



POTSDAM INSTITUTE FOR  
CLIMATE IMPACT RESEARCH

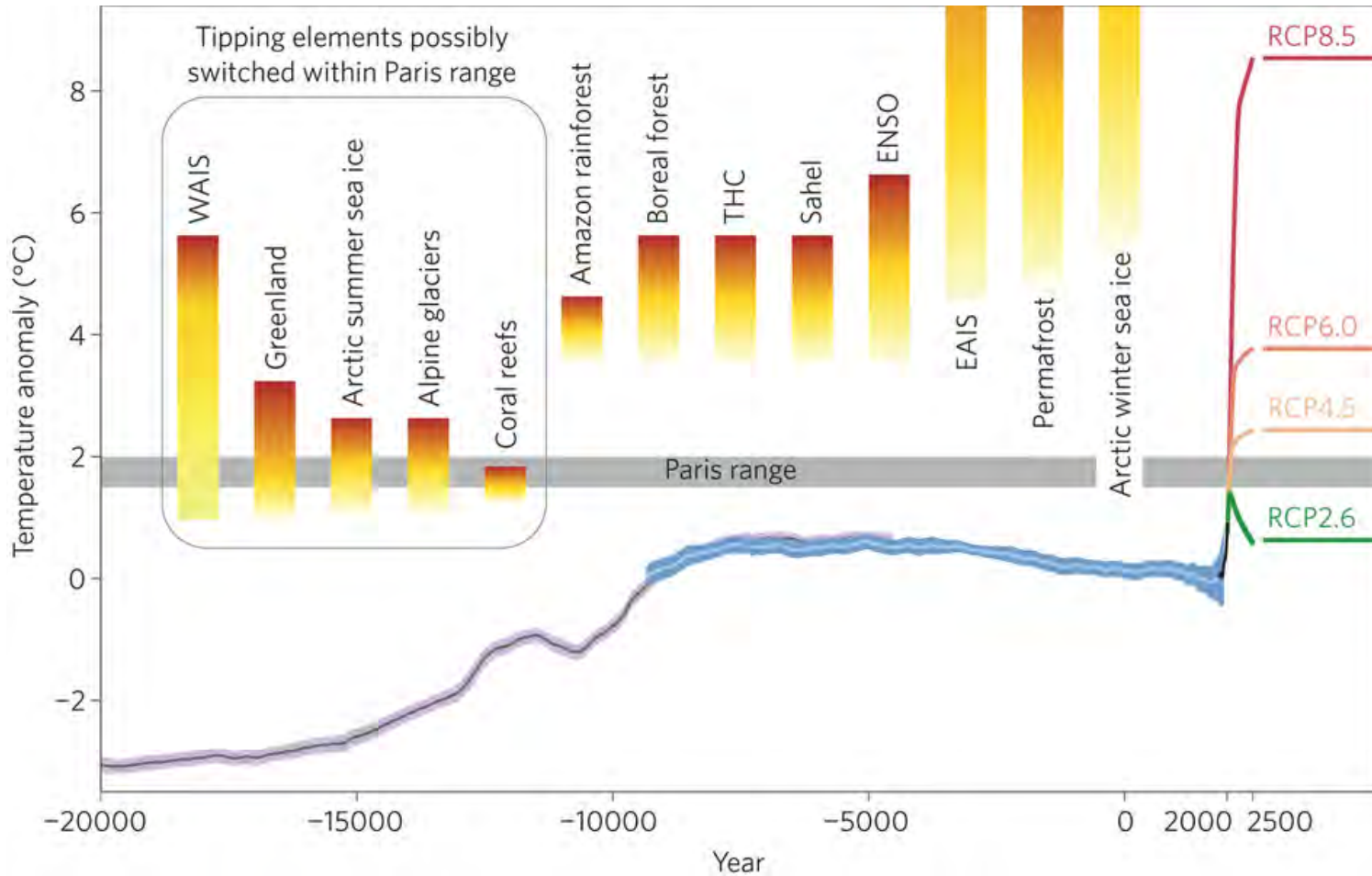
# Herausforderungen und Chancen auf dem Weg zur Null-Emissions-Gesellschaft

**Dr. Gunnar Luderer und Dr. Falko Ueckerdt**

*-- Entwurf 30.01.2019 --*

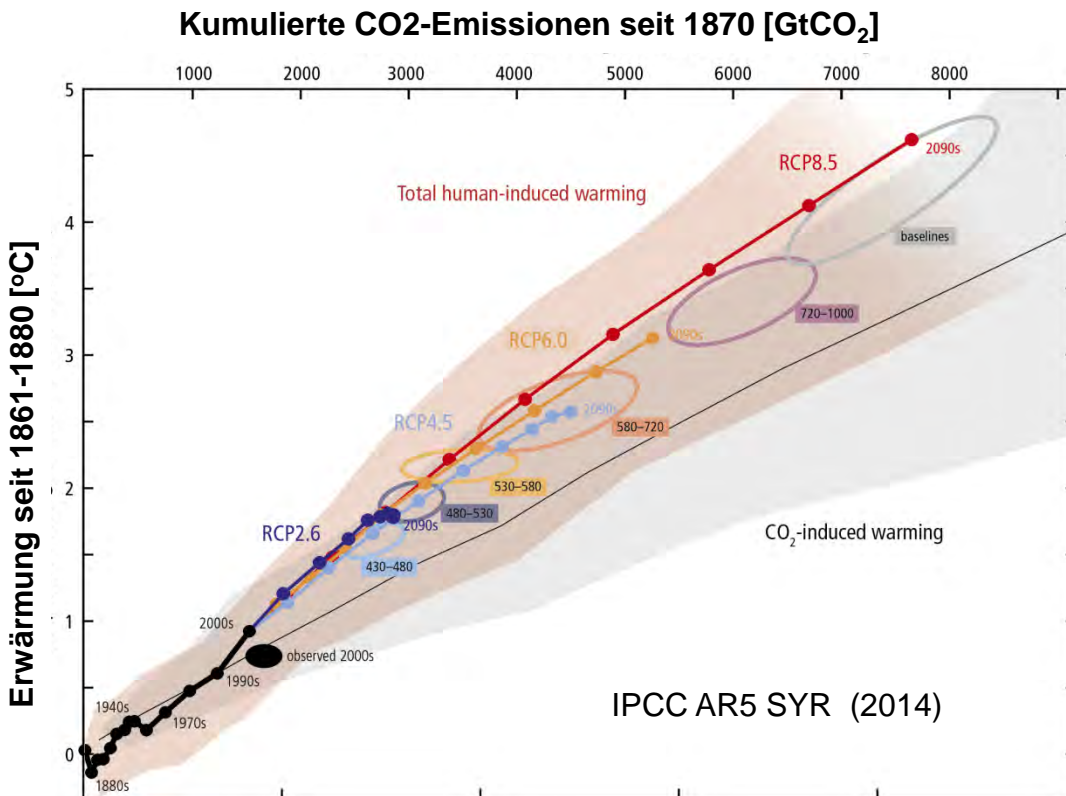
6. Kongress Ressourceneffiziente Produktion  
Leipzig, 6 Februar 2019

# Warum das 2°C-Ziel?



Schellnhuber et al. (2016)

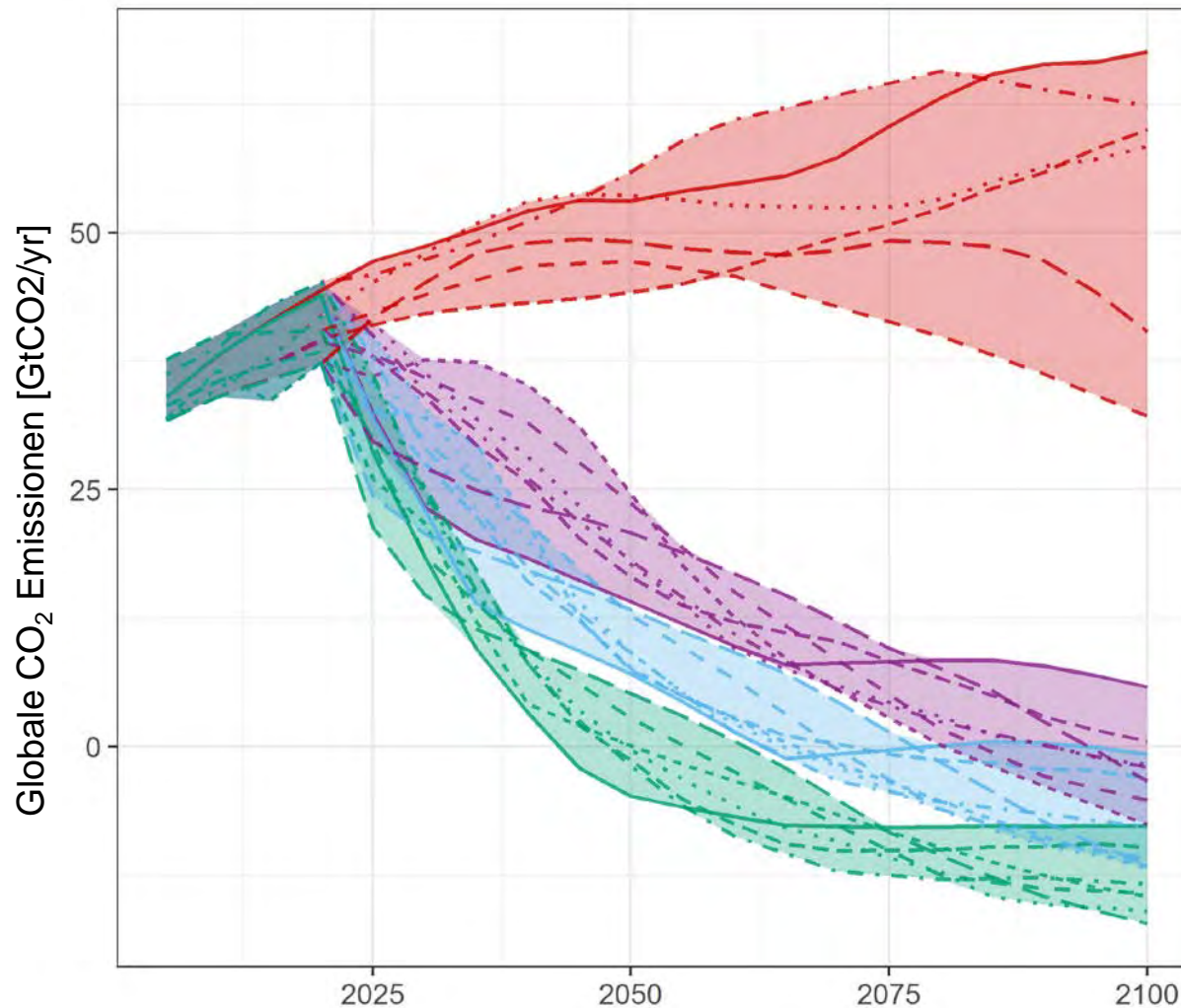
# Proportionalität der Erwärmung zu kumulierten Emissionen



Globale Erwärmung ist ungefähr proportional zu den kumulierten Emissionen

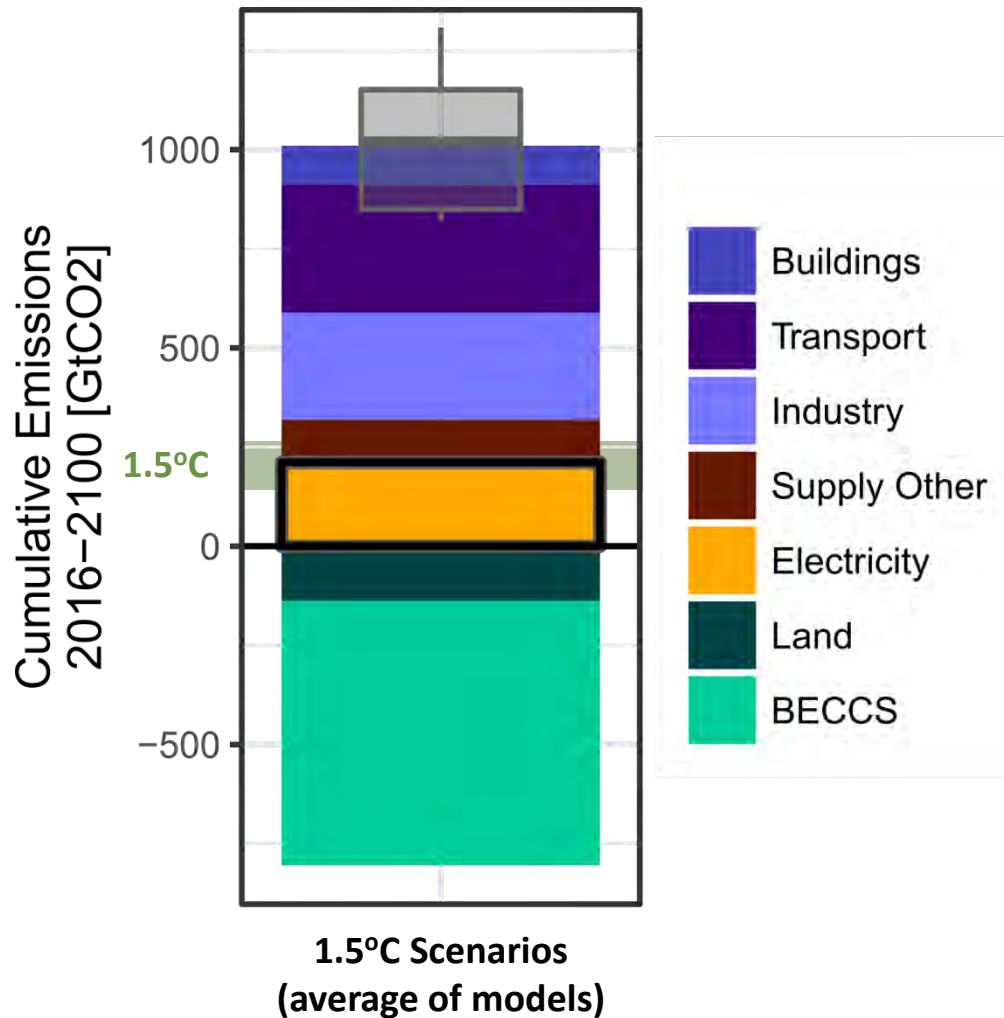
- Begrenztes Restbudget von ca. 1000 GtCO<sub>2</sub> für 2°C, und ca. 400 GtCO<sub>2</sub> für 1.5°C
- Emissionen müssen langfristig auf Null reduziert werden

# Globale Klimaschutz-Szenarien



- **Referenz:**  
Weiterführung aktueller  
Politiken
- **2°C:**  
2016-2100 CO<sub>2</sub> Budget 1400 Gt  
~50% Wahrscheinlichkeit für 2°C
- **Deutlich unter 2°C:**  
2016-2100 CO<sub>2</sub> Budget 800 Gt  
>67% Wahrscheinlichkeit 2°C
- **1.5°C:**  
2016-2100 CO<sub>2</sub> Budget 200 Gt  
>67% Wahrscheinlichkeit  
unter 1.5°C in 2100.

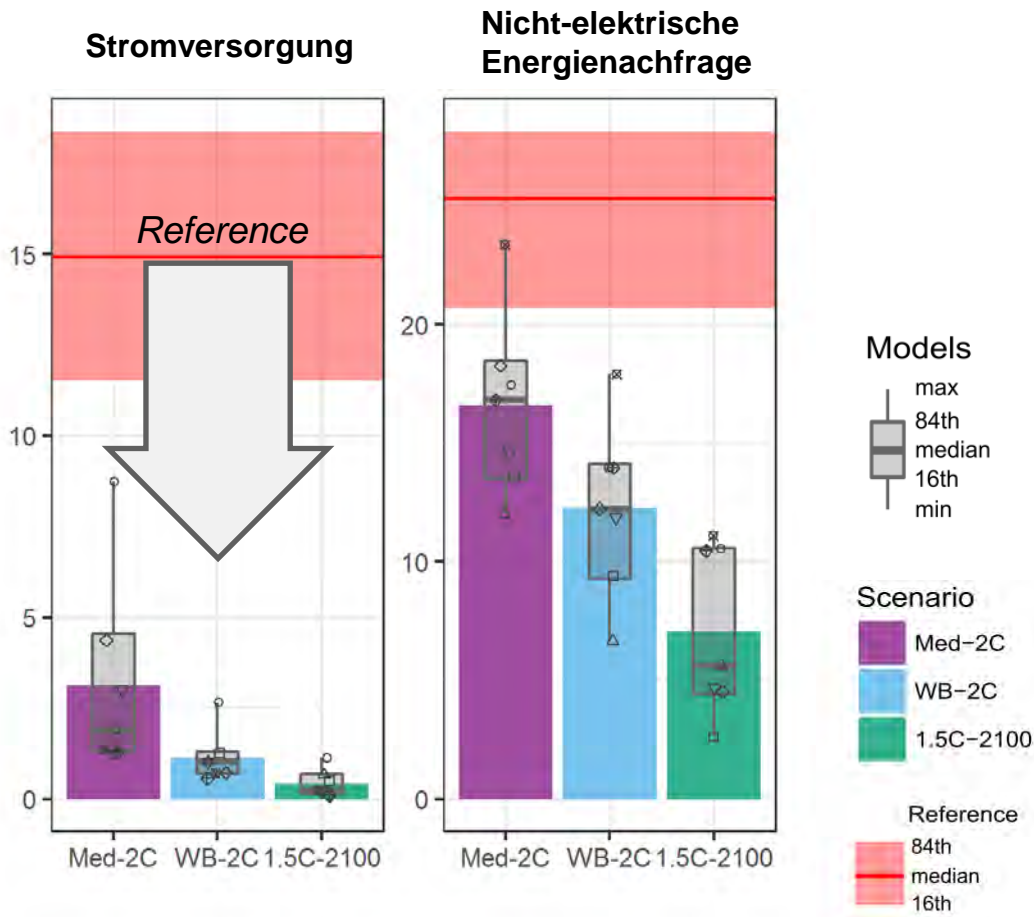
# Sektorale Anteile an den Emissionen



- Selbst bei sehr hohen Klimaschutzanstrengungen bleiben fossile Restemissionen von ca. 1000 GtCO<sub>2</sub> bis 2100
- Größte Beiträge:  
Verkehr (insb. Fracht, Luftfahrt)  
Industrie (z.B. Stahl, Zement,...)

# Sektorale Emissionsreduktionen

Fossil CO<sub>2</sub> emissions in 2050 (Gt)

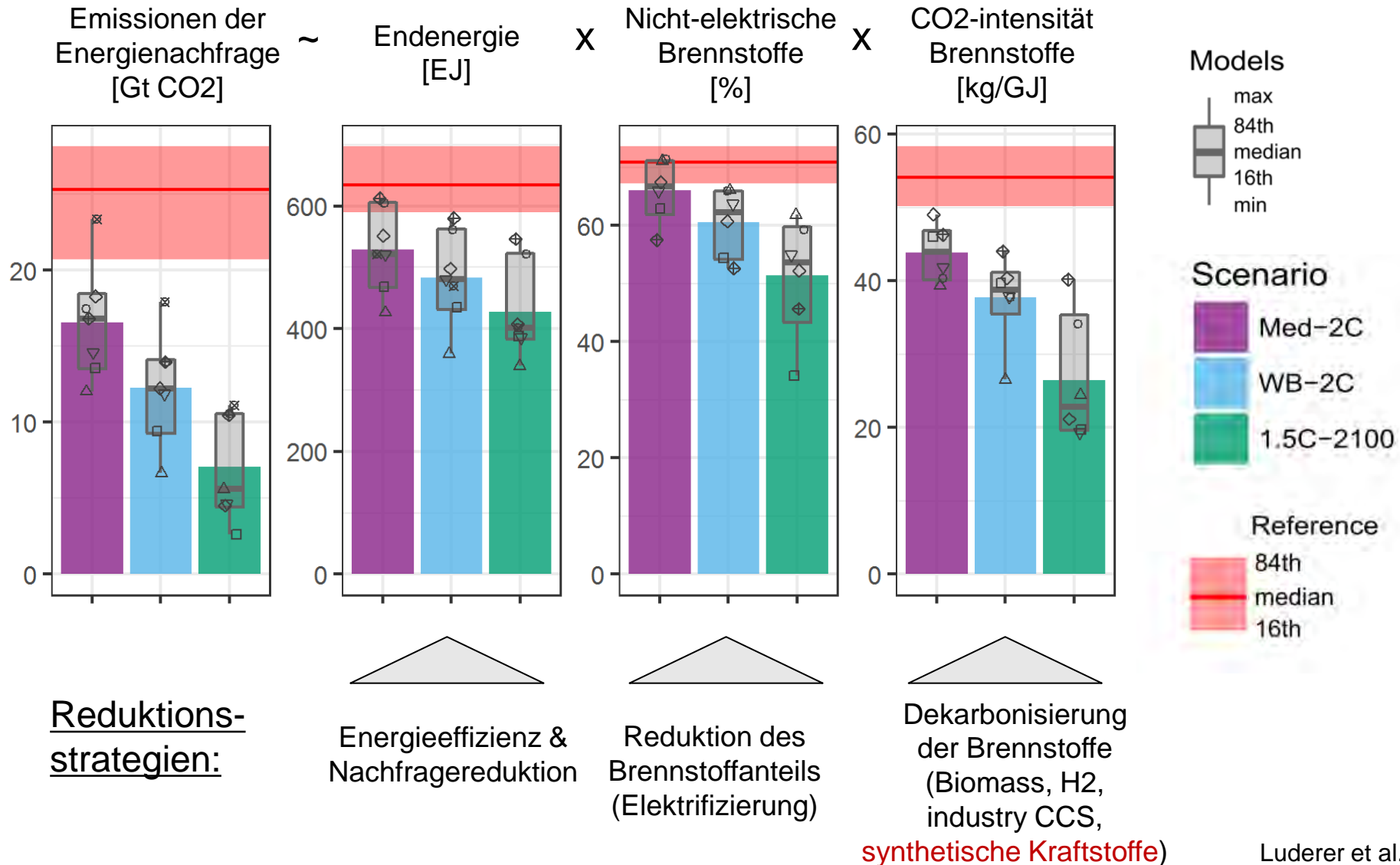


- Stromversorgung kann deutlich leichter dekarbonisiert werden
- Zusatzaufwand für 1.5°C-Ziel vor allem durch nachfrage-seitige Maßnahmen bei Mobilität, Industrie, Gebäude

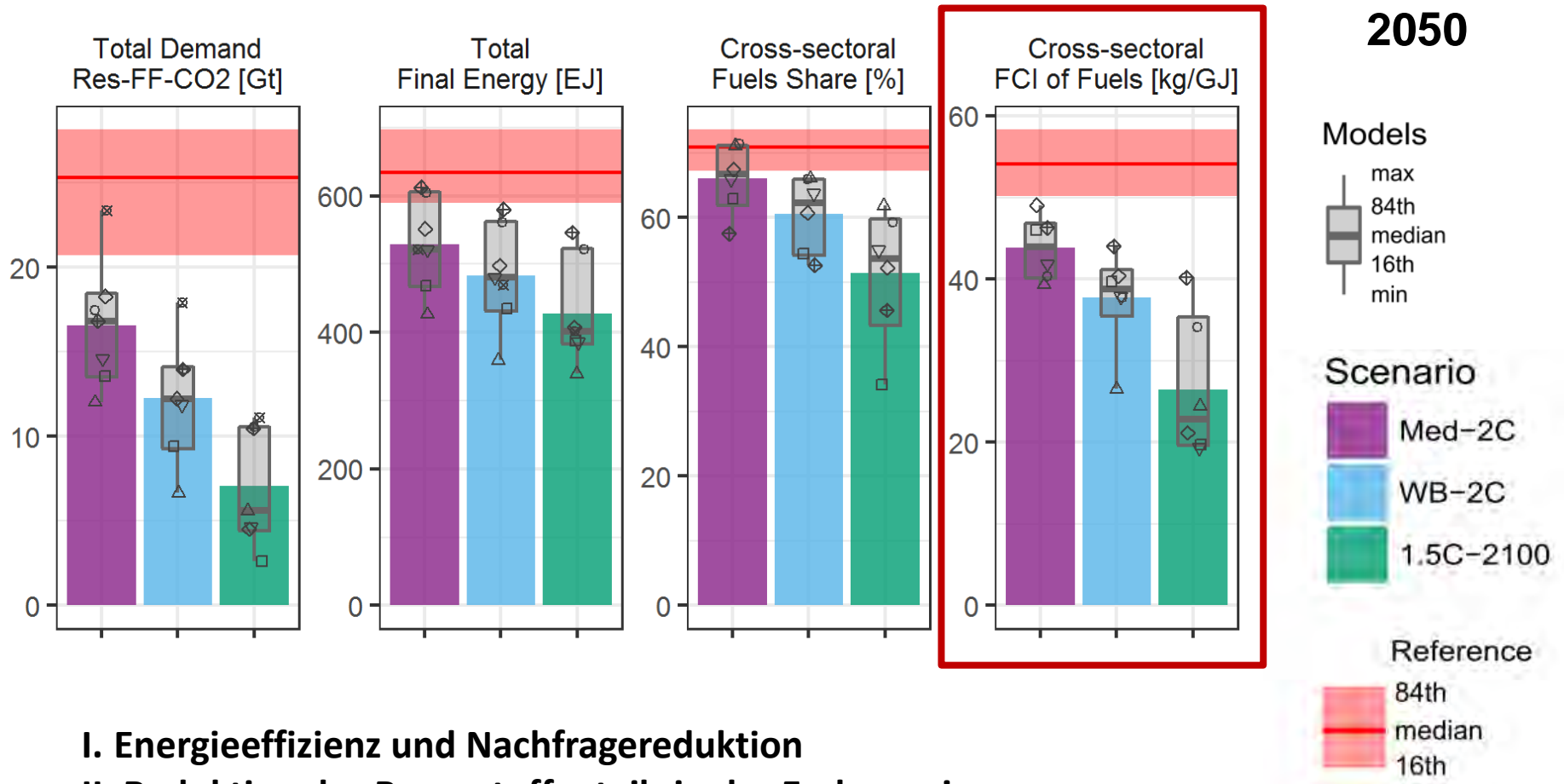
# Strategien zur Reduktion nachfrageseitiger Emissionen

## Zerlegung der CO2 Emissionen

2050



# Strategien zur Reduktion nachfrageseitiger Emissionen



- I. Energieeffizienz und Nachfragereduktion
- II. Reduktion des Brennstoffanteils in der Endenergie (Elektrifizierung)
- III. Dekarbonisierung der Brennstoffe (Biomass, H2, industry CCS, **synthetische Kraftstoffe**)

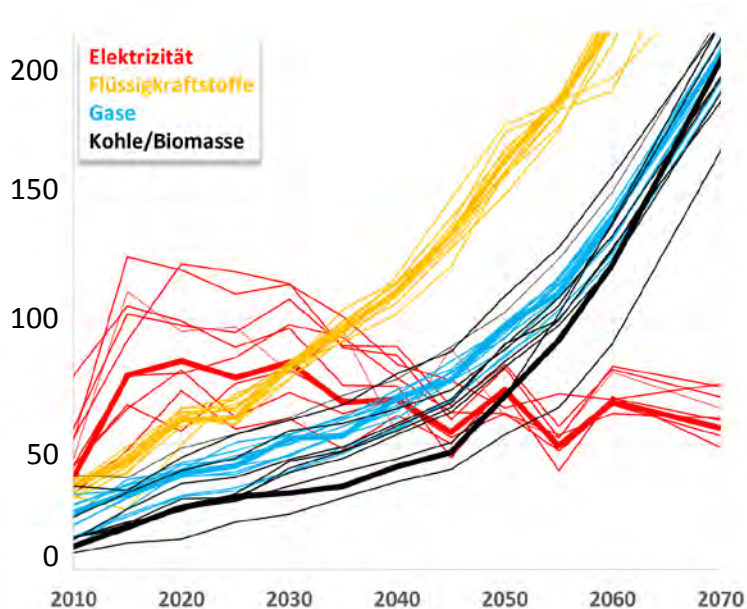


# Fundamentale Verschiebungen in Energiemärkten

**Strom wird günstigster  
Energieträger...**

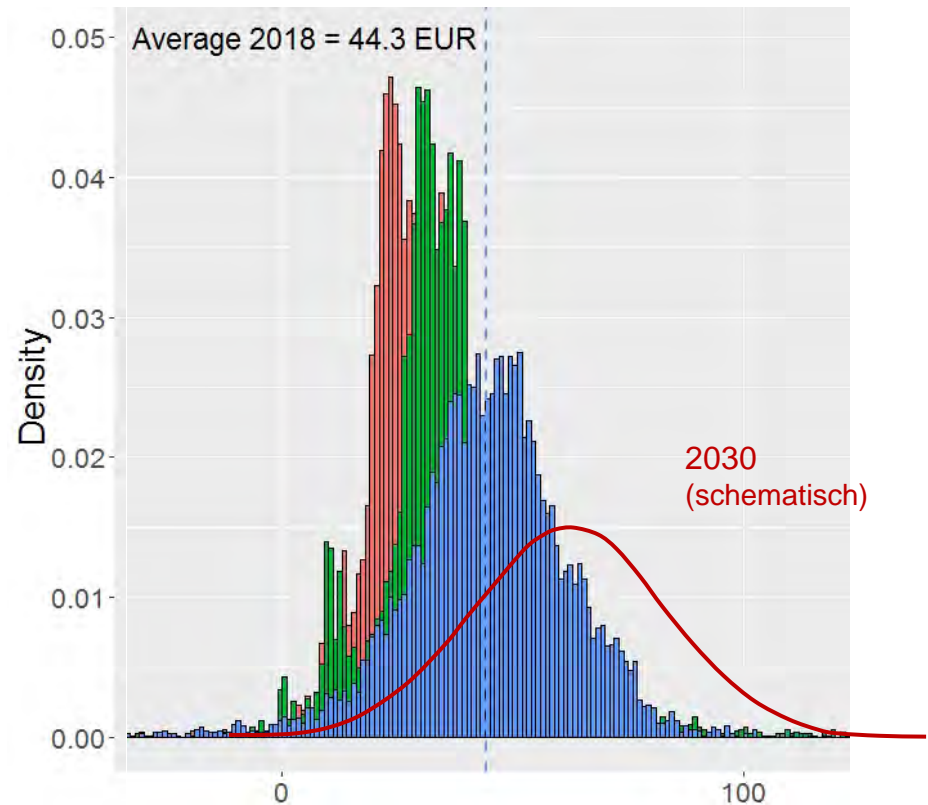
**...mit zunehmend hoher Variabilität**

Brennstoffpreise [€/MWh]



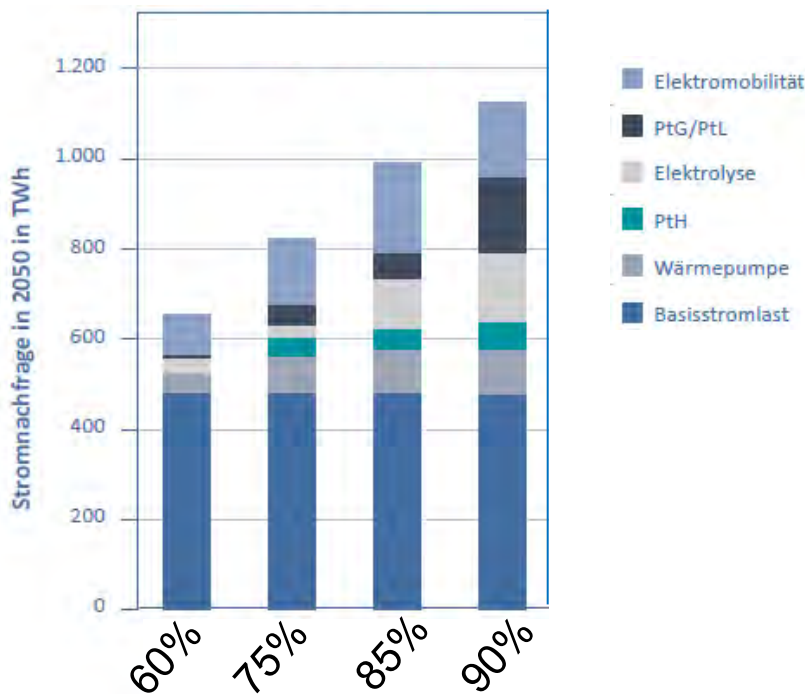
2°C scenario, PIK (2018)

Verteilung der EEX-Strompreise [EUR/MWh]



# Chancen in einem EE-dominierten Energiesystem

## (1) Erneuerbare Stromerzeugung



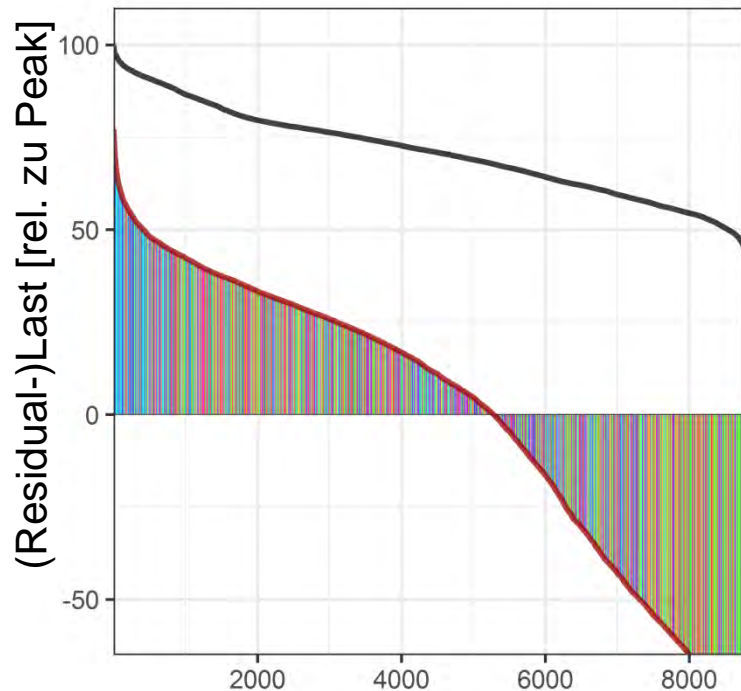
- Deutlich höhere Stromnachfrage bei stringenten Klimazielen
- Massiver Zubau zusätzlicher Wind- und Solarstromkapazität, mit hohem lokalen Wertschöpfungsanteil
- Zubau von Übertragungsnetzkapazitäten

Acatech (2017)

# Chancen in einem EE-dominierten Energiesystem

## (2) Speichertechnologien und Batterien

[PV50% / Wind 50%]

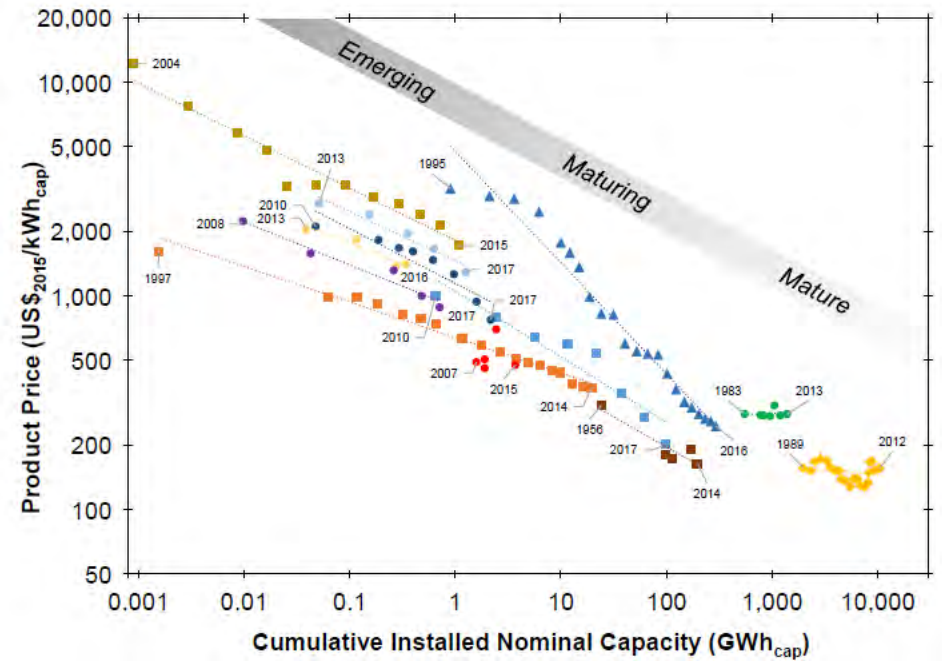
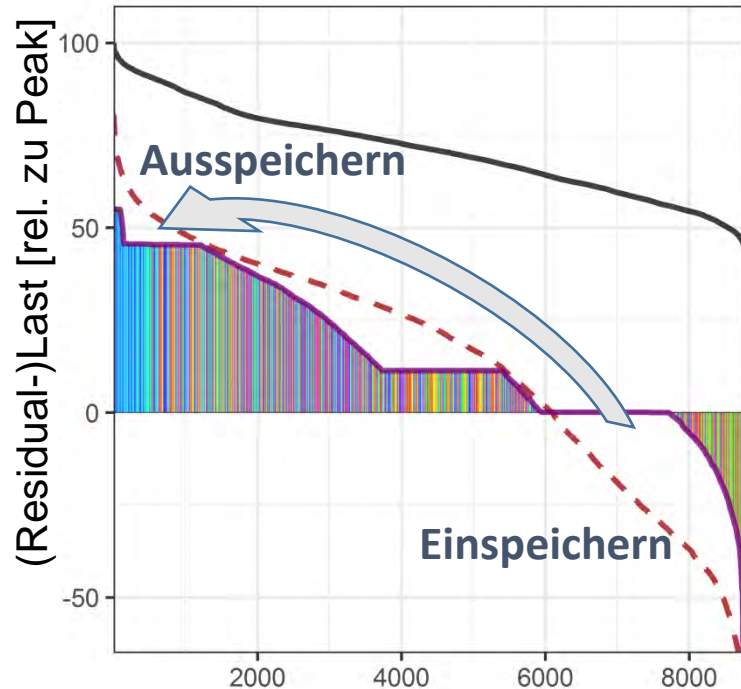


Based on  
Ueckerdt, Pietzcker et al. (2017)

# Chancen in einem EE-dominierten Energiesystem

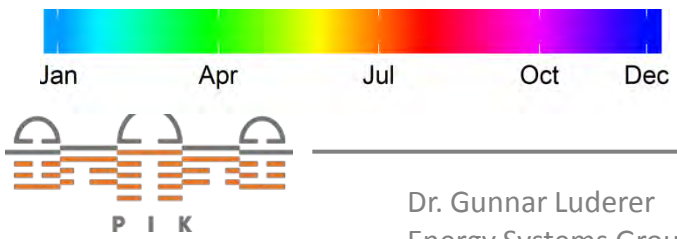
## (2) Speichertechnologien und Batterien

[PV50% / Wind 50%]



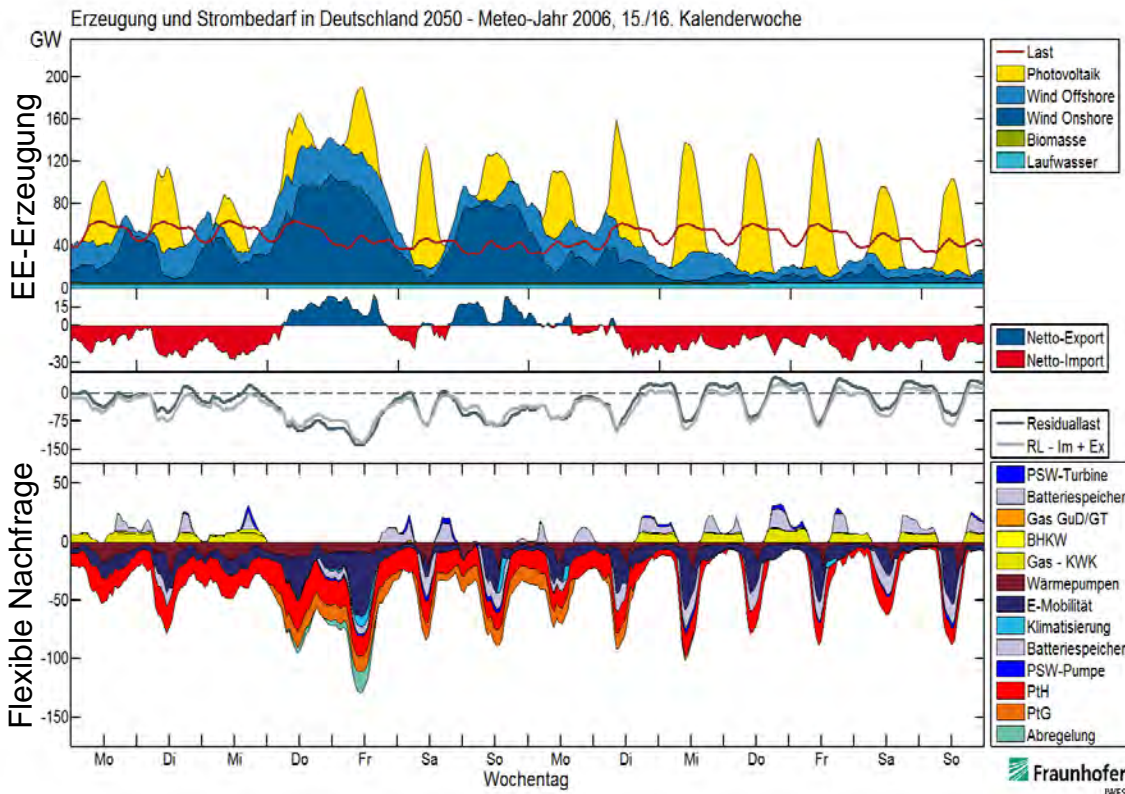
Schmidt et al., Nat. En. (2018)

- System ■ Pack ◆ Module ▲ Battery
- Pumped hydro (Utility, -1±8%)
- ◆ Lead-acid (Multiple, 4±6%)
- Lead-acid (Residential, 13±5%)
- ▲ Lithium-ion (Electronics, 30±2%)
- Lithium-ion (EV, 19±5%)
- Lithium-ion (Residential, 15±4%)
- Lithium-ion (Utility, 16±5%)
- Nickel-metal hydride (HEV, 11±1%)
- Sodium-sulfur (Utility, -)
- Vanadium redox-flow (Utility, 13±3%)
- Electrolysis (Utility, 18±6%)
- Fuel Cells (Residential, 16±2%)



# Chancen in einem EE-dominierten Energiesystem

## (3) Sektorenkopplung



Credit: Fraunhofer IWES

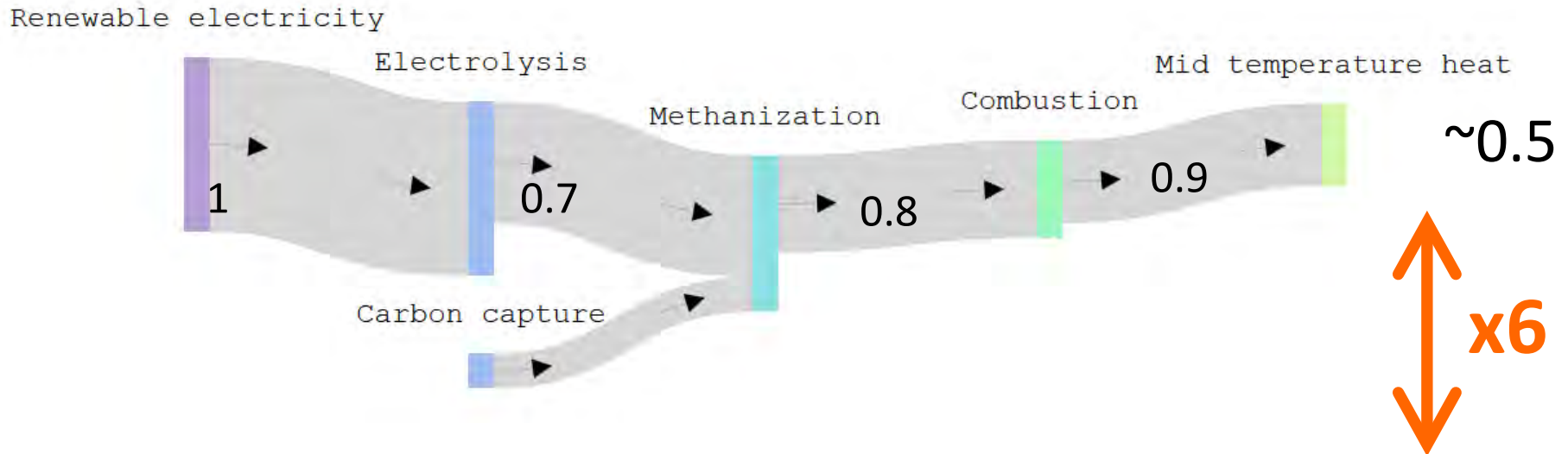
Zunehmende Elektrifizierung und Flexibilisierung von Mobilität und Wärme:

- Power-to-Heat, auch bivalent mit Gas/H<sub>2</sub>
- E-Mobilität
- IT/KI-Lösungen für Smarte Steuerung

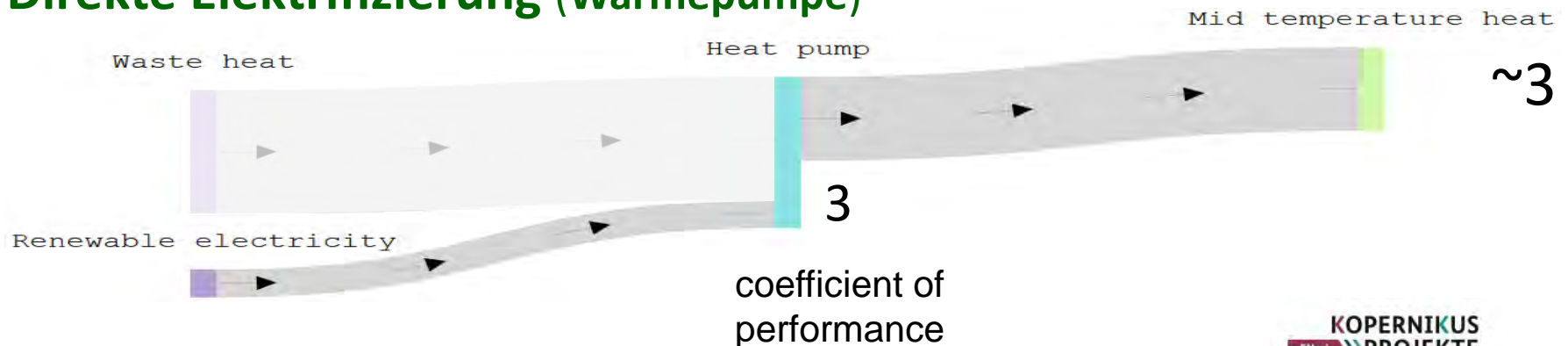
# Elektrifizierung: Prozesswärme

Gesamteffizienz  
[MWh<sub>th</sub>/MWh<sub>el</sub>]

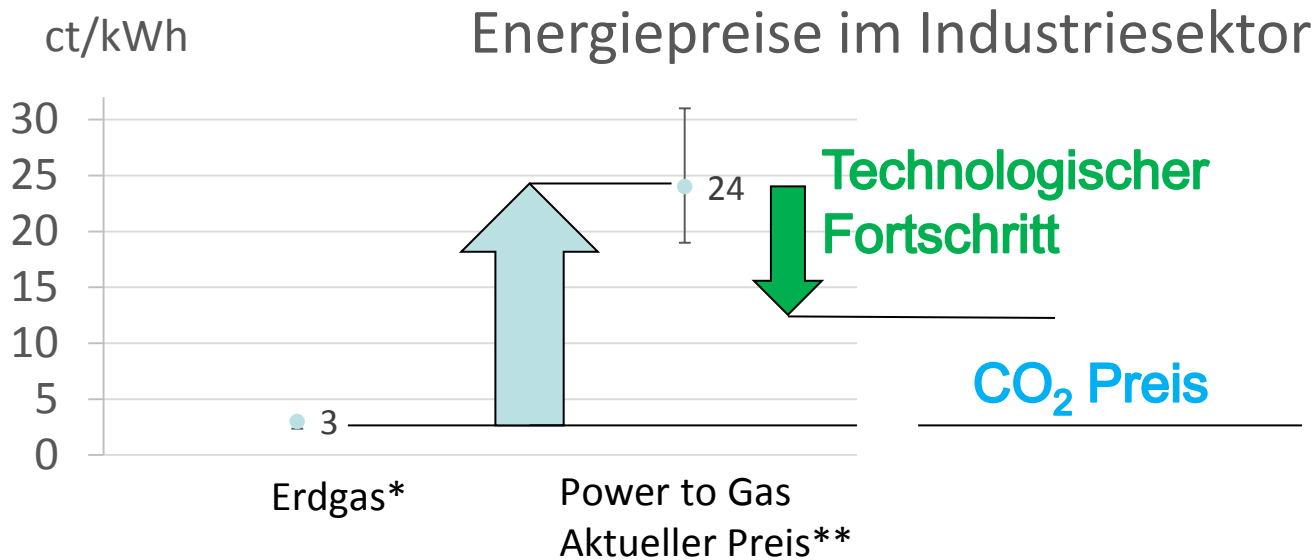
## Indirekte Elektrifizierung (Power-to-Gas with Air Capture of CO<sub>2</sub>)



## Direkte Elektrifizierung (Wärmepumpe)



# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten - Kosteneffizienz



- Sehr hoher Primärenergieaufwand für PtG, aber Technologiefortschritt könnte die Preise deutlich senken.
- CO<sub>2</sub>-Preis von ca. 500€ /t CO<sub>2</sub> notwendig.
- PtG konkurriert in vielen Anwendungen mit Direktelektrifizierung (z.B., „Power-to-Heat“) – diese ist oft günstiger.

Quellen: \* Erdgaspreis in DE 2015/2016 für Industriekunden, Statistisches Bundesamt (Destatis), 2018, Data on energy price trends

\*\*Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels.

\*\*\* Estimate

# Chancen in einem EE-dominierten Energiesystem

## (4) Carbonmaterialien und negative Emissionen

Carbon-Fibre-Stone als Ersatz für Stahl, Beton und Aluminium

- ✓ Extrem gute und flexibel gestaltbare Materialeigenschaften (geringes Gewicht, hohe Stabilität und Elastizität)
- ✓ Bis zu 50% Energieeinsparung bei der Materialherstellung
- ✓ CO<sub>2</sub>-negativ wenn Kohlefasern aus Biomasse (z.B. Algen) genutzt werden

<http://cleancarbon.technology>

<http://technocarbon.de/>



# Fazit

- Klimapolitik muss (a) kurzfristig rasche Emissionsminderungen, und (b) langfristig CO<sub>2</sub>-Neutralität erreichen um die Erwärmung auf deutlich unter 2°C zu begrenzen
- Dieser Herausforderung kann nur mit einem breiten Portfolio von Maßnahmen und Technologien begegnet werden. Für Industrie spielen insbesondere Effizienz, Elektrifizierung, alternative Kraftstoffe und CCS eine wichtige Rolle.
- Ein klarer und langfristig verlässlicher Regulierungsrahmen ist entscheidend, um Innovationen zu fördern und die Transformation zu induzieren. Wichtige Komponenten: Strommarktreform, CO<sub>2</sub>-basierte Energiesteuerreform, gezielte Technologieförderung.

# Vielen Dank!

Dr. Gunnar Luderer  
Head, Energy Systems Group  
RD3 – Transformation Pathways  
Potsdam Institute for Climate Impact Research

[luderer@pik-potsdam.de](mailto:luderer@pik-potsdam.de)

[www.pik-potsdam.de/members/luderer](http://www.pik-potsdam.de/members/luderer)



# Literatur

- Allen, Myles, Mustafa Babiker, Yang Chen, Heleen de Coninck, Sarah Connors, Renée van Diemen, and Renée van Diemen. “Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5 ° C an IPCC Special Report.” IPCC, 2018.
- Luderer, G. et al. “Residual Fossil CO2 Emissions in 1.5–2 ° C Pathways.” *Nature Climate Change* 8, no. 7 (July 2018): 626–33. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0198-6>.
- Ueckerdt, Falko, Robert Pietzcker, Yvonne Scholz, Daniel Stetter, Anastasis Giannousakis, and Gunnar Luderer. “Decarbonizing Global Power Supply under Region-Specific Consideration of Challenges and Options of Integrating Variable Renewables in the REMIND Model.” *Energy Economics* 64, no. Supplement C (May 1, 2017): 665–84. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.05.012>.
- Schellnhuber, Hans Joachim, Stefan Rahmstorf, and Ricarda Winkelmann. “Why the Right Climate Target Was Agreed in Paris.” *Nature Climate Change* 6, no. 7 (July 2016): 649–53. <https://doi.org/10.1038/nclimate3013>.