

Klimaneutralität in Europa – Exergieoptimiertes Vorgehen als Faktor zur Verringerung von Abhängigkeiten

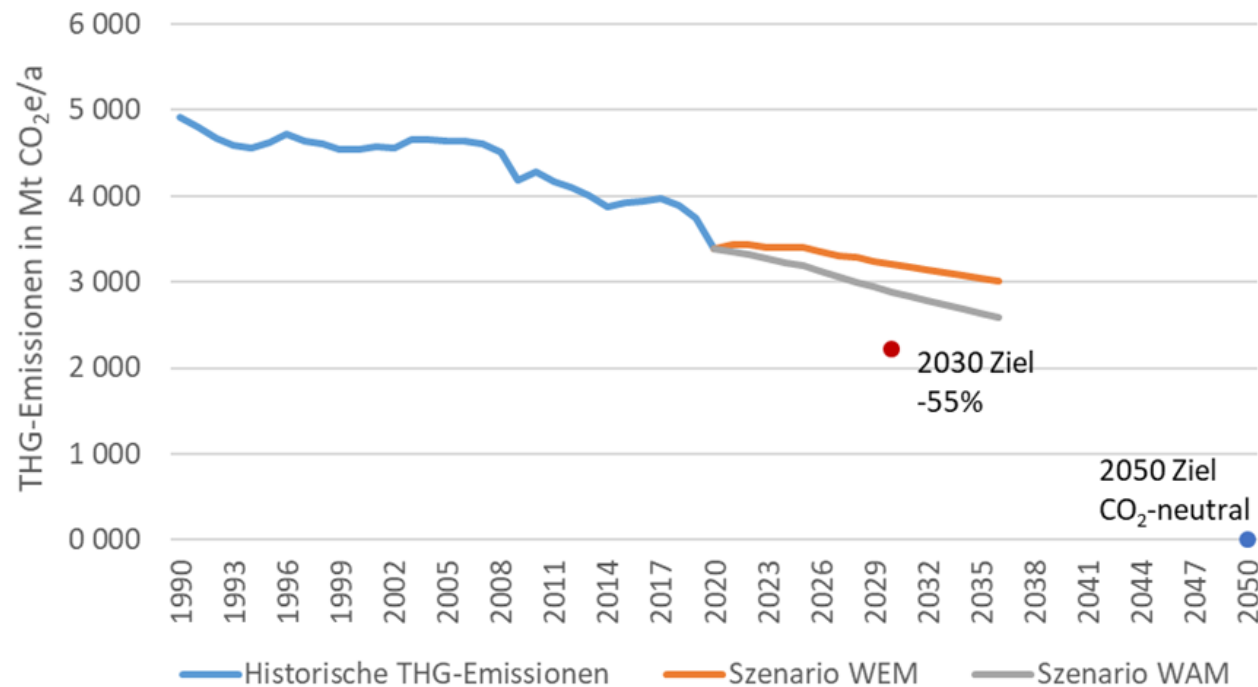
Thomas Kienberger

How to get out?



Climate Pledges

- Als erster Kontinent: Klimaneutralität in Europa bis 2050 (Green Deal, FitFor55)
- Einige Staaten nehmen sich mehr vor – Finnland 2035, Österreich 2040, Deutschland 2045
- CO₂-Emissionen sinken (aber nicht schnell genug)



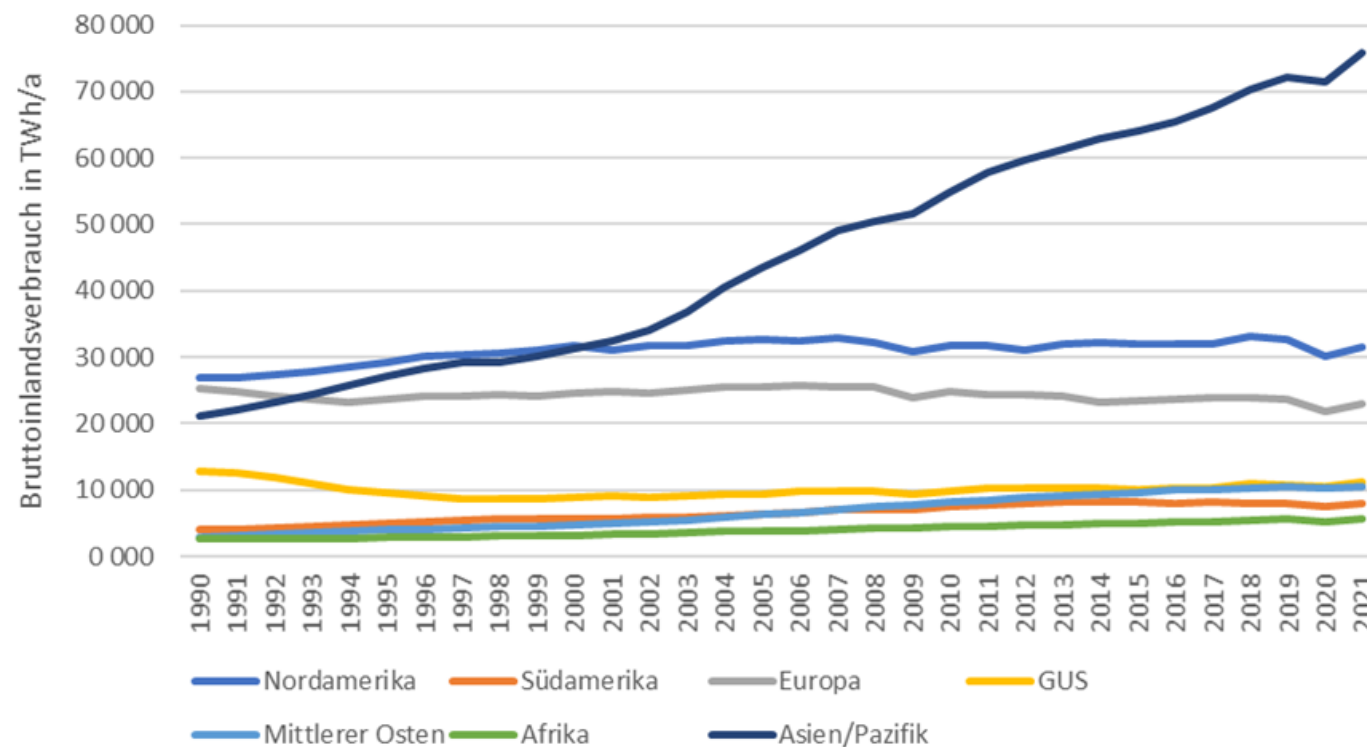
Quelle: European Environment Agency 2022

Hypothese I: Die europäischen Klimaziele können ordentliche FTI Politik vorausgesetzt, Technologieexporte pushen.

Globale Einordnung

Climate Pledges

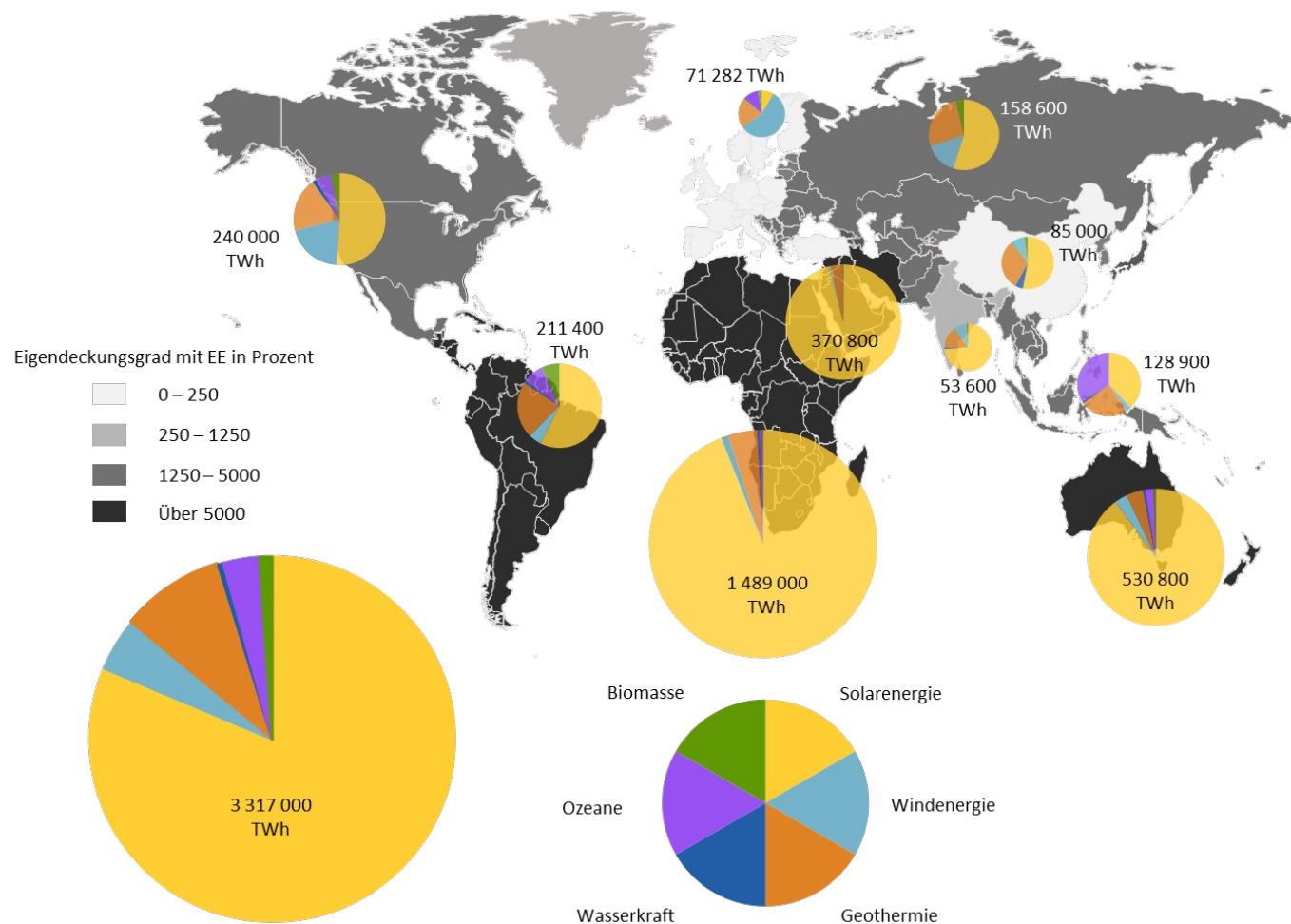
- Als erster Kontinent: Klimaneutralität in Europa bis 2050 (Green Deal, FitFor55)
- Einige Staaten nehmen sich mehr vor – Finnland 2035, Austria 2040, Deutschland 2045
- CO₂-Emissionen sinken (aber nicht schnell genug)
- Europäischer Energiebedarf in Seitwärtsbewegung
- Ausbau der Erneuerbaren ist für die bereits sichtbare CO₂-Reduktion verantwortlich, Energieeffizienzmaßnahmen kompensieren jedoch ausschließlich das Wirtschaftswachstum



Fazit: Beides muss schneller und umfassender gehen, Umstieg auf Erneuerbare und Energieeffizienz

Quelle: BP 2022

Erneuerbare Energiequellen

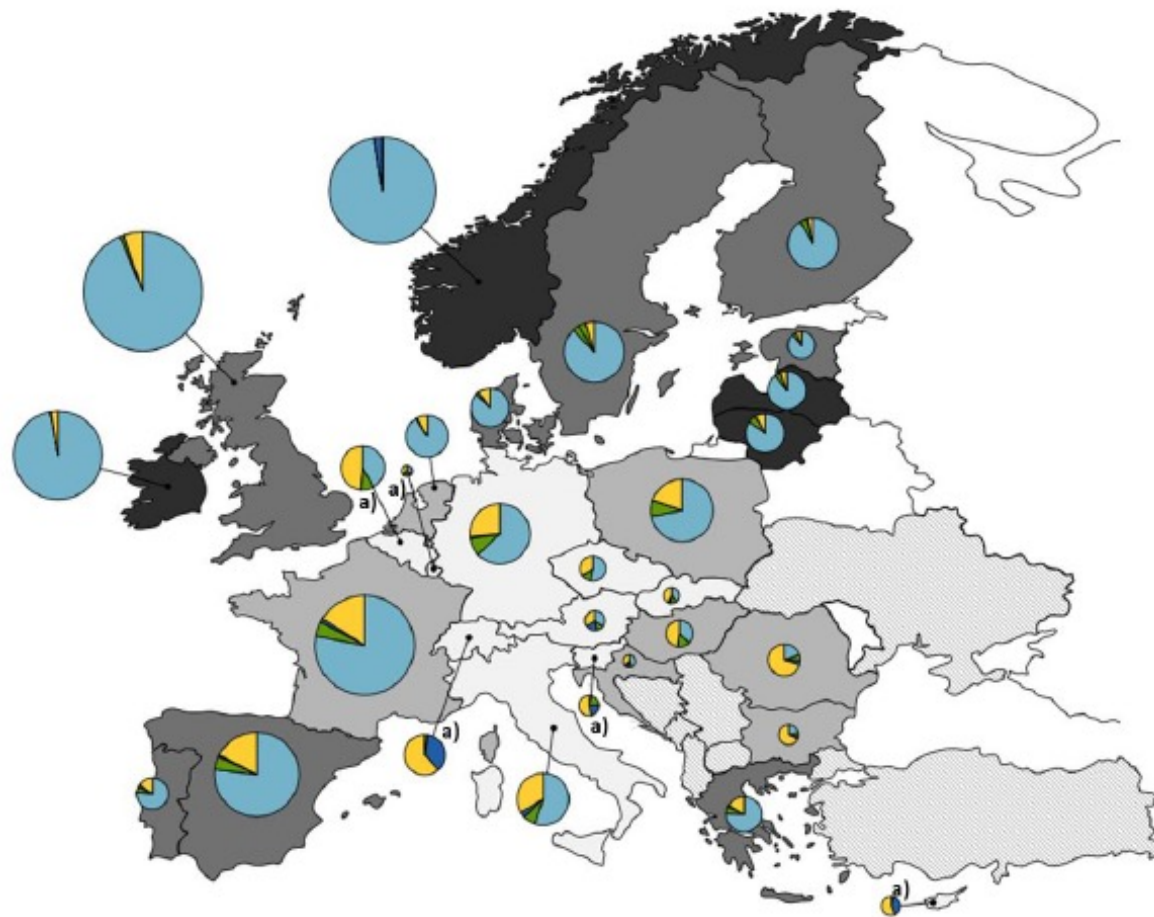


Erneuerbare in Europa sind beschränkter als anderswo

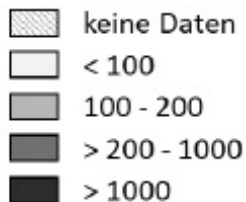
- Flächenverfügbarkeit aber auch Akzeptanz, langsames Handeln bei ihrem Ausbau und beim Ausbau der Infrastruktur.
- Andere Weltregionen haben bessere natürliche Bedingungen für Erneuerbare – höhere Volllaststunden → geringere Kosten → bessere Ausnutzung der Rohstoffe:

Hypothese II: Europa wird Erneuerbare Importe brauchen.

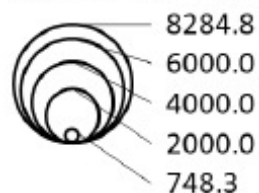
Erneuerbare Energiequellen



Eigenversorgungsgrad mit EE in Prozent

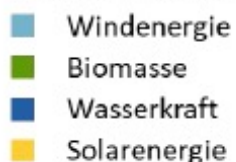


Potential in TWh/a



a) tatsächliches Potential 10-mal geringer als dargestellt

Erneuerbare Energiepotenziale



Technische Potentiale (PV, Wind, Wasser und Biomasse) in EU27:

- Ca. 51.500 TWh/a

Bruttoinlandsverbrauch EU27 in 2021

- Ca. 15.400 TWh/a

Erschließbare Potentiale:

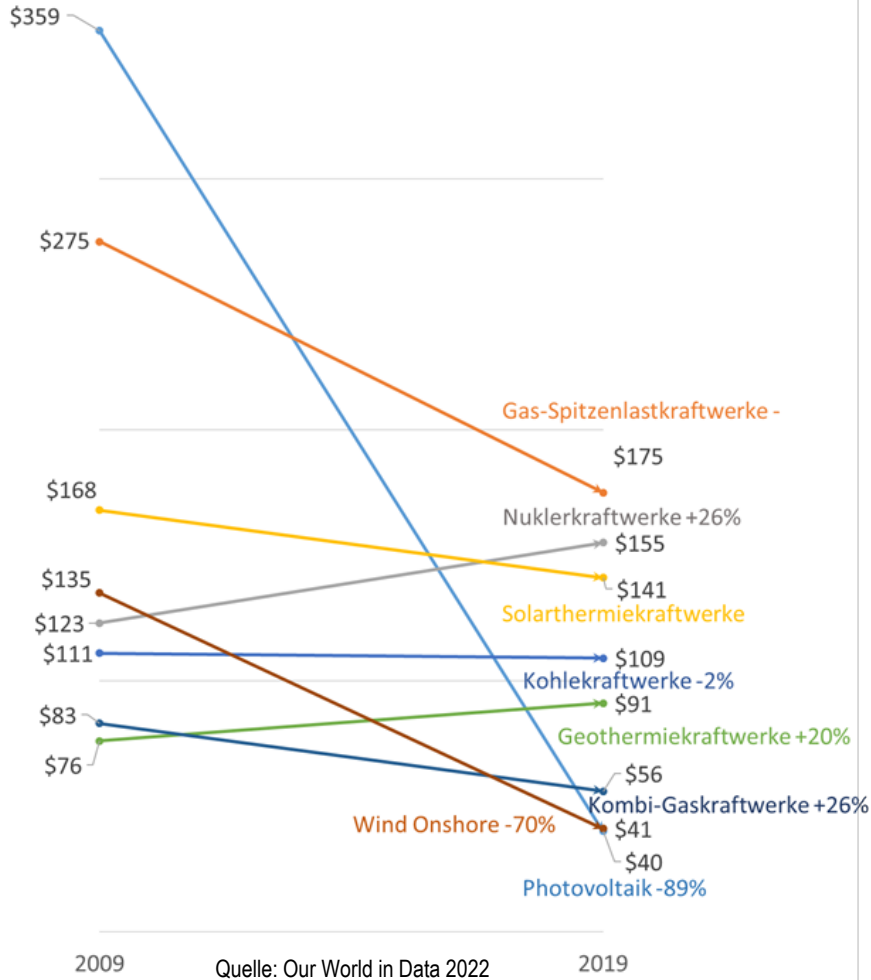
- Abschlüge zwischen technischen und erschließbaren Potentialen i.d.R zw. 3-5

Hypothese II: Europa wird Erneuerbare Importe brauchen.

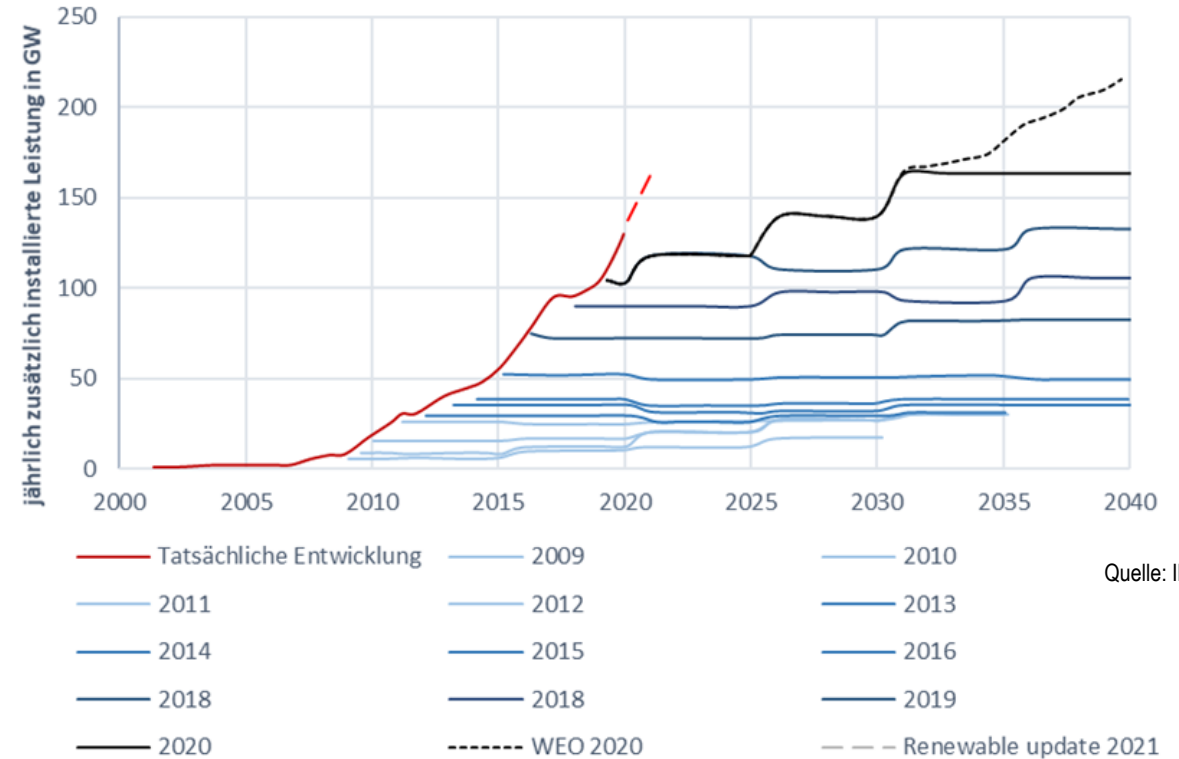
Erschließbare Potentiale?
EU Referenz-Szenario (2021) bildet WAM Policies ab
ca. 6.400 TWh/a RES bis 2050

Vielleicht ein bisschen zaghaft, aber schon ein mal ein Anhaltswert

Kosten- und Durchdringungsratenentwicklung für erneuerbaren Strom und Wasserstoff



Aktuelle Entwicklung der Stromgestehungskosten



PV-Ausbau: Prognosen vs. tatsächlicher Ausbau

- Entwicklung des globalen Ausbaus wird massiv unterschätzt!
- Rahmenbedingungen hinken der tatsächlichen Entwicklung hinterher – insbesondere Netze

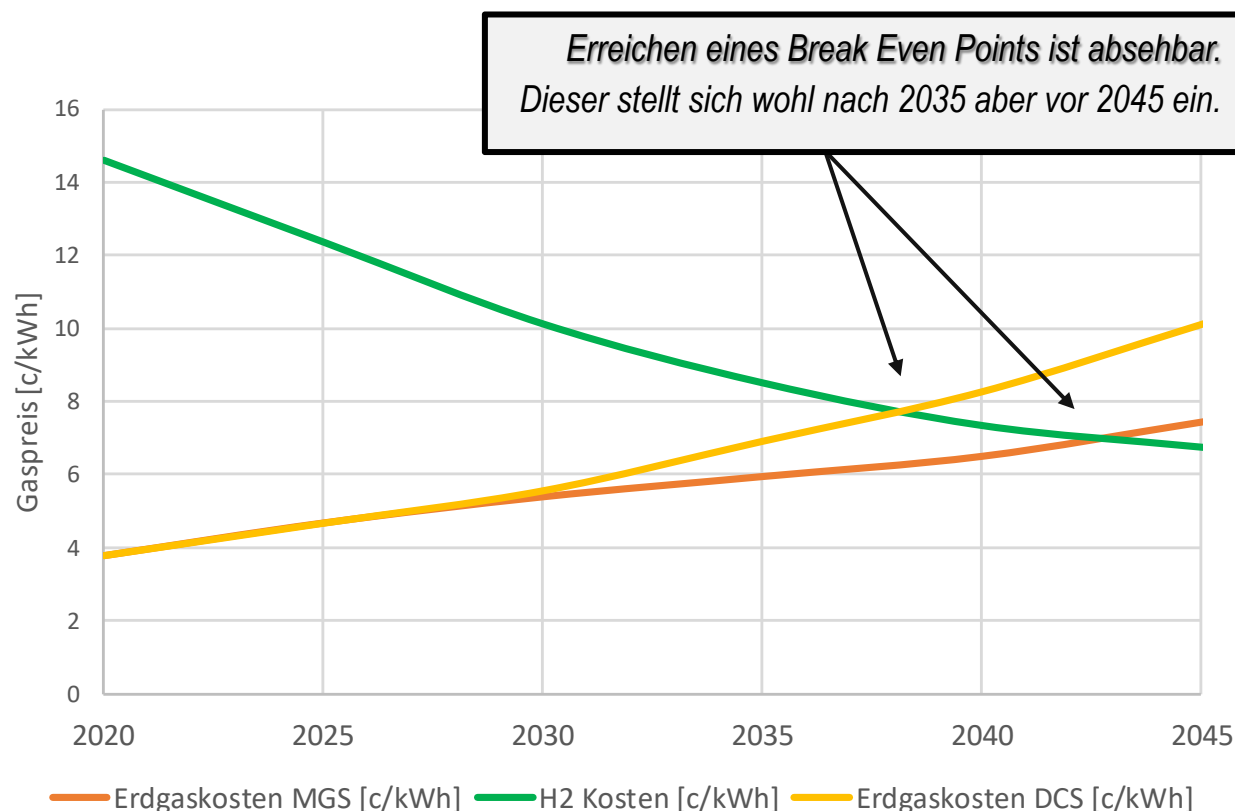
Kosten- und Durchdringungsratenentwicklung für erneuerbaren Strom und Wasserstoff

Erdgas wird teuer bleiben

- Unsicherheit aufgrund des Ukrainekriegs
- **Aber**, auch bei geringen Energiepreisen, klare Trajektorien aus dem EU-ETS (Phase III, FitFor55)

Cost-Down Potential grünen Wasserstoffs

- Elektrolyseure eignen sich zur Massenproduktion – Potential für große technologische Lernraten.
- PV- und Windstromkosten sind weiterhin am Sinken
- **Aber**, Umwandlungsverluste sowie Transport sind aus Kostensicht zu berücksichtigen



Hypothese III: Strom wird man nicht importieren sondern Wasserstoff und/oder seine Derivate. Diese werden teuer sein. Je weniger importiert werden muss, desto besser

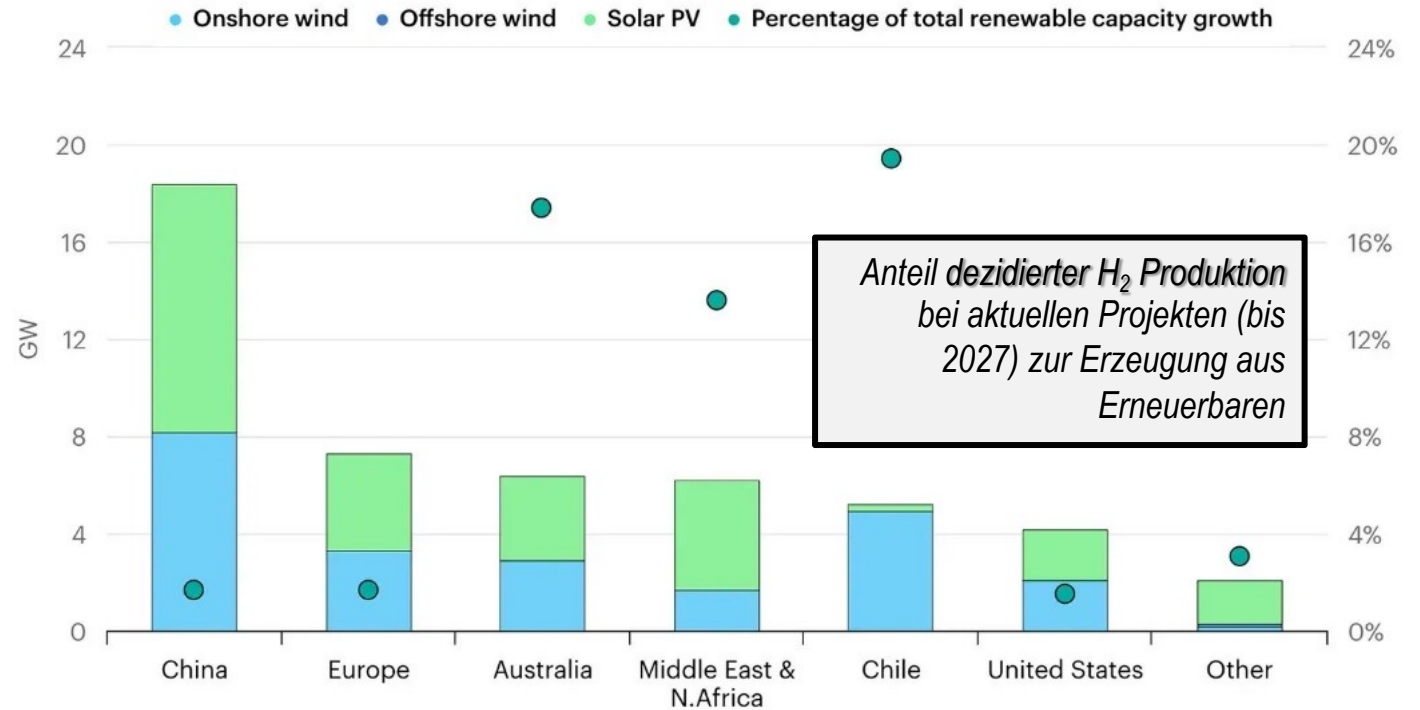
Kosten- und Durchdringungsratenentwicklung für erneuerbaren Strom und Wasserstoff

Erdgas wird teuer bleiben

- Unsicherheit aufgrund des Ukrainekriegs
- **Aber**, auch bei geringen Energiepreisen, klare Trajektorien aus dem EU-ETS (Phase III, FitFor55)

Cost-Down Potential grünen Wasserstoffs

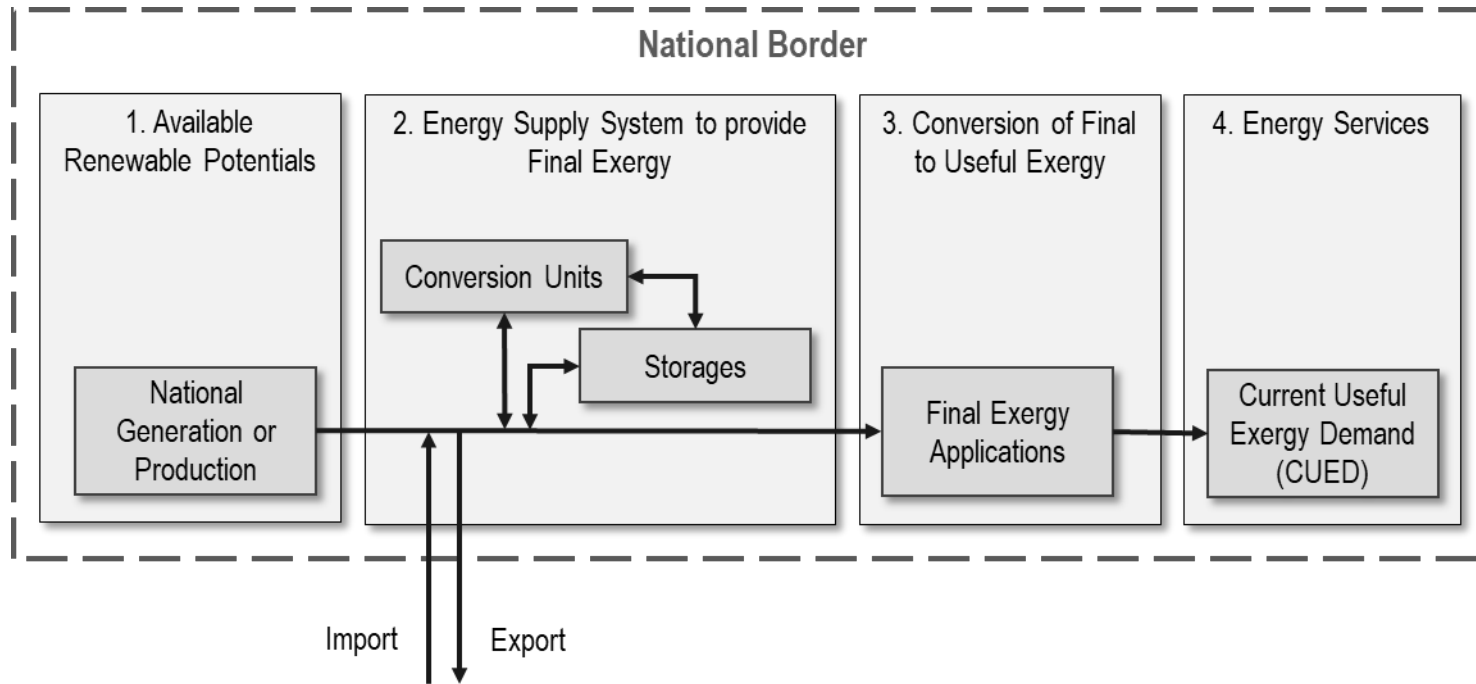
- Elektrolyseure eignen sich zur Massenproduktion – Potential für große technologische Lernraten.
- PV- und Windstromkosten sind weiterhin am Sinken
- **Aber**, Umwandlungsverluste sowie Transport sind aus Kostensicht zu berücksichtigen



Hypothese III: Strom wird man nicht importieren sondern Wasserstoff und/oder seine Derivate. Diese werden teuer sein. Je weniger importiert werden muss, desto besser

energie- bzw. exergieoptimales Energiesystem für Europa

Bilanzzone und Systemgrenzen



- **Constraints:** RES Ausbau nach dem EU-Referenzszenario sowie Exergiebedarf der Services sind vorgegeben. Dieser entspricht dem Heutigen.
- **Optimierungsvariablen:** Kapazität und Betrieb von Conversion Units, Storages, Endanwendungstechnologien sowie Import/Export
- **Zielfunktion:** Maximierung der Exergieeffizienz = Minimierung der Exergiezerstörung.

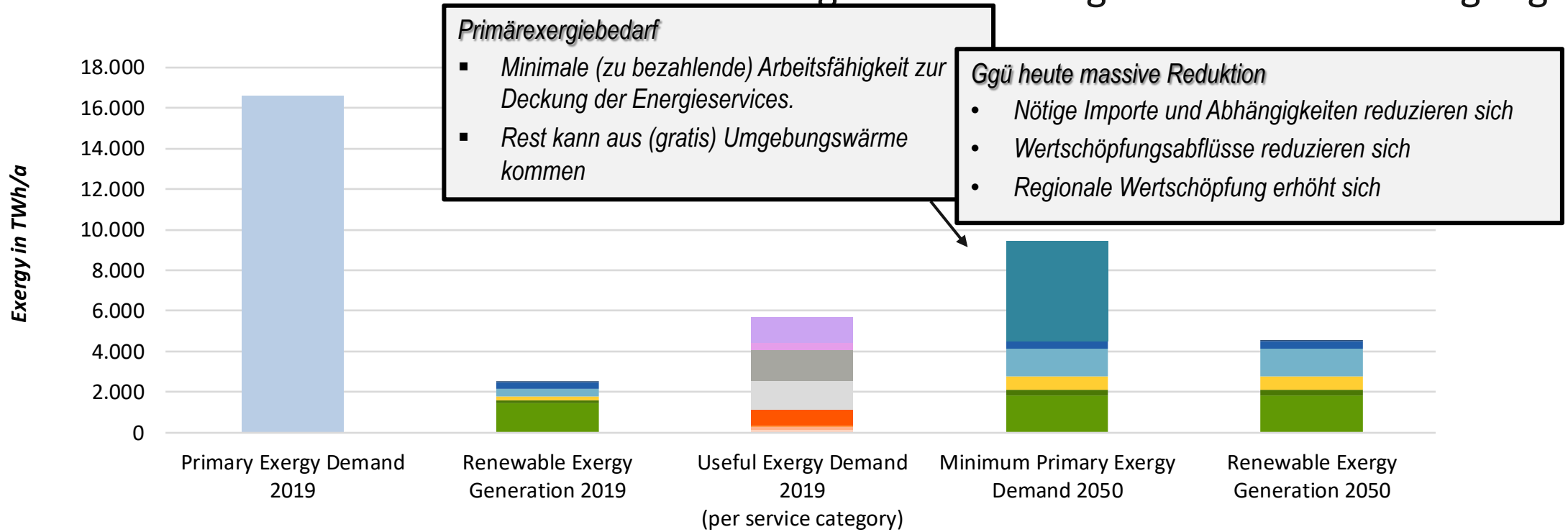
$$\begin{aligned} \min EX_{LossDest,tot} &= EX_{Sup,tot} - EX_{CUED,tot} = \\ &= \sum_i EX_{NatGP,i} + \left(\sum_j EX_{Imp,j} - \sum_k EX_{Exp,k} \right) - EX_{CUED,tot} \end{aligned}$$

Vereinfachung durch Constraints →

$$\min f = \sum_j EX_{Imp,j} - \sum_k EX_{Exp,k}$$

energie- bzw. exergieoptimales Energiesystem für Europa

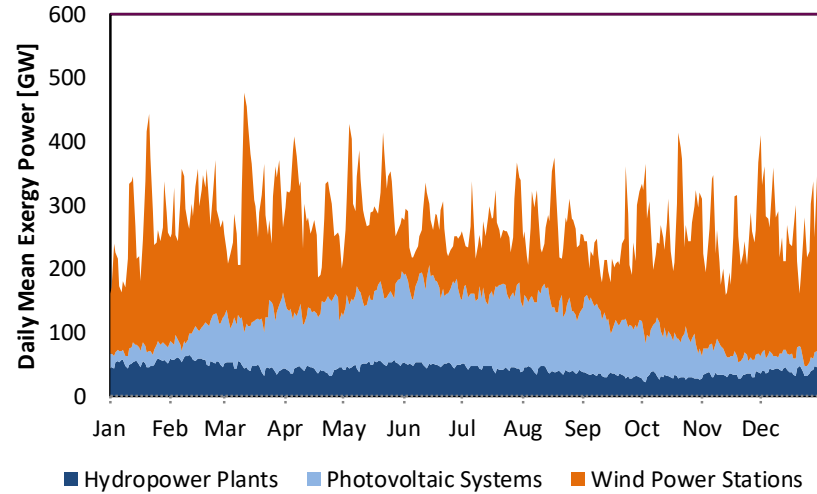
Gegenüberstellung Bedarf und Aufbringung



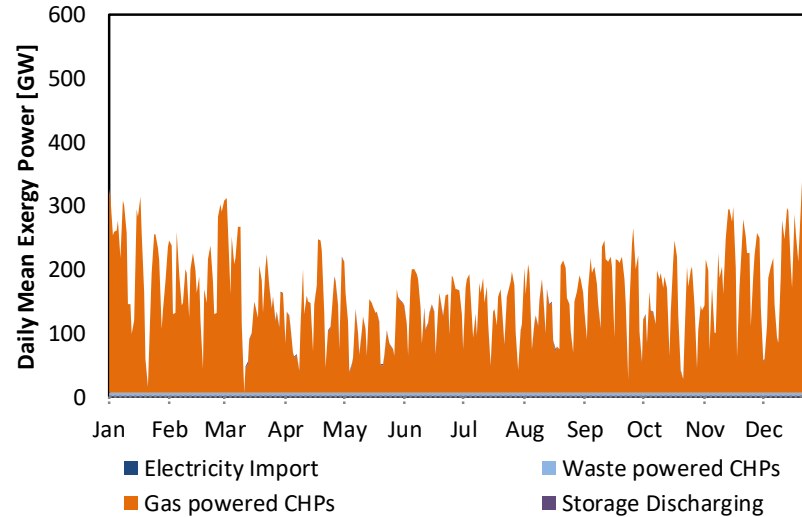
- Primary Exergy
- Biomass
- Waste
- Photovoltaics
- Wind Power
- Hydro Power
- Geothermal
- Electricity import
- Renewable gas import

- Space heating
- Process heat/warm water at 80°C
- Process heat at 150°C
- Process heat at 350°C
- Process heat at 1000°C
- Traction
- Stationary engines
- Lighting/ICT
- Chemical industry and primary steelmaking

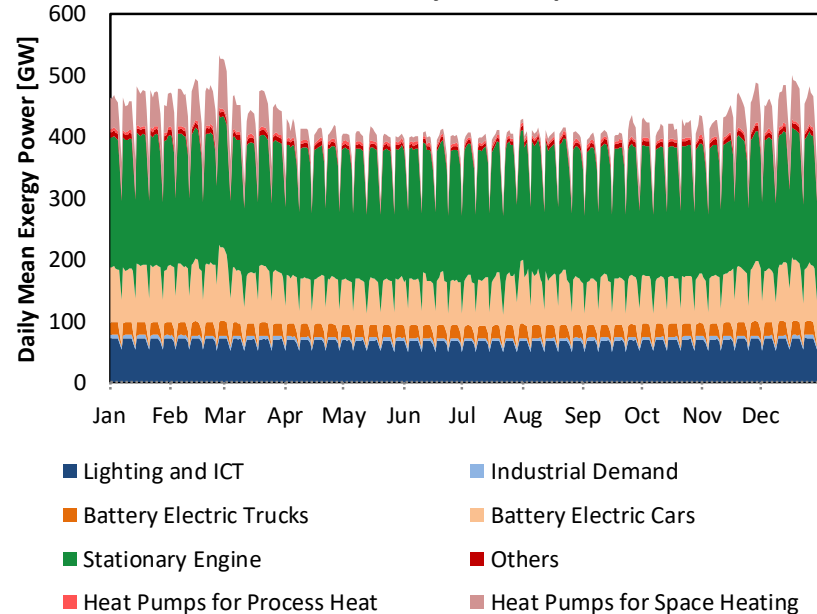
A: Fluctuating Renewable Generation



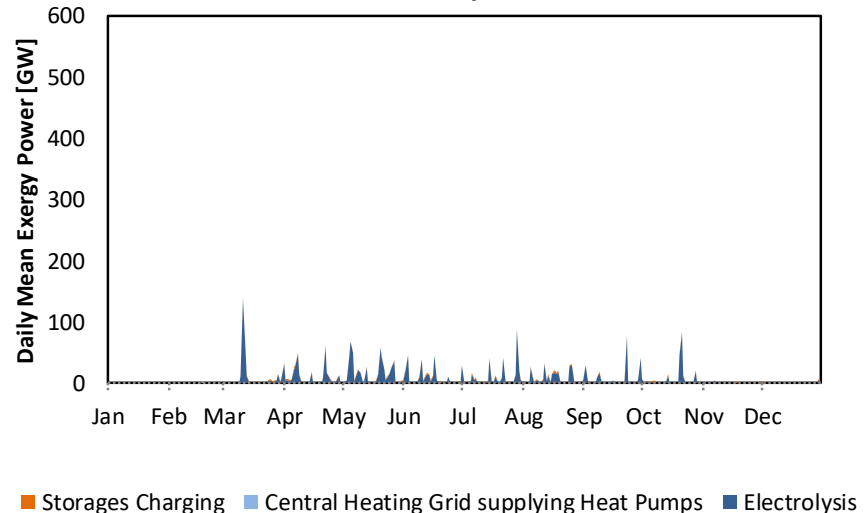
B: Controllable Generation



C: Final Electricity Consumption



D: Other Electricity Utilization

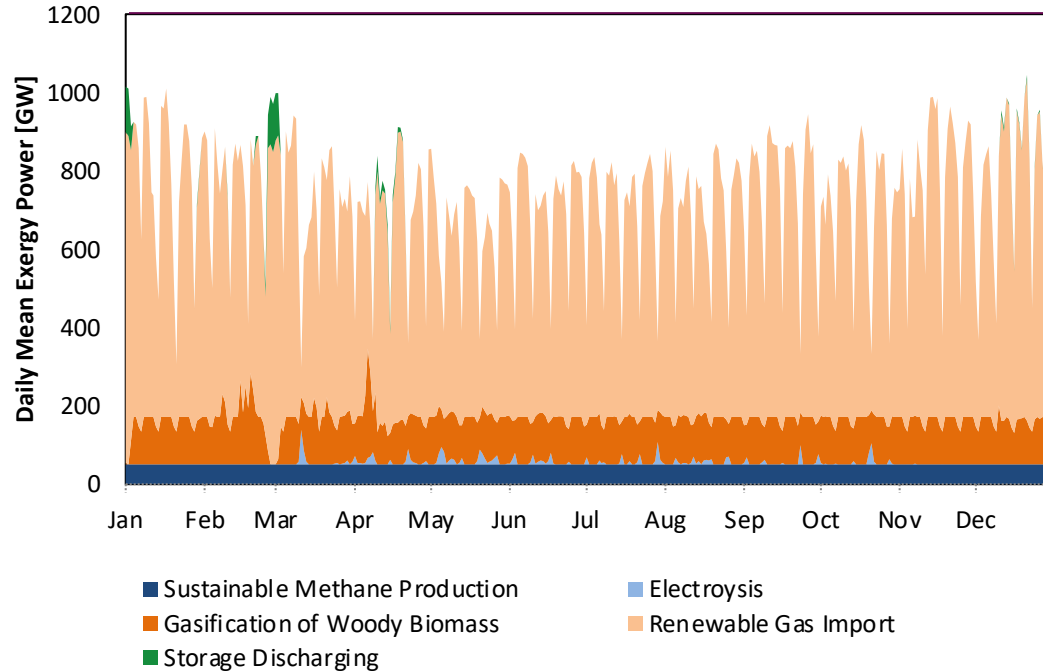


Elektrizität 2050

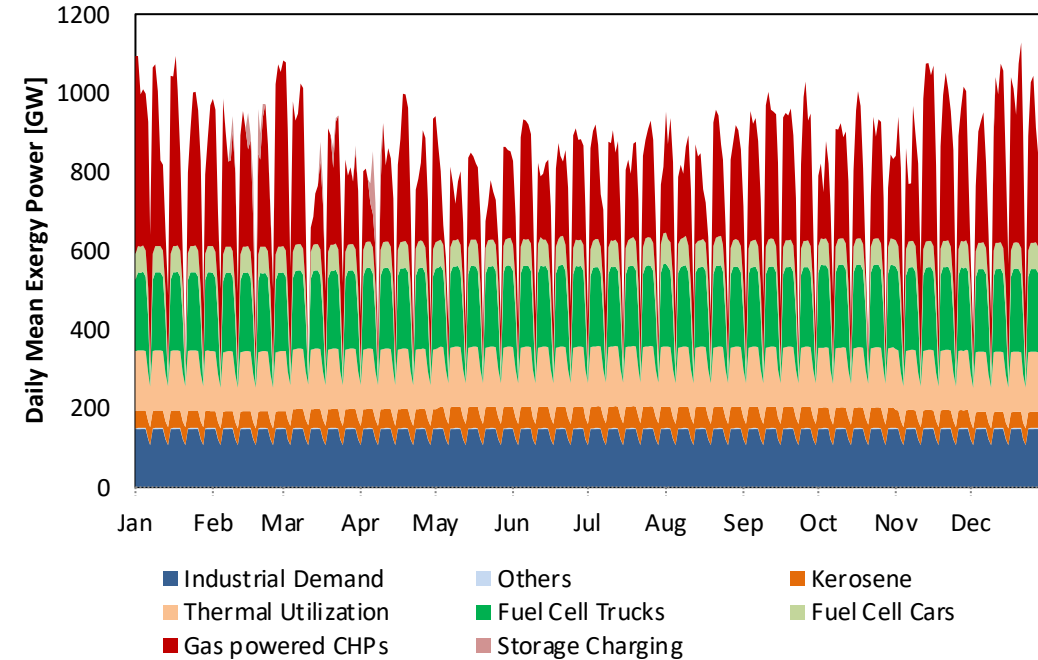
- Kaum saisonale Komponenten der Stromaufbringung – Wind und PV gleich sich europaweit aus
- Unterdeckungen durch GuD-Kraftwerke gedeckt, deren Abwärme Raumwärme und –kältebedarf der urbanen Räume deckt.
- Negative Residuallast (Überdeckungen) sehr gering – geringe Elektrolysekapazitäten (mit recht hohen Volllaststunden)
- Bedarf weist nur geringe saisonale Komponente auf – Wärmepumpen im nicht-urbanen Raum
- Weitgehende Elektrifizierung des PKW-Verkehrs.

Gasbedarf 2050

A: Gas Supply



B: Gas Utilization



- Gas ausschließlich für hochexergetische Bedarfe. Feedstocks in der Stahl- und Chemieindustrie benötigt Wasserstoff. Für Hochtemperaturwärme z.T. auch Holzgas (Holzvergasung anstatt Verbrennung zur Niedertemperaturwärmebereitstellung).
- Teil des Schwerverkehrs
- Kaum saisonale Gasbedarfe der KWK (ggf. etwas mehr im Winter)
- Gasbedarfe höher wie Strombedarfe – Importbedarf hängt vom Erneuerbaren Ausbau ab. Endenergiebedarfe ändern sich kaum.

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Exergieoptimiertes System hat keinen Anspruch auf Umsetzung, hilft aber no-regret Maßnahmen zur Gestaltung der zukünftigen Energiesysteme abzuleiten

- „All Electric“ Denken macht keinen Sinn - Gasbedarf besteht auch zukünftig (Feedstock, Hochtemperaturanwendungen, long-haul transport, thermische Stromaufbringung).
- Je weniger effizient wir Energie einsetzen, desto höher wird der (teure) Gasbedarf sein: „technologieoffenes“ Status-Quo Denken macht auch keinen Sinn.
- Umso stärker Erneuerbare ausgebaut werden, desto geringer der Gasbedarf der Stromaufbringung und umso höher die europäische Elektrolysekapazität
- Hypothese: Ohne klimaneutrale Gas- bzw. H₂-Derivatimporte ist die Energiewende nicht möglich!

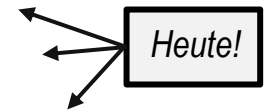
*Elektrifizierung und Effiziente Technologien gehen oft Hand in Hand
Wärmepumpen, BEVs*

Thermische Stromaufbringung und Elektrolysen benötigen bei gesamteuropäischer Betrachtung keine Saisonspeicher und erlauben hohe Vollaststunden

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen:

- Ausbau der europäischen Erneuerbaren so schnell und umfassend wie möglich!
- Unterstützung von effizienten Technologien (Wärmepumpen für Gebäude und Industrie, BEV) so schnell und umfassend wie möglich!
- Verstärkter Ausbau der elektrischen Übertragungsnetze um Wind-Solarausgleich zu ermöglichen. Ausbau der Fernwärmenetze um Abwärme nutzen zu können.
- Forschung zur Wasserstoffherzeugung aus Erneuerbaren verstärken
- Robuste Import-Routen für erneuerbare Gase (Wasserstoff + Derivate) sind zu entwickeln.



*mehr Volllaststunden der Anlagen im Sektor Energie
Enabler für Investments*

Bei PV und Batterien hat Europa die Technologieführerschaft verloren, hier noch nicht

Ausgezeichnete Möglichkeiten für die heutige fossile Industrie, aber auch große industriepolitische Herausforderung

Danke für Ihre Aufmerksamkeit