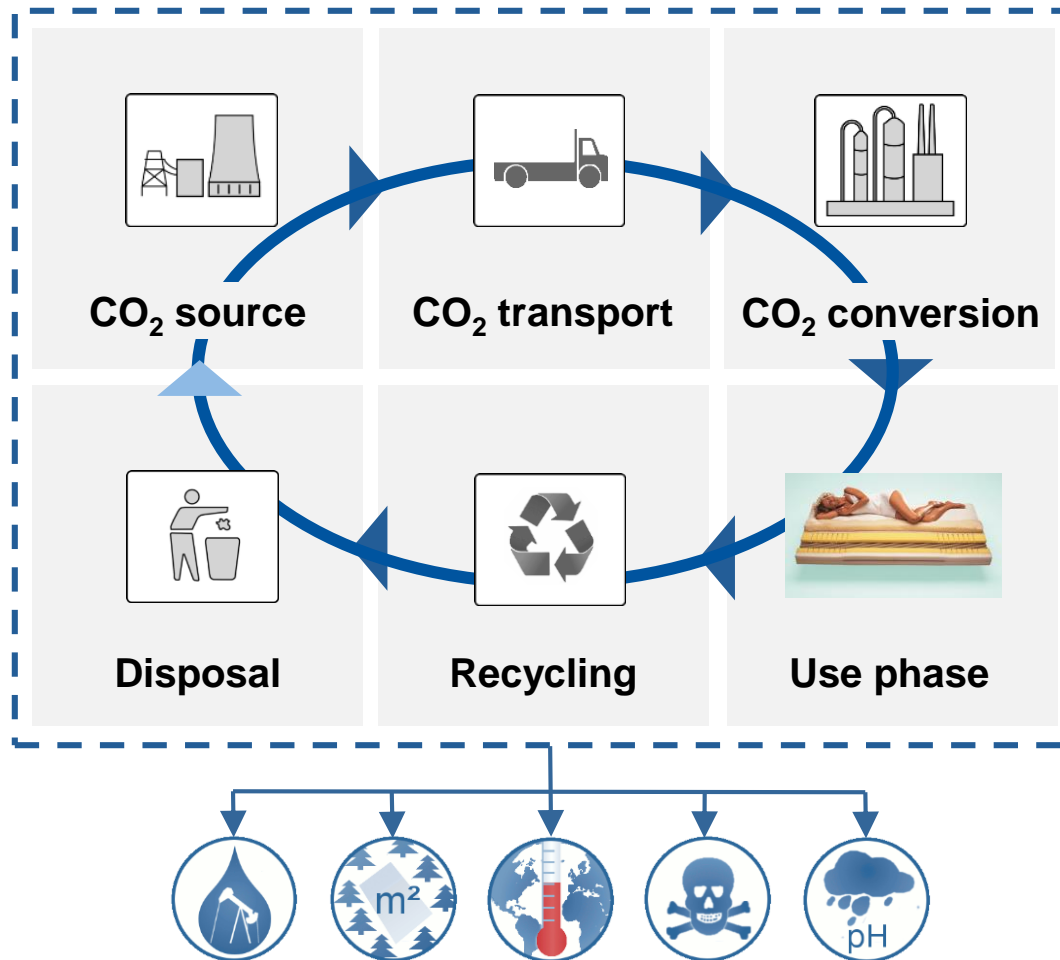
$$\text{P2X-Effizienz} = \frac{\text{Reduktion Treibhausgas (THG)–Emissionen}}{\text{Pro MWh genutztem Überschuss–Strom}}$$



$$THG_{\text{Reduktion}} = THG_{\text{konv}} - THG_{P2X}$$

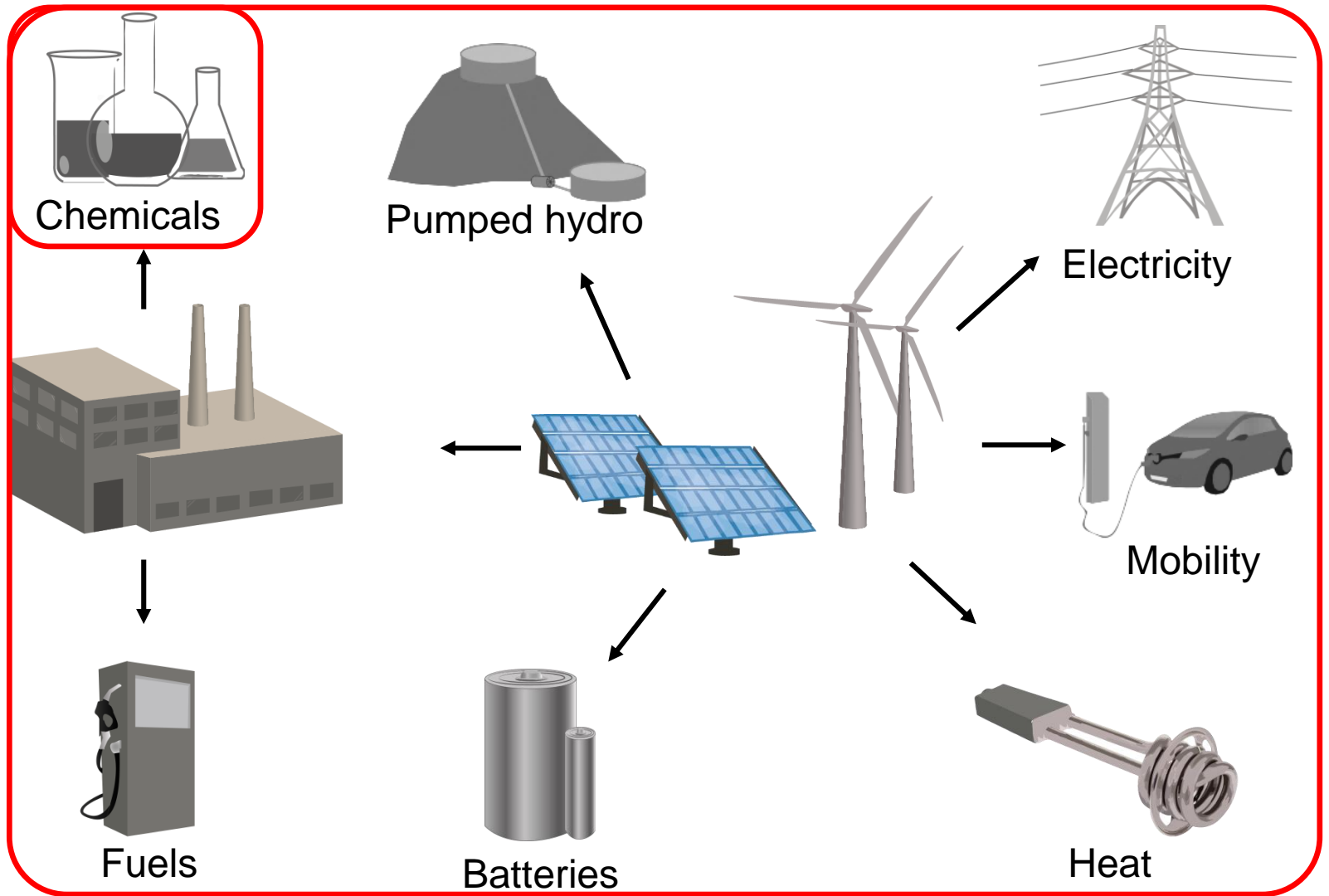
Sternberg und Bardow, *Energy Environ. Sci.*, 2015,8, 389-400.

Bestimmung THG-Emissionen: Life Cycle Assessment (LCA)

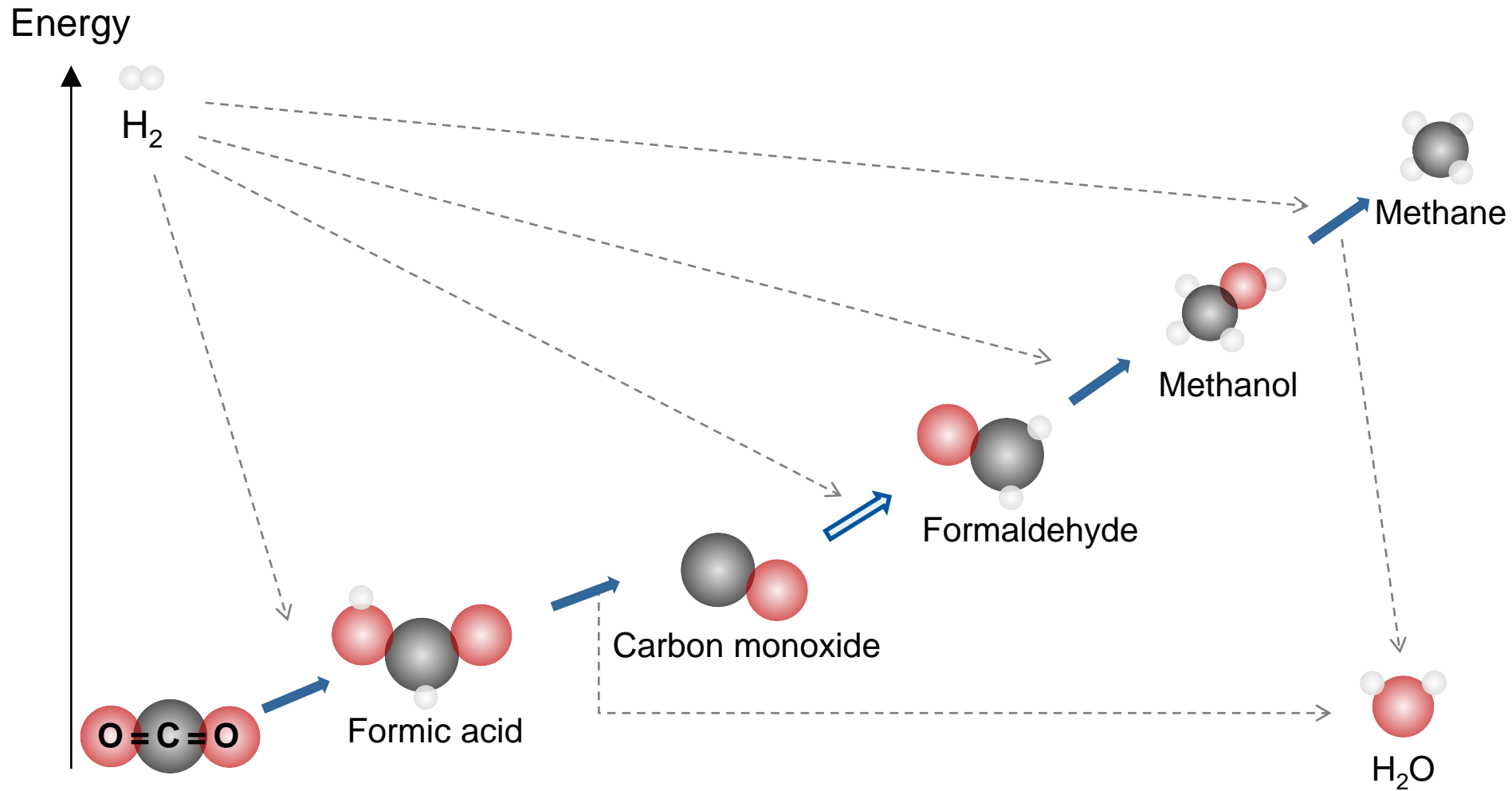


von der Assen, Jung, Bardow, *Energy Environ. Sci.*, **2013**, 6, 2721
von der Assen, Voll, Peters, Bardow, *Chem. Soc. Rev.* **2014**, 43, 7982

Goldgräberstimmung: Power-to-X

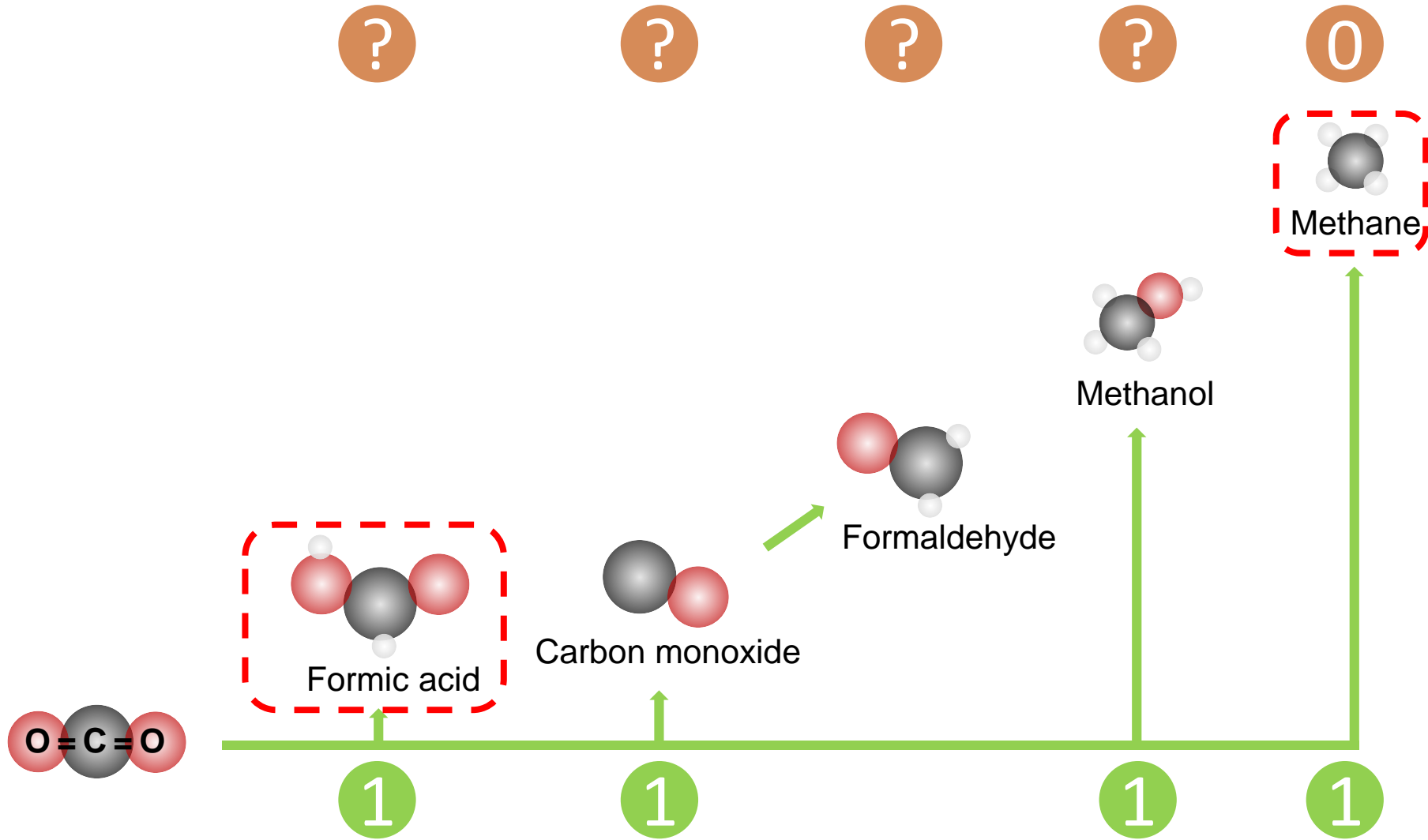


Power-to-C1-Chemikalien



Klankermayer, Leitner, *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 2016, 374.

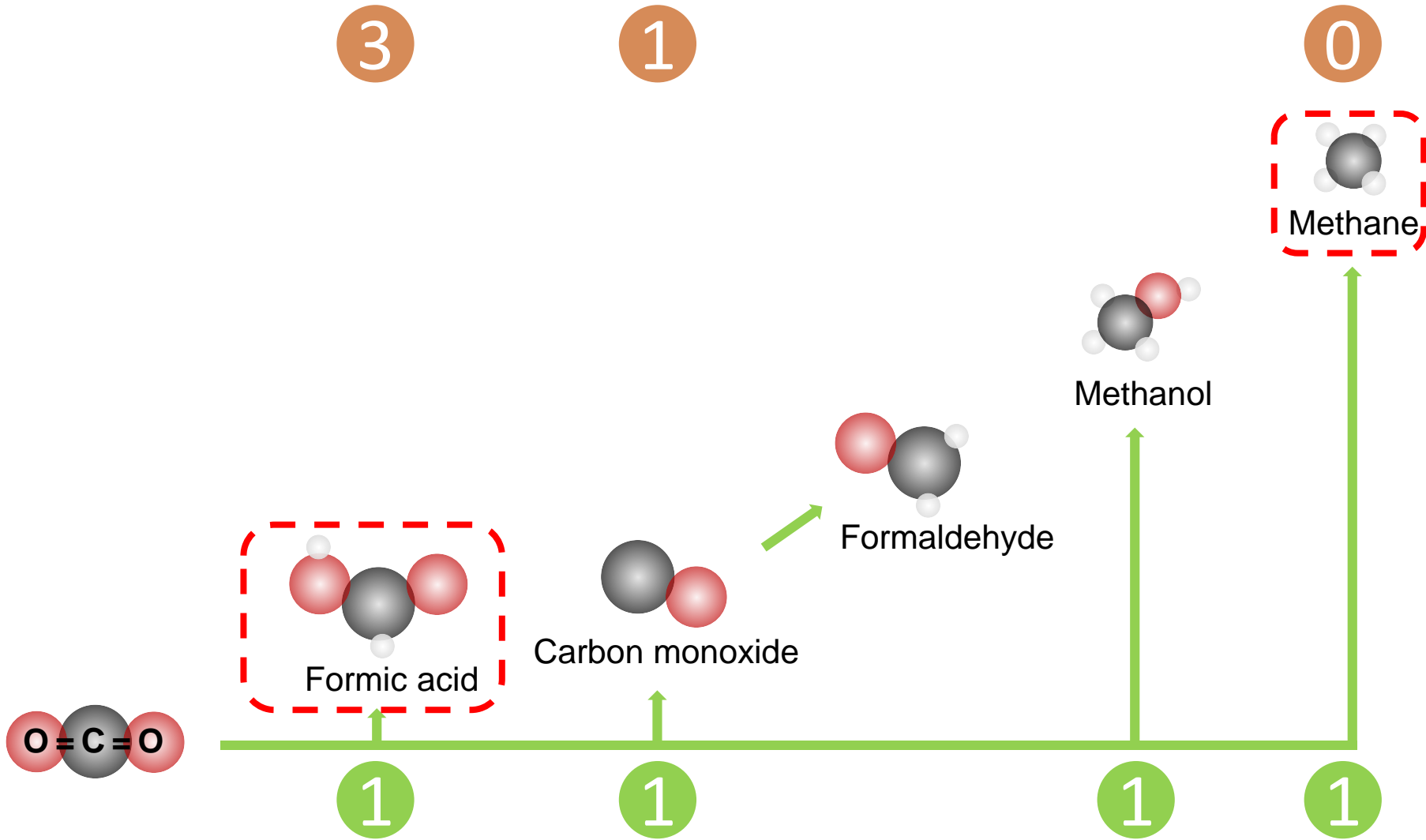
CO₂-Hydrierung zu C1-Chemikalien



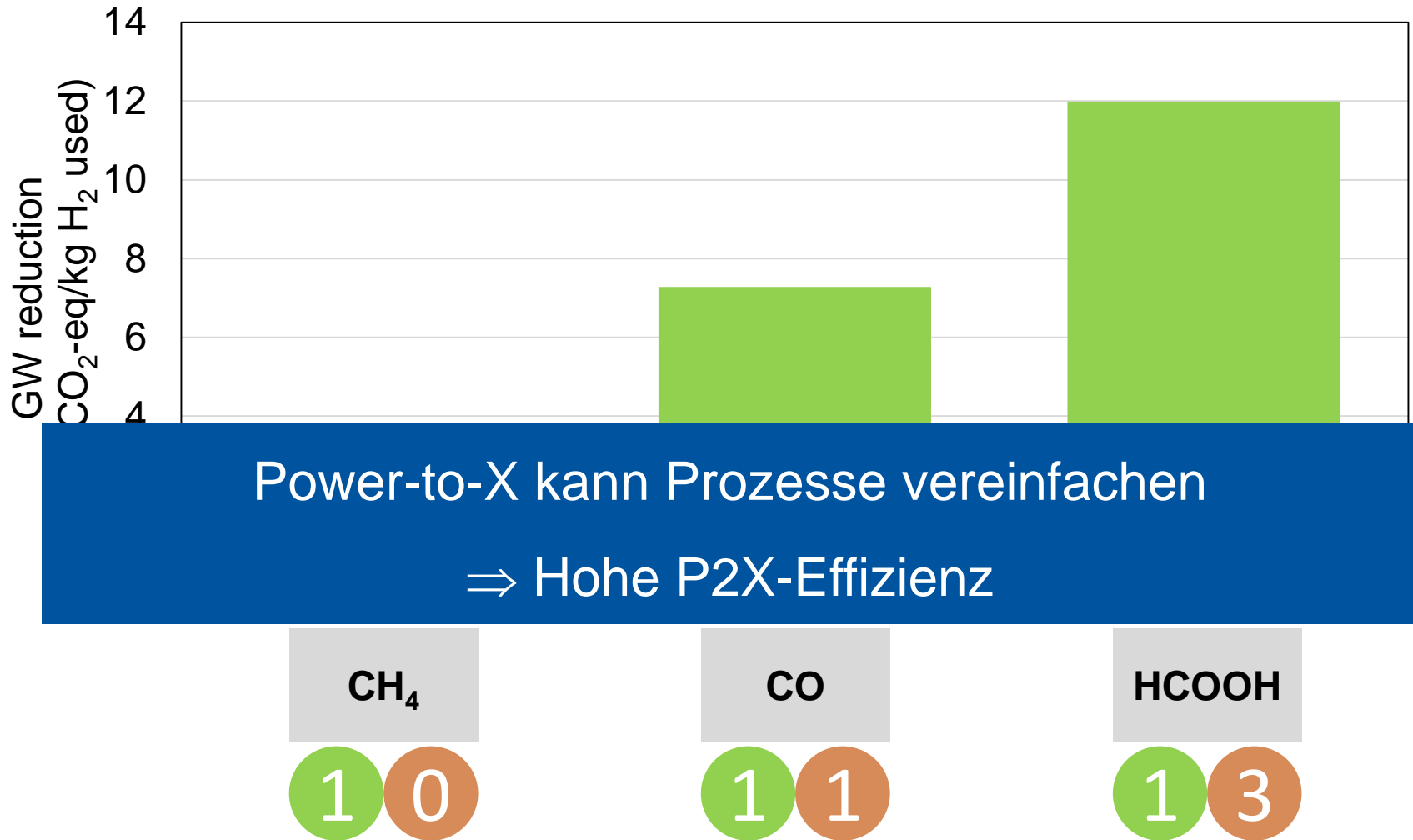
Sternberg, Jens, Bardow, *Green Chem.*, 2017,19, 2244-2259

André Bardow | Power-to-What ?

CO₂-Hydrierung zu C1-Chemikalien

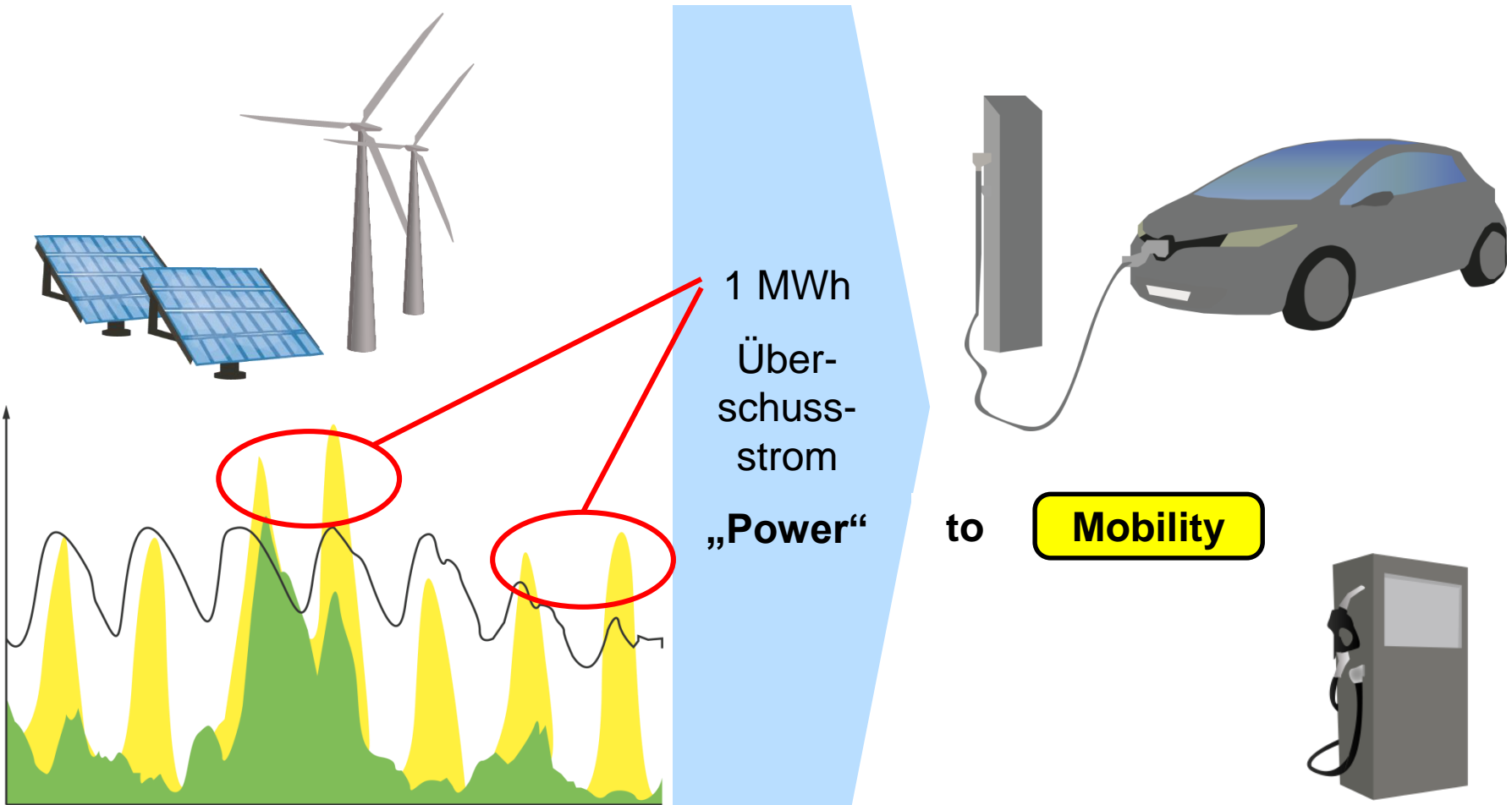


P2X-Effizienz = THG-Reduktion pro Wasserstoff

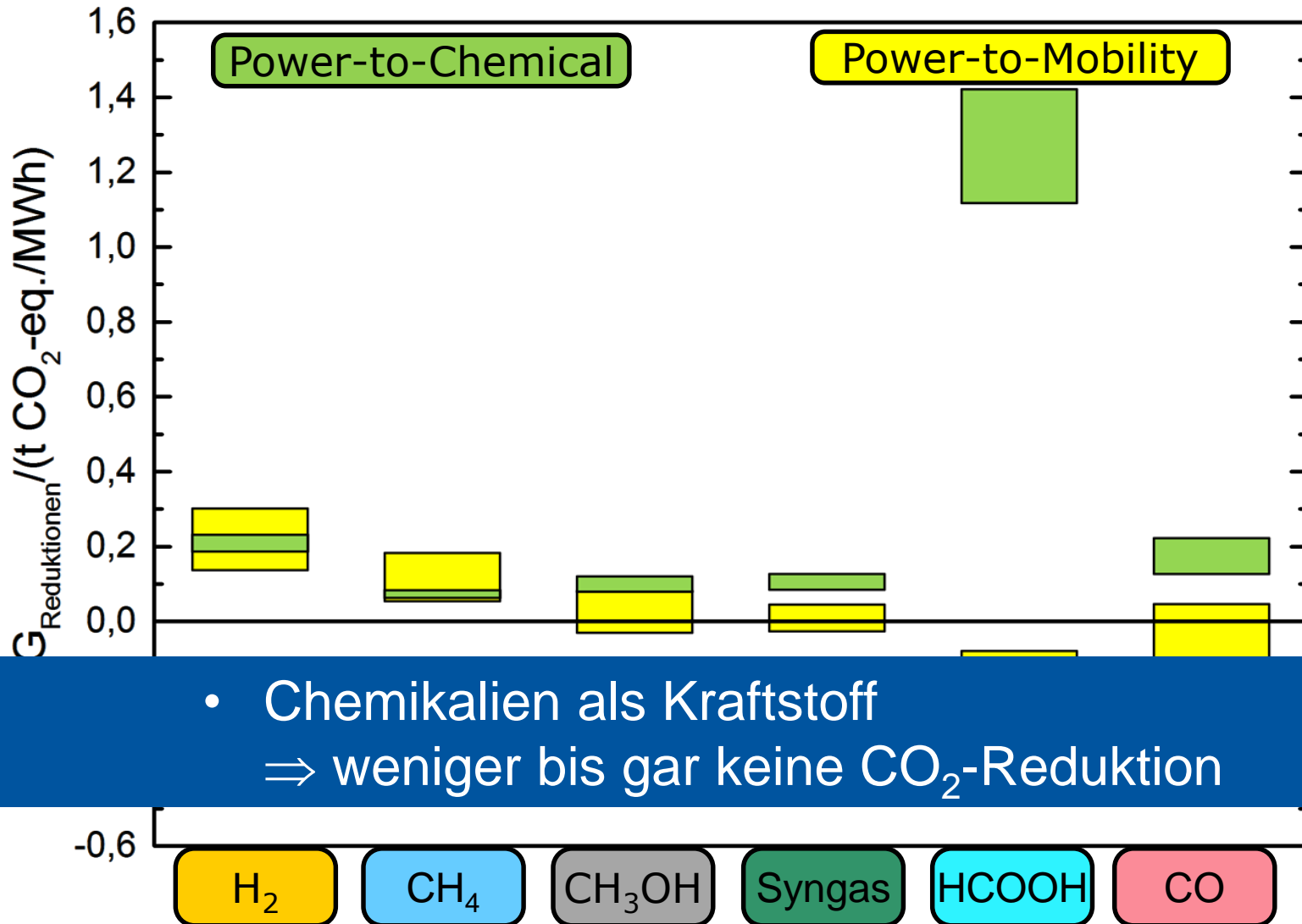


Sternberg, Jens, Bardow, *Green Chem.*, 2017,19, 2244-2259

Power-to-Mobility

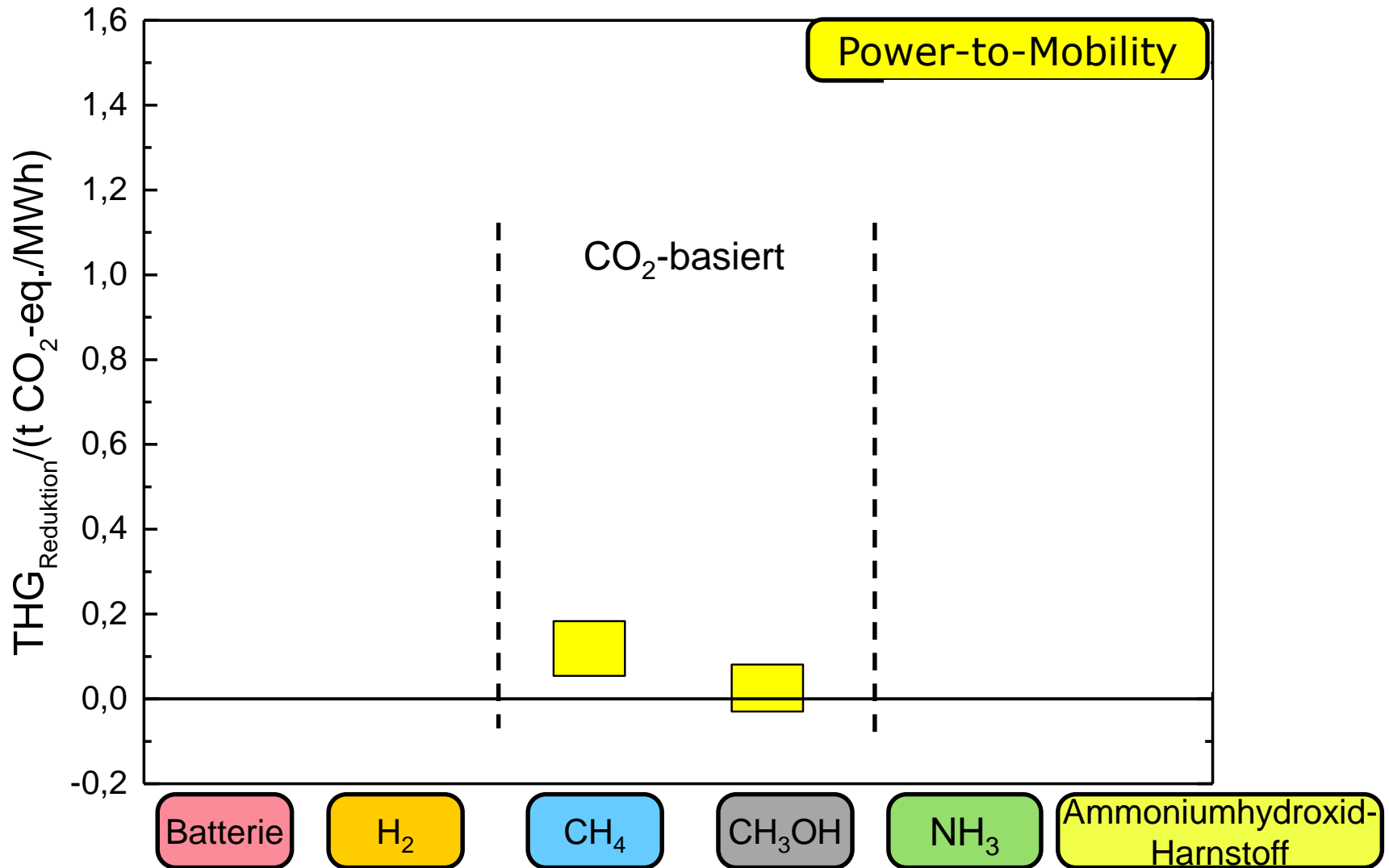


$$THG_{\text{Reduktion}} = THG_{\text{konv}} - THG_{\text{P2C}}$$



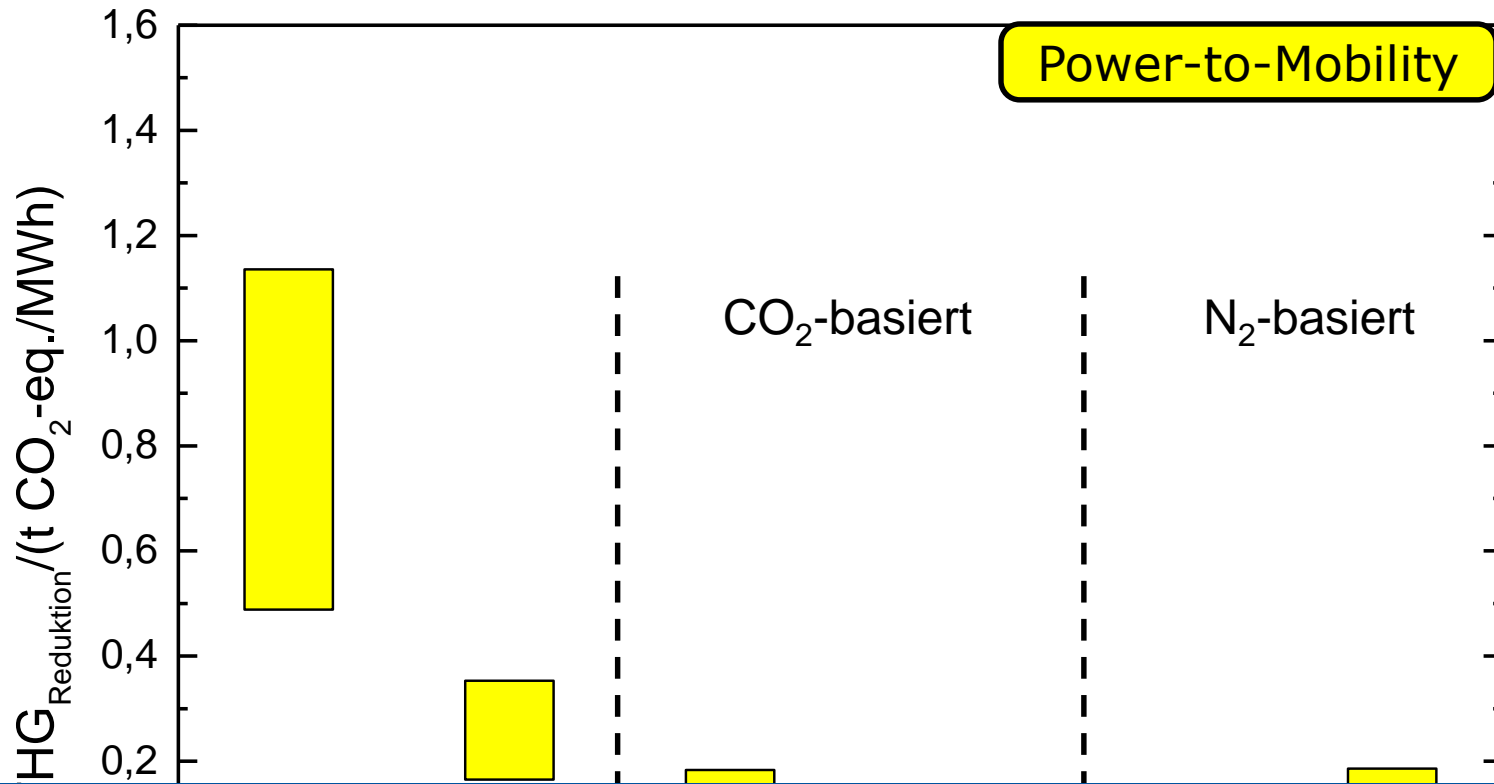
- Chemikalien als Kraftstoff
⇒ weniger bis gar keine CO₂-Reduktion

Power-to-Mobility



Sternberg und Bardow, *Energy Environ. Sci.*, 2015, **8**, 389-400.

Power-to-Mobility



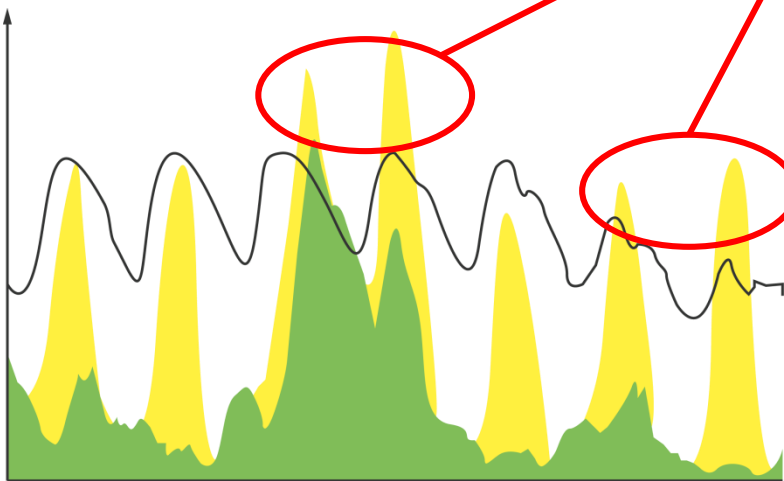
- Umwandlungsverluste vermeiden
- Stickstoff-basierte Kraftstoffe \approx CO₂-Fuels

Batterie
H₂
CH₄
CH₃OH
NH₃
Ammoniumhydroxid-Harnstoff

Sternberg und Bardow, *Energy Environ. Sci.*, 2015,8, 389-400.

Grinberg Dana, Elishav, Bardow, Shter, Grader, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2016 55(31): 8798–8805

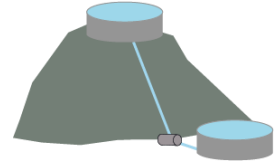
Power-to-X



1 MWh
Über-
schuss-
strom
„Power“

to

Power



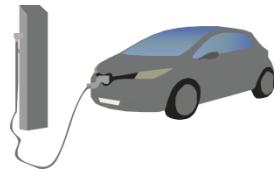
to

Heat



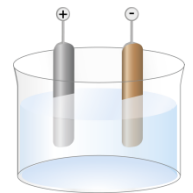
to

Mobility

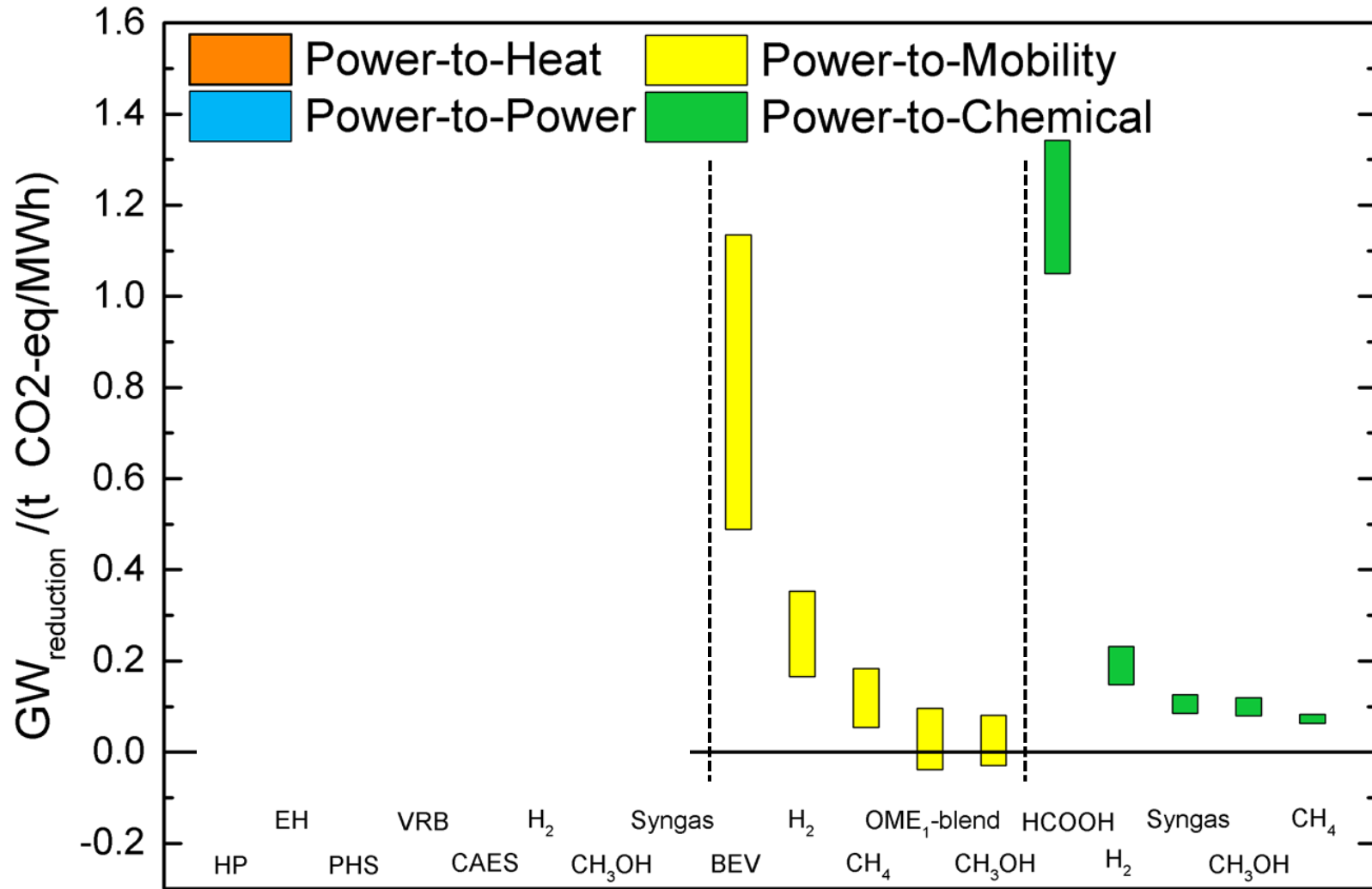


to

Chemical

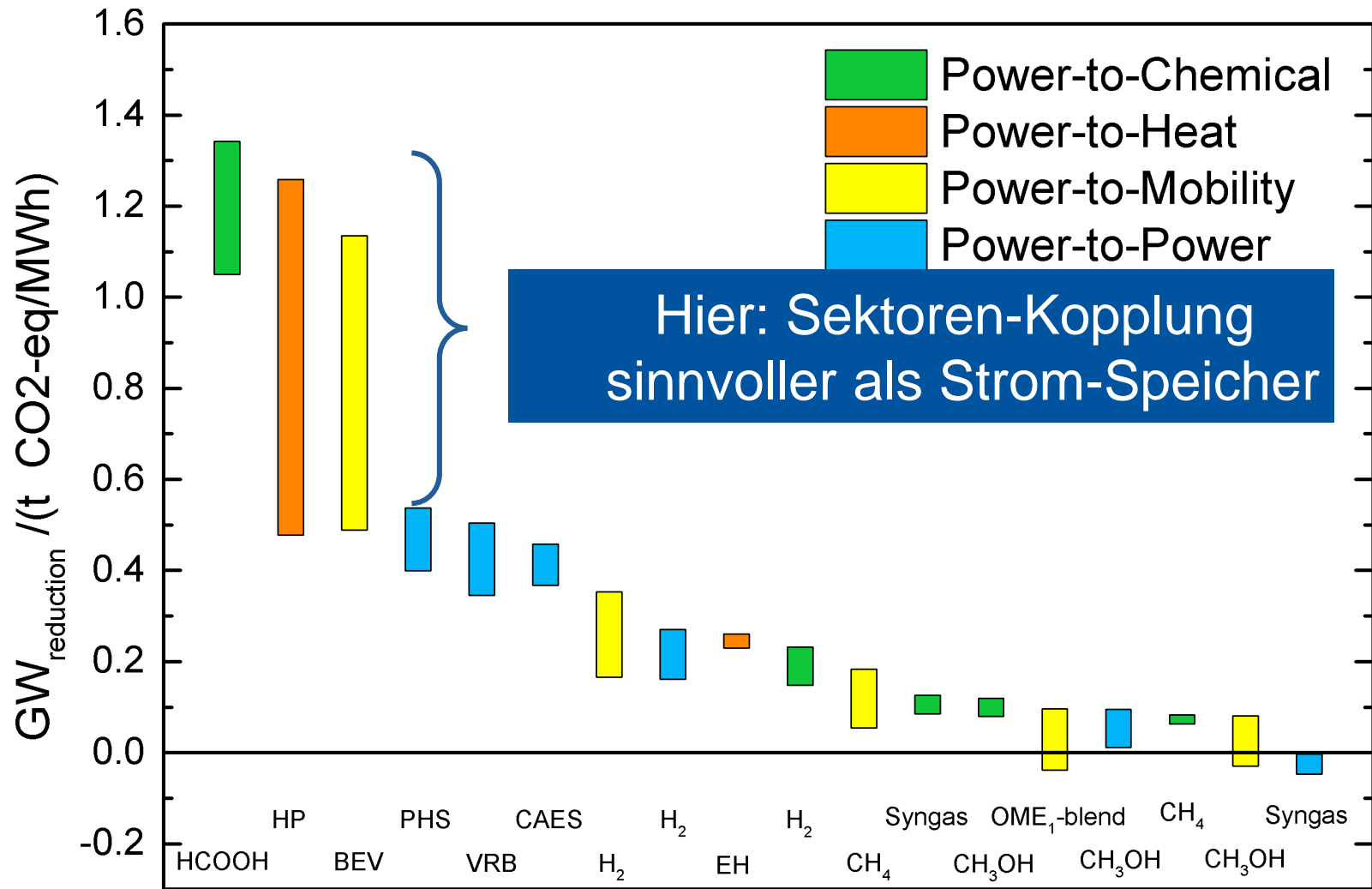


Power to What?



[1] Sternberg und Bardow, *Energy Environ. Sci.*, 2015, **8**, 389-400.

Power to What?

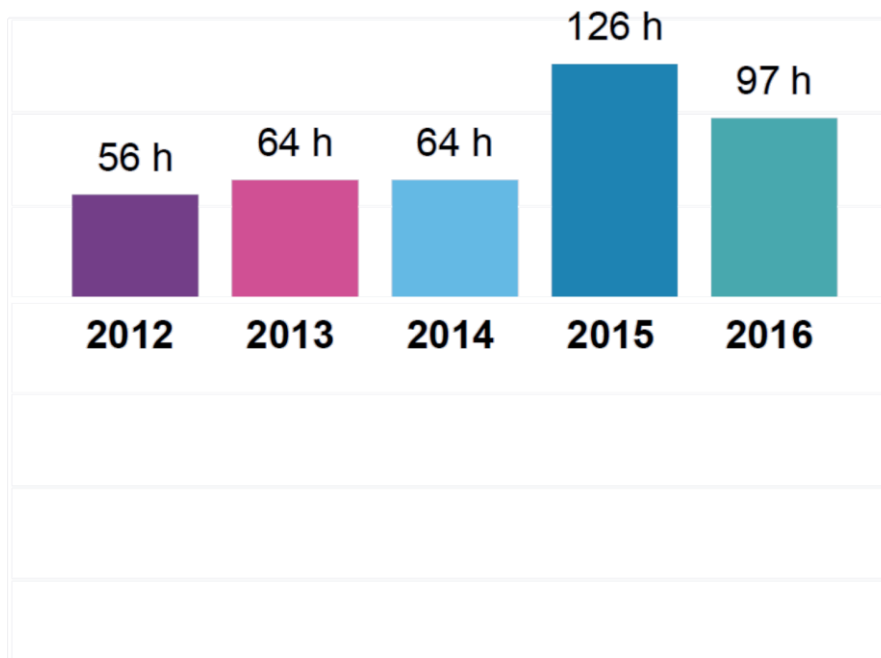


[1] Sternberg und Bardow, *Energy Environ. Sci.*, 2015, **8**, 389-400.

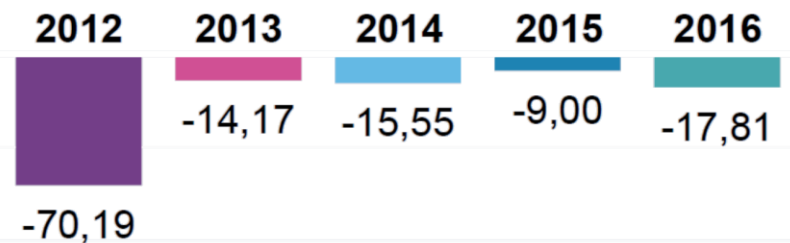
- Effizienz der Strom-Nutzung bleibt wichtig
⇒ „Merit-Order“ der P2X-Technologien
- Sektoren-Kopplung kann sinnvoller sein
als Strom-Speicher und Netzausbau
- Prinzipien für hohe P2X-Effizienz:
 - Umwandlungsverluste vermeiden
 - Ineffiziente Prozesse ersetzen
 - Power-to-Fuel nicht als Stromspeicher
sondern als nachhaltiger Kraftstoff

Business-Case Überschuss-Strom ?

Stunden mit negativen Preisen



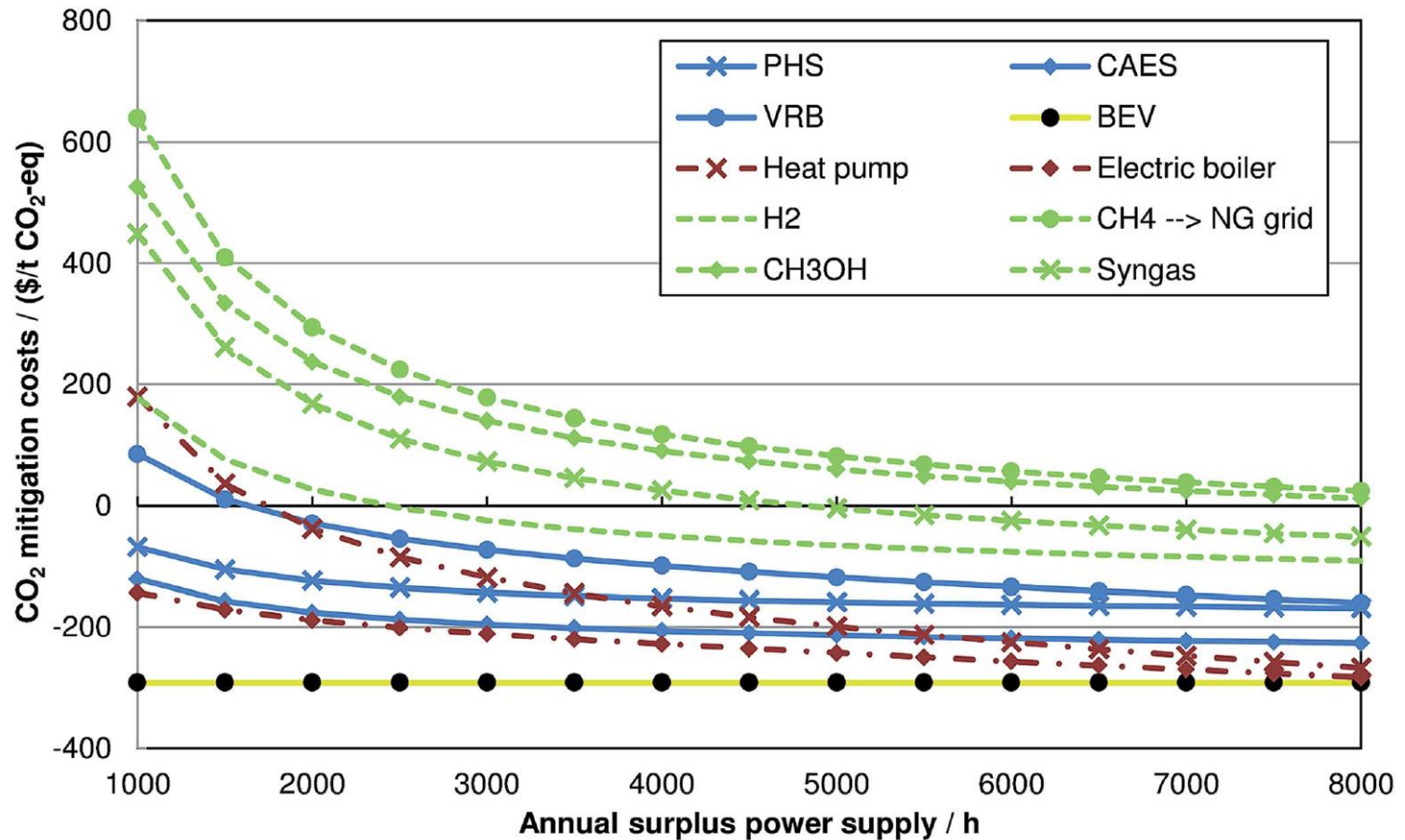
Mittlerer negativer Preis in Euro/MWh



- Überschuss ist zeitlich begrenzt
- Negative Kosten auch begrenzt

[1] Graichen, Kleiner, Podewils, *Agora Energiewende* - Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2016.

CO₂-Vermeidungskosten für P2X-Technologien in Überschuss-Betrieb

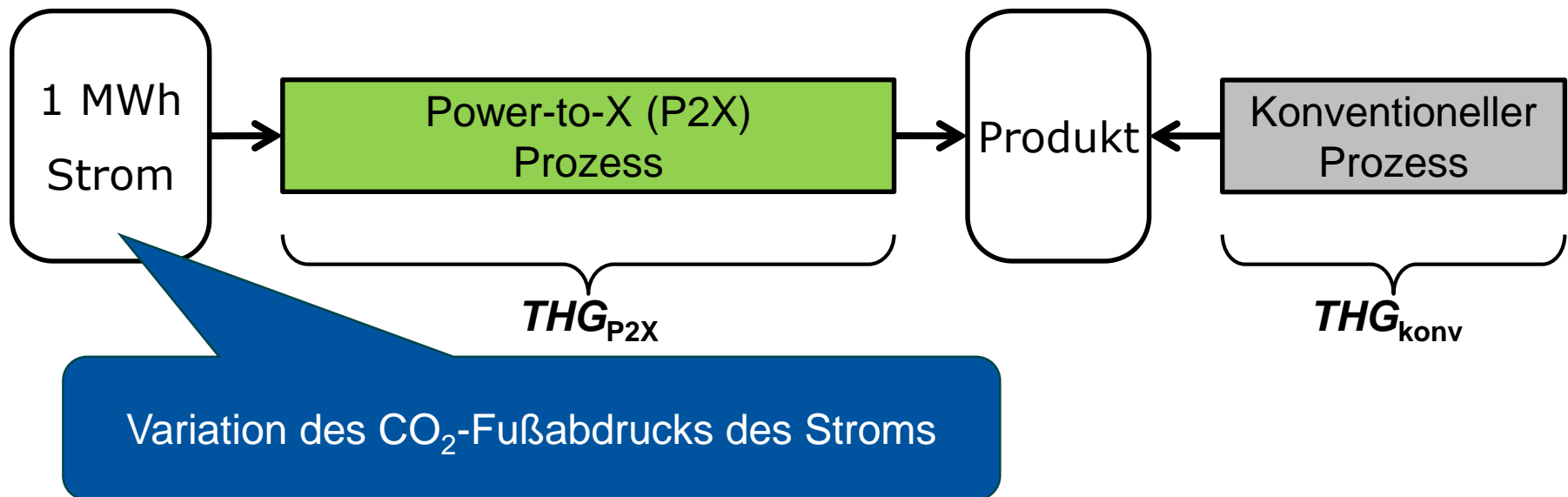


- Investitionskosten dominieren Kosten
- Starker Einfluss der Volllaststunden
- Reiner „Überschuss-Betrieb“ unwahrscheinlich

Effizienzmaß der Nutzung von Überschuss-Strom

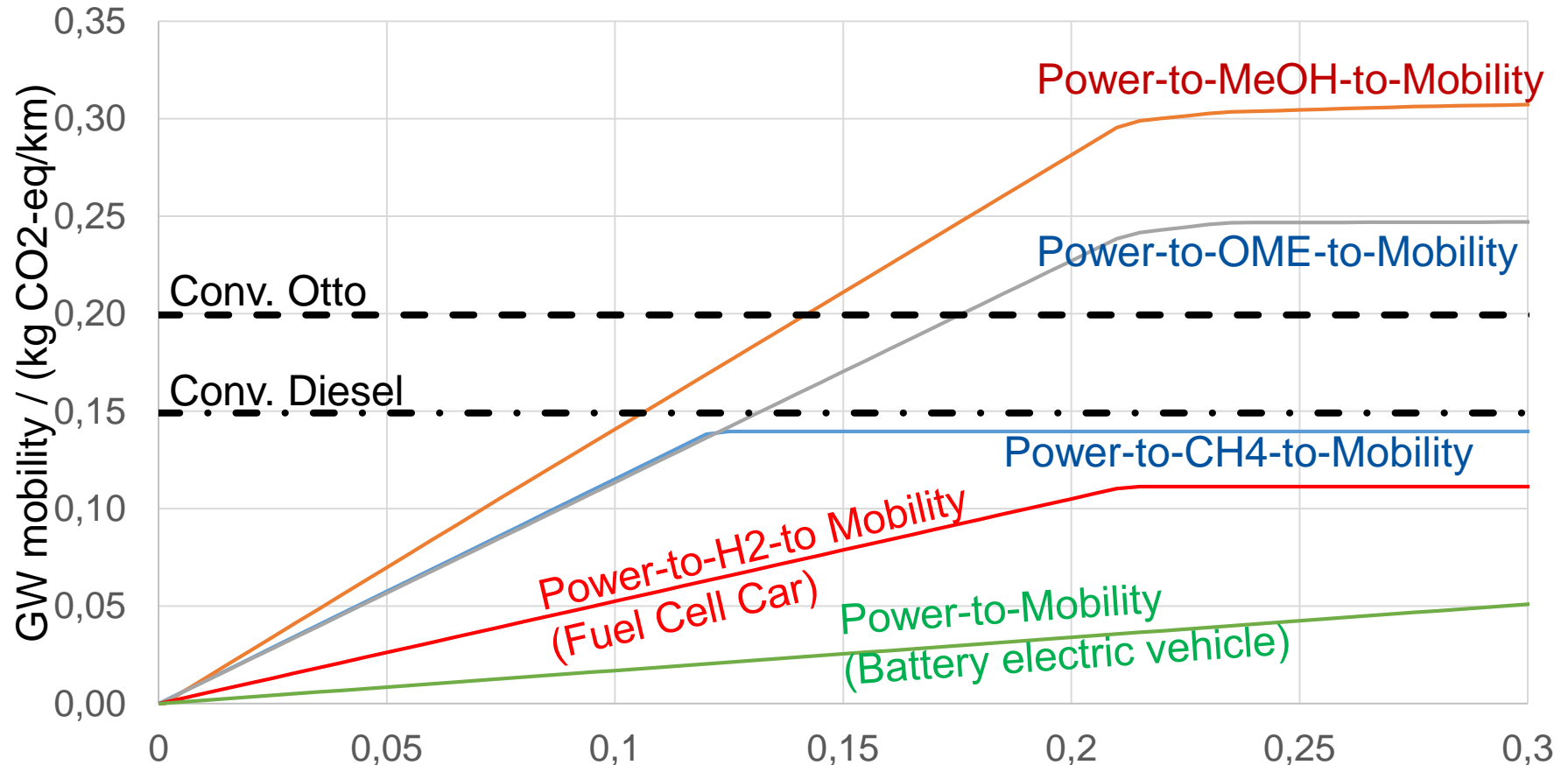
- Reiner „Überschuss-Betrieb“ unwahrscheinlich

Mit welchem Grid-Mix
wird Power-to-X-Route zum Baseload-Technologie?



Decarbonising Mobility

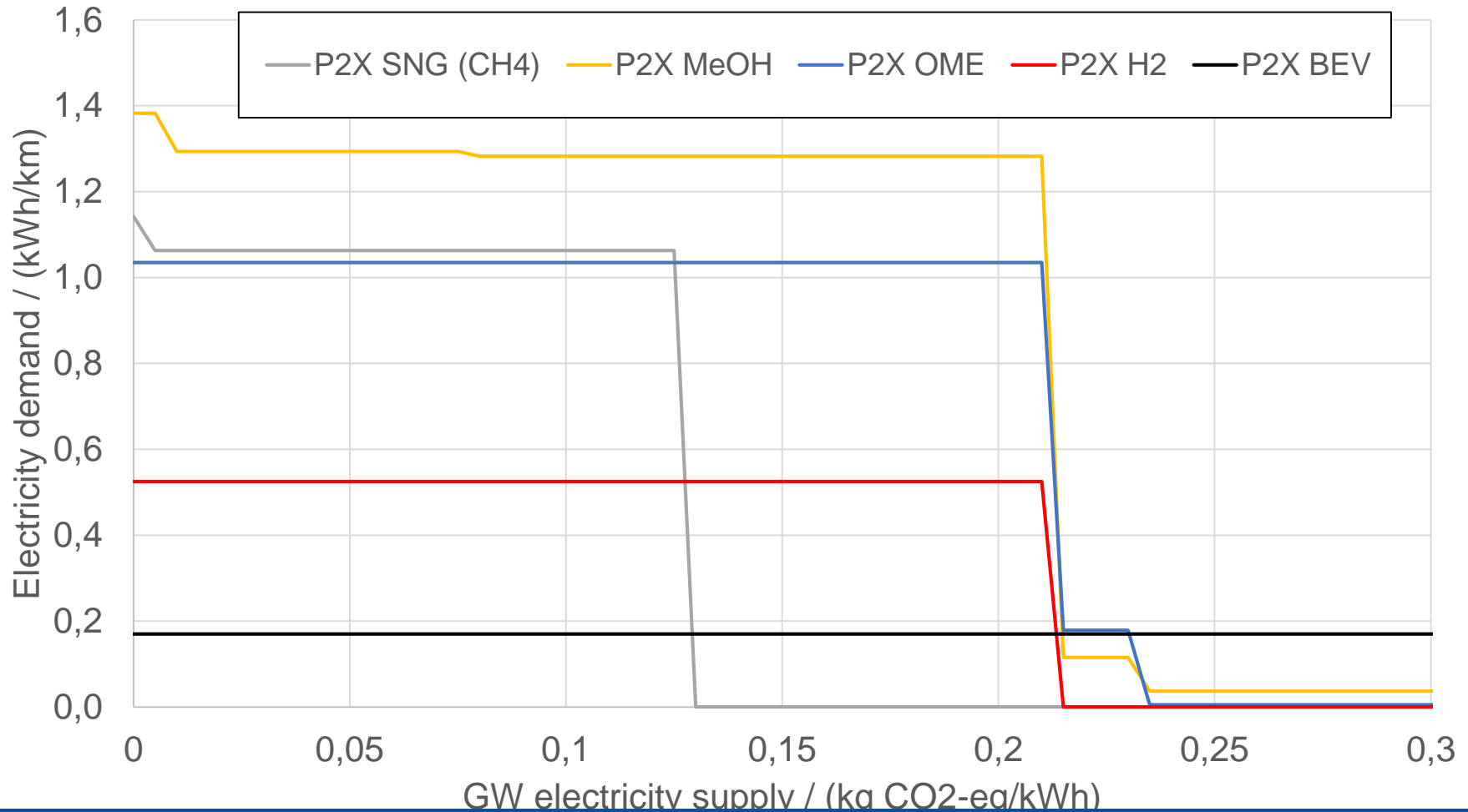
Quelle: Sternberg et al. Manuscript in preparation



- P2X-Vorteil hängt direkt am Strom-Mix
- Zeitliche / örtliche Sortierung der Technologien

Power-to-Mobility: Strombedarf für die Sektoren-Kopplung

Quelle: Sternberg et al. Manuscript in preparation



- Sektoren-Kopplung als Chance
ABER: ⇒ Erhöhter Bedarf an regenerativer Stromerzeugung

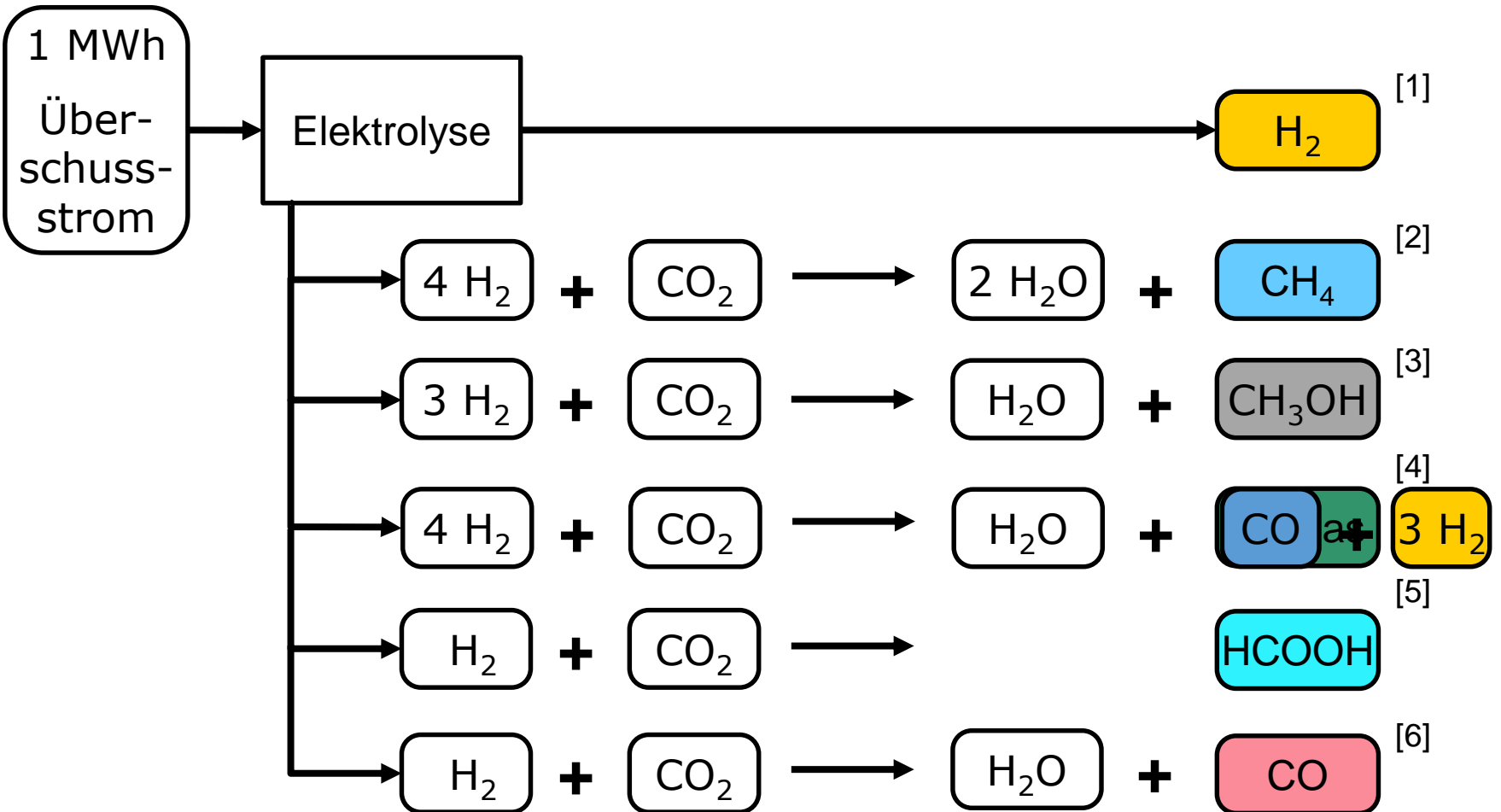
- Erneuerbarer Strom bietet neue Chancen zur Einbindung erneuerbarer Energien in andere Sektoren
- Effiziente Nutzung bleibt wichtig
⇒ Merit-order der P2X-Effizienz
- P2X Vorteil hängt direkt vom Strom-Mix ab
⇒ Zeitliche / örtliche Sortierung der Technologien

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

André Bardow

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik
Schinkelstrasse 8, 52062 Aachen
52062 Aachen
andré.bardow@itt.rwth-aachen.de

Power-to-Chemical-C1



[1] Schüth, *Chem. Ing. Tech.*, 2011, **83**, 1984–1993.

[3] Rhiko-Struckmann, *Peschel, Hanke-Rauschenbach, Sundmacher, Ind. Eng. Chem. Res.*, 2010, **49**, 11073–11078.

[5] Jens *et al.* (2016) in preparation.

[2] Müller, Müller, Teichmann, Arlt, *Chem. Ing. Tech.*, **83**, 2011.

[4] CO₂RRECT (033RC1006B) 2014.

[6] CO₂RRECT (033RC1006B) 2014.

