

Big Picture Energiewende

CC4E Ringvorlesung Wintersemester 2024/25

Prof. Dr.-Ing. Hans Schäfers, HAW Hamburg

Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz an der HAW Hamburg



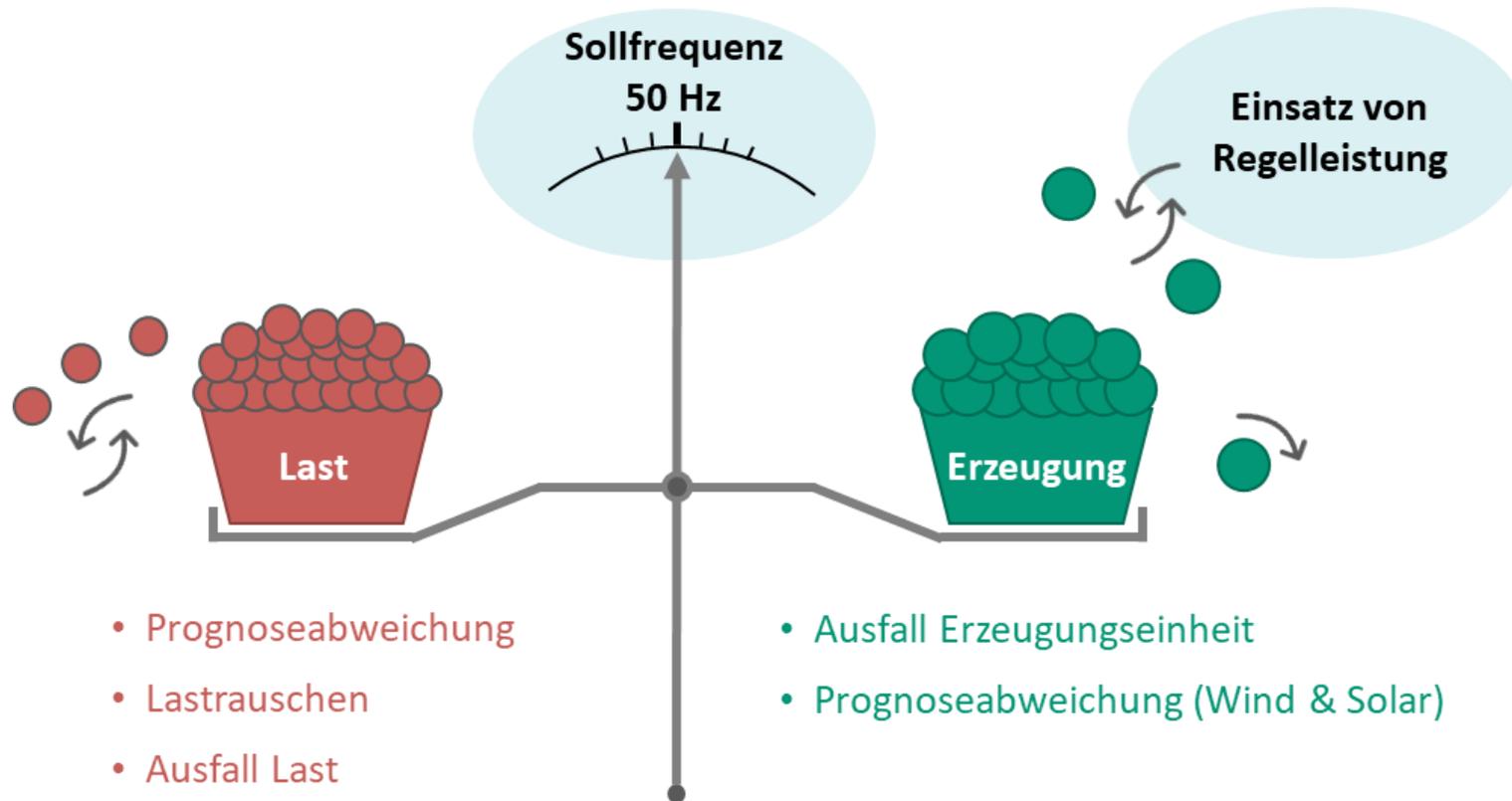
www.cc4e.de

Inhalt

- 1) Das Problem
- 2) Die (bisher einzige) Lösung
- 3) Ein (sehr ambitionierter) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045
- 4) Können wir uns das leisten?

Das Problem

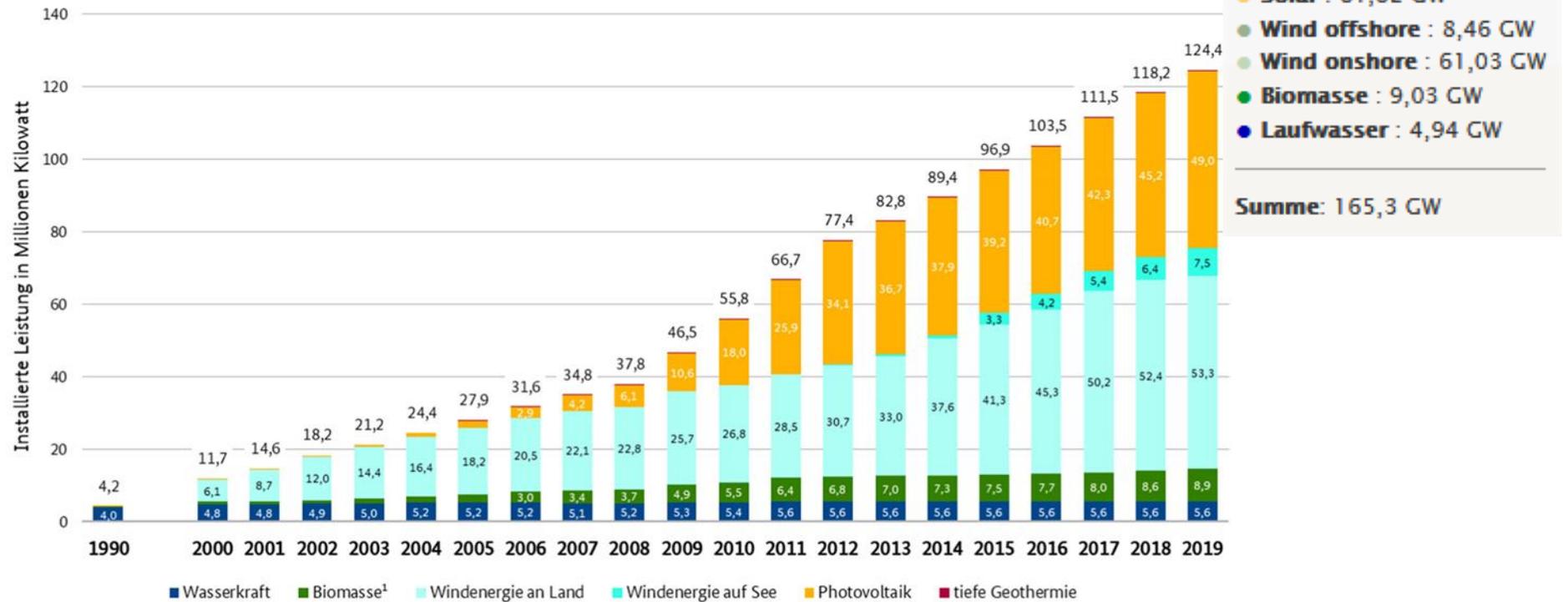
Strom ist keine speicherbare Energieform, sondern „Energie auf der Durchreise“



Das Problem

Lösung des Klimawandels nur möglich durch Umbau des Energiesystems auf EE-Stromerzeugung

Entwicklung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland



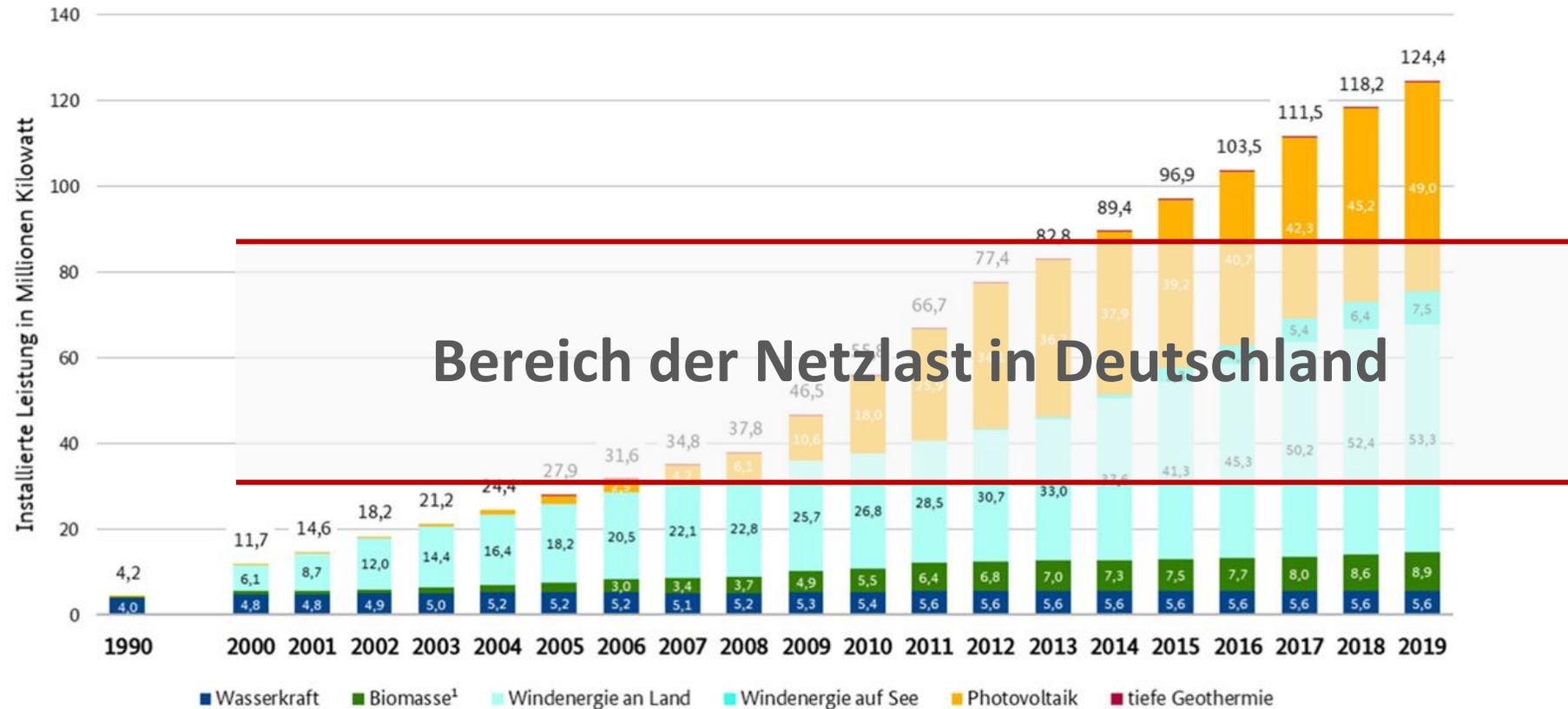
¹ inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas, ohne biogenen Anteil des Abfalls

BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2020

Das Problem

Paradigmenwechsel vom Lastfolge- zum Erzeugungsfolgebetrieb im Stromsystem

Entwicklung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland



2023

- Solar : 81,82 GW
- Wind offshore : 8,46 GW
- Wind onshore : 61,03 GW
- Biomasse : 9,03 GW
- Laufwasser : 4,94 GW

Summe: 165,3 GW

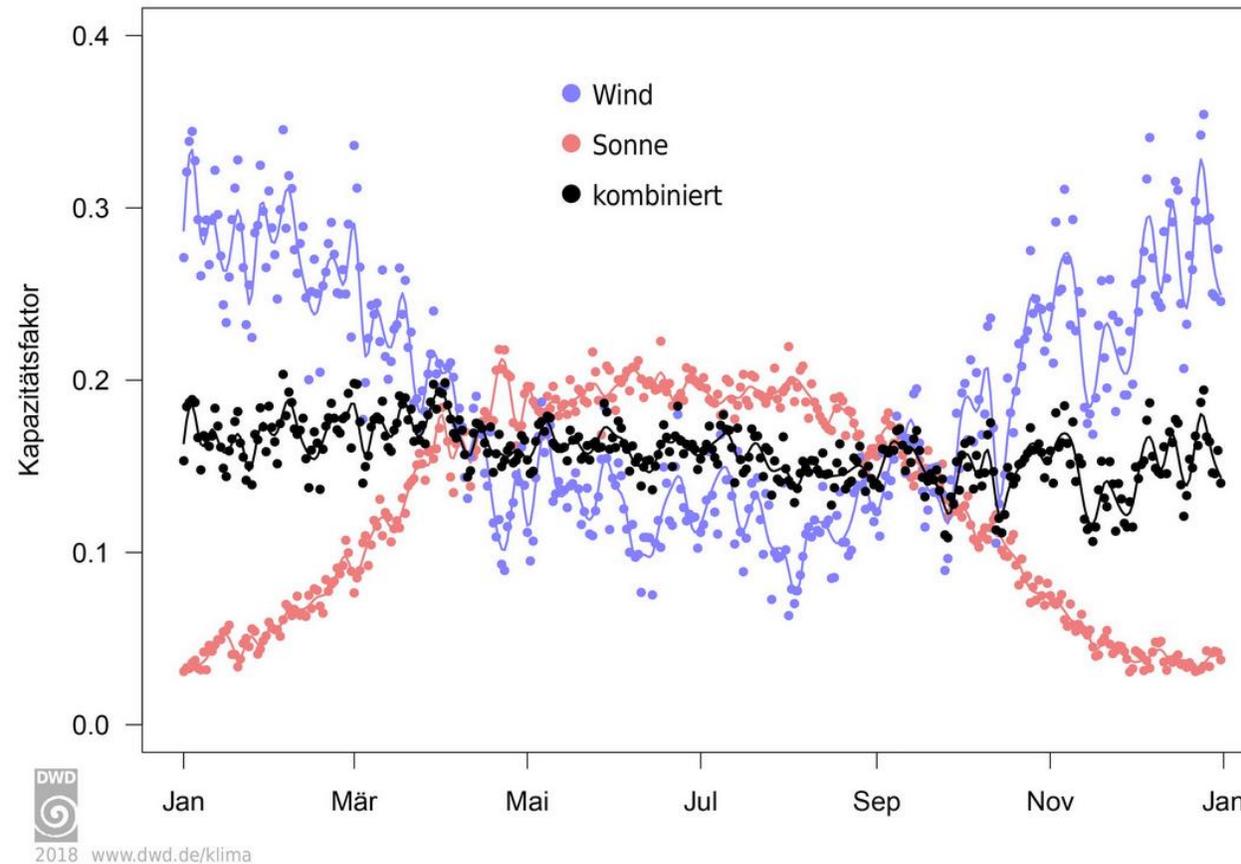
Bereich der Netzlast in Deutschland

¹ inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas, ohne biogenen Anteil des Abfalls

BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2020

Gleichzeitigkeit der Einspeisung liegt im Jahresmittel bei knapp 0,2 in D

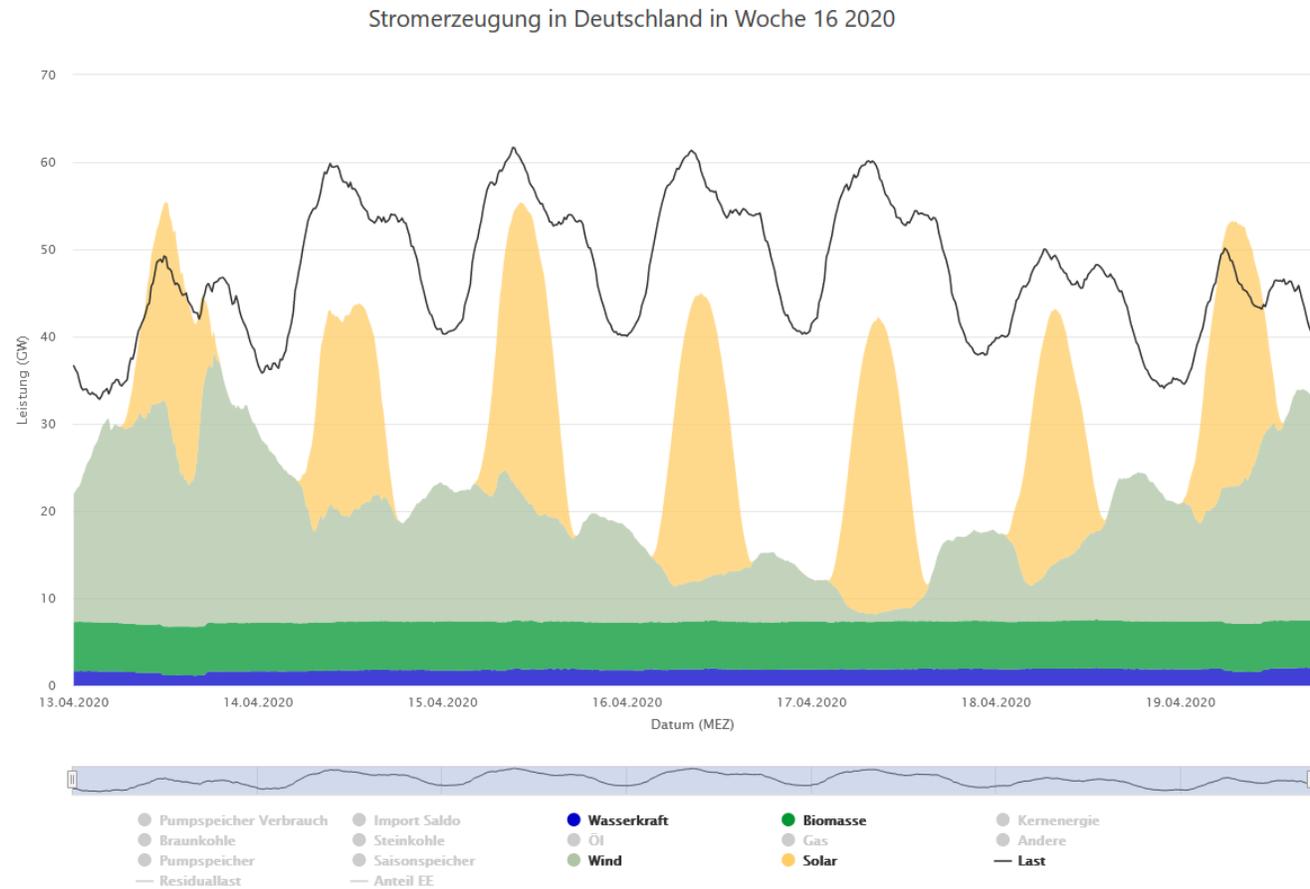
Der mittlere Jahrgang des Kapazitätsfaktors über Deutschland (Mittelwert 1995 bis 2015)



Das Problem

Stromerzeugung aus EE in D in der Woche 16 2020: Zum ersten Mal negative Residuallast

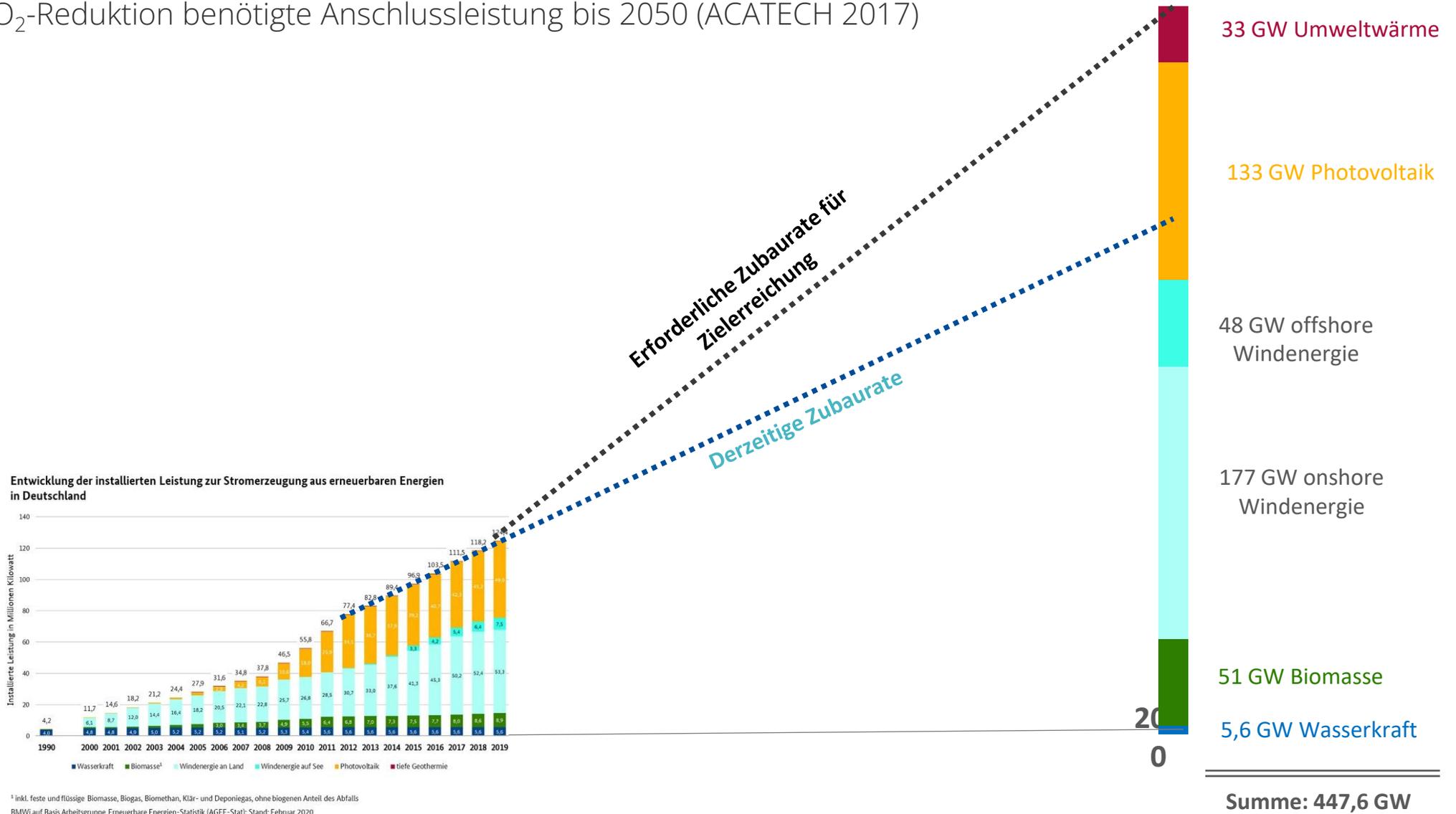
Residuallast = Strombedarf minus ungesteuerte EE-Stromproduktion



Energy-Charts.info - letztes Update: 16.09.2020, 18:53 MESZ

Das Problem

Für 95% CO₂-Reduktion benötigte Anschlussleistung bis 2050 (ACATECH 2017)

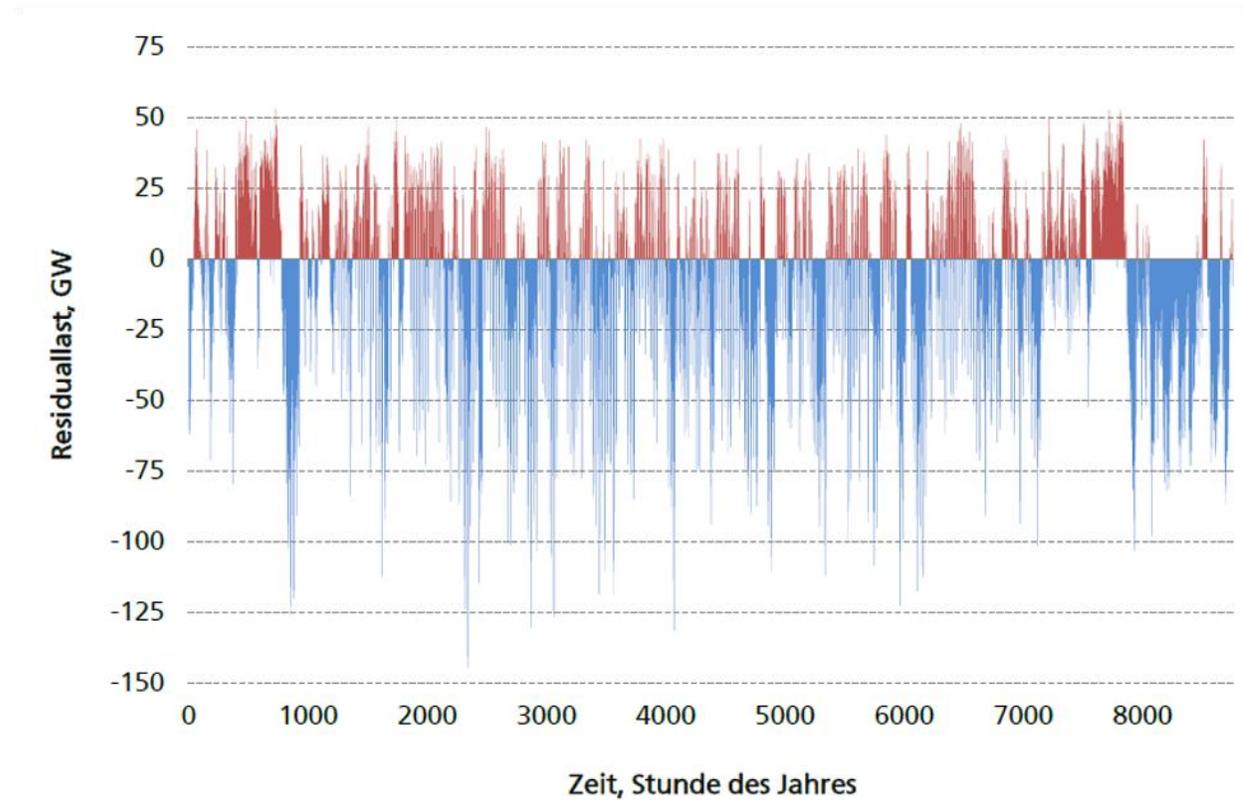


¹ inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas, ohne biogenen Anteil des Abfalls
 BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2020

Das Problem

Residuale Last bei 85% CO₂ Reduktion

Residuallast = Strombedarf minus ungesteuerte EE Stromproduktion



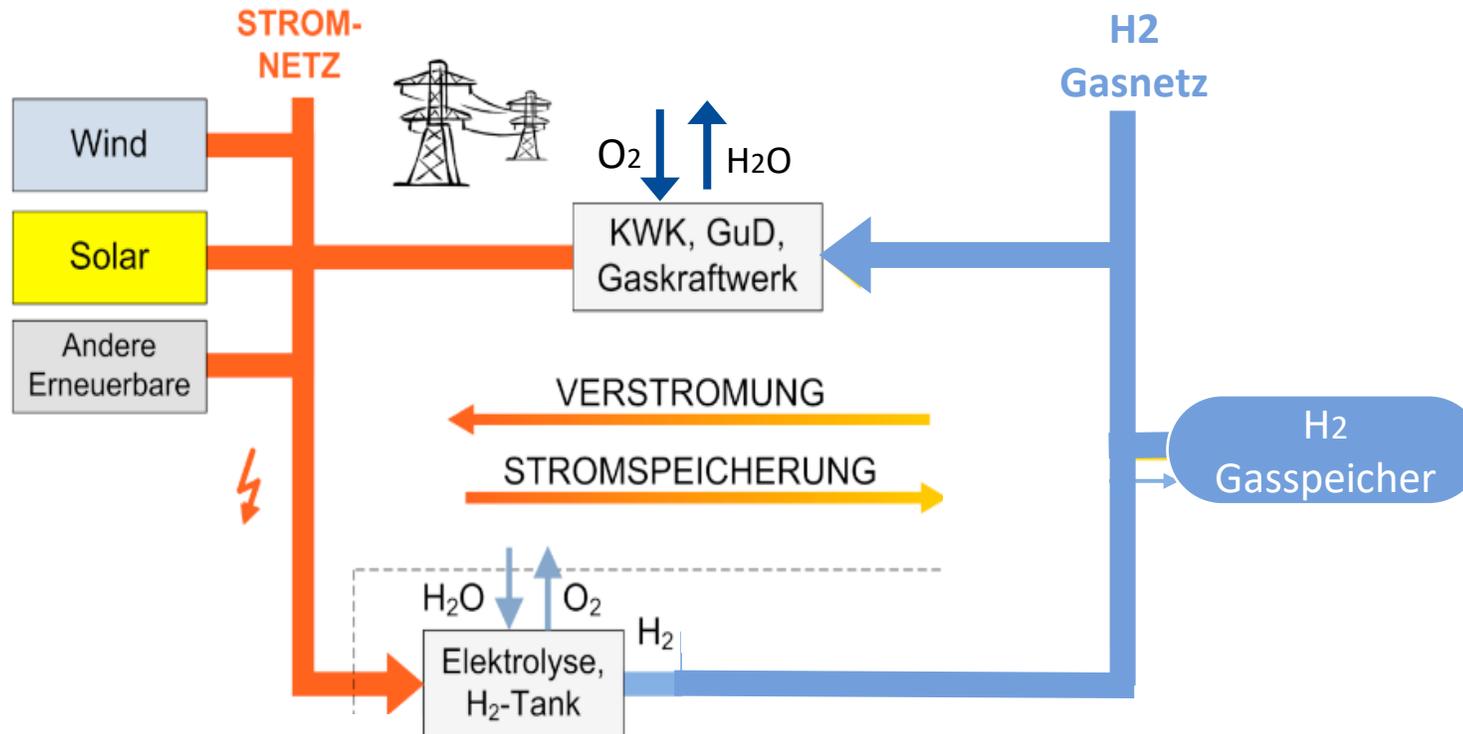
	Min.	Max.
	GW	GW
Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	2,7	201,5
Last	22,6	60,8
Residuallast	-144,8	52,9

Inhalt

- 1) Das Problem
- 2) Die (bisher einzige) Lösung**
- 3) Ein (sehr ambitionierter) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045
- 4) Können wir uns das leisten?

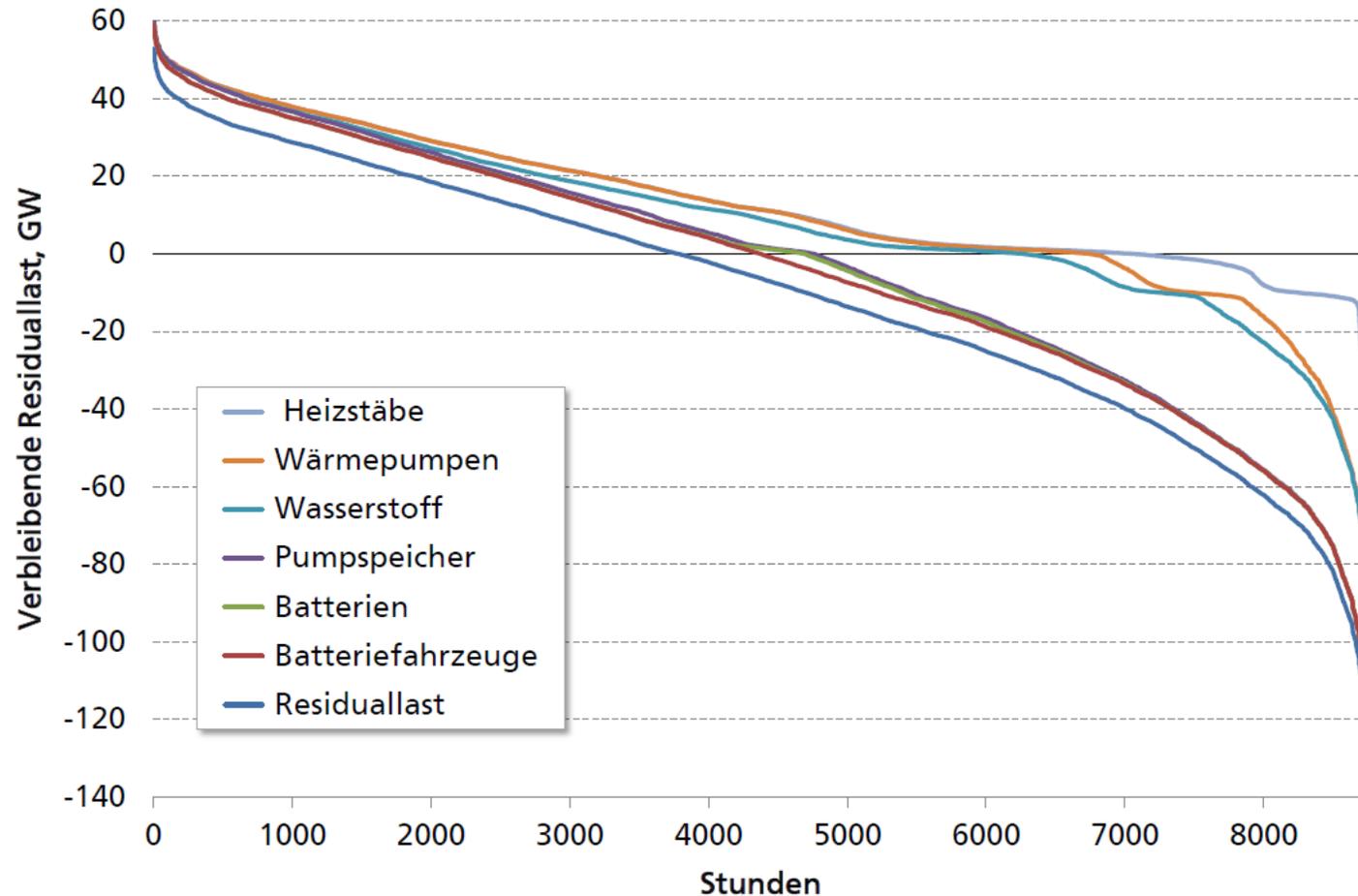
Die Lösung

Power to Gas als Langzeitspeicher für 100% EE



½ Das Problem ist auch die Lösung ...

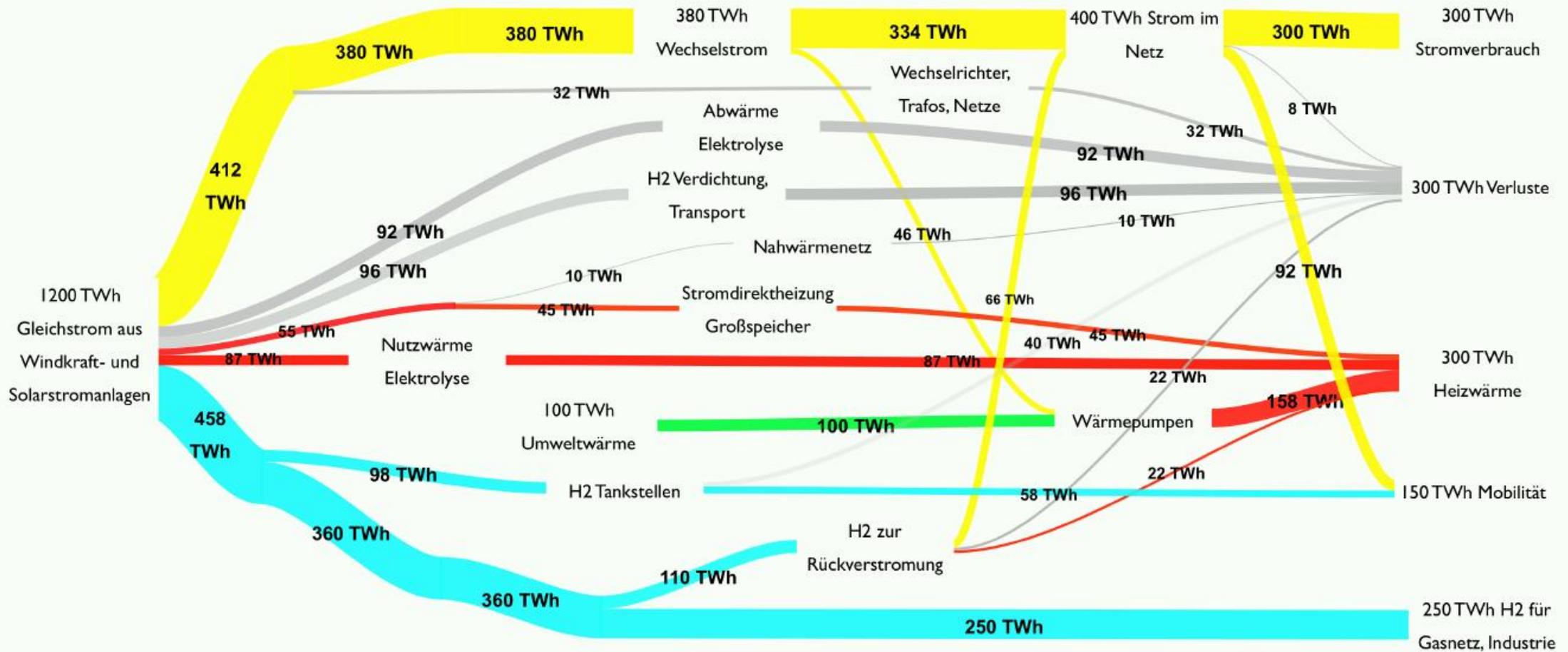
Nutzung der negativen Residuallast in den Sektoren Verkehr, Industrie und Wärme



Ausgleich der residualen Lasten ist NUR möglich durch stärkere Kopplung des Stromsektors an die anderen Energiesektoren.

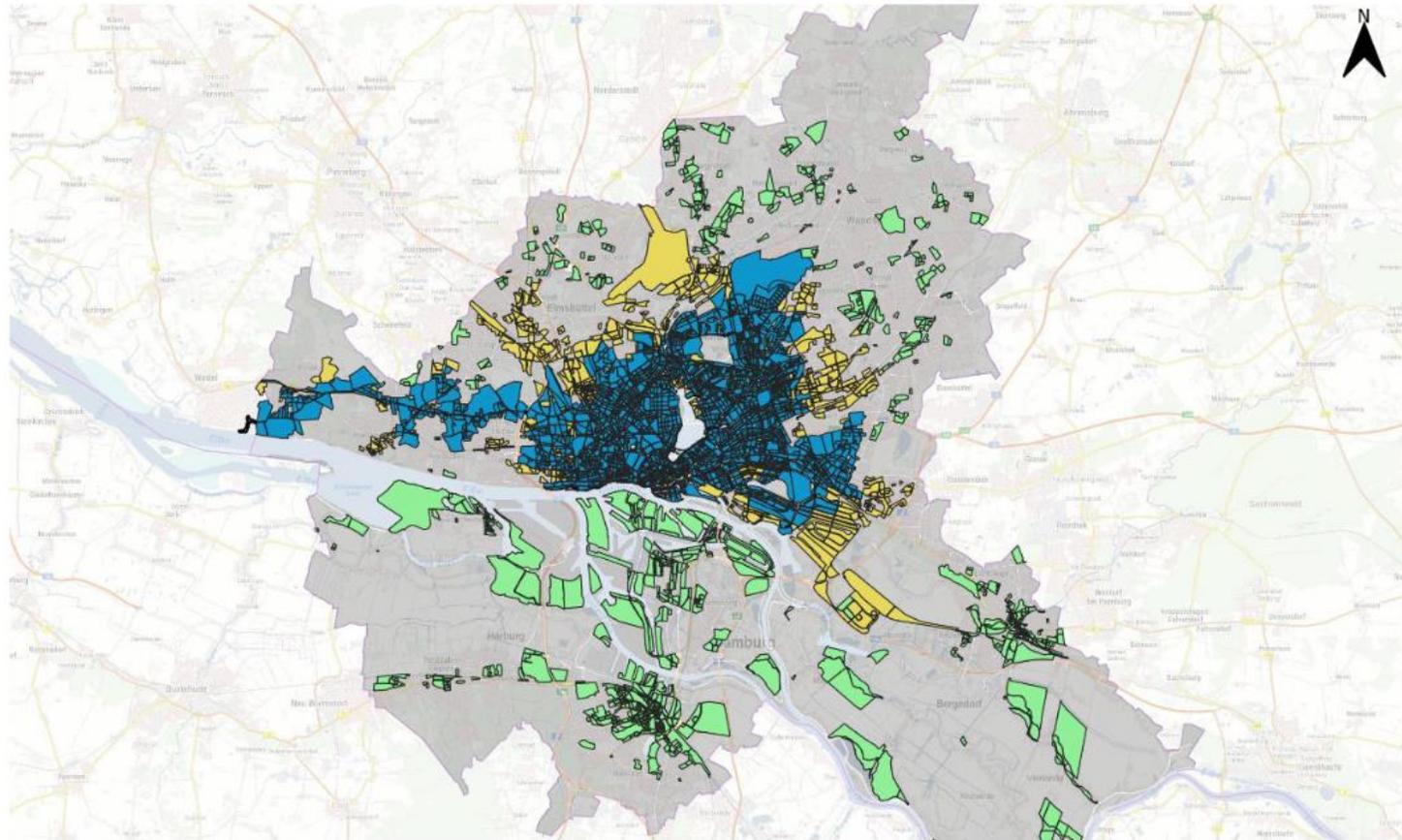
Wichtiges Bindeglied dabei ist der GASSEKTOR in dem der aus Elektrolyse (Basis EE Strom) gewonnene Wasserstoff aufgenommen und zwischengespeichert werden kann.

Die Lösung



Kommunale Wärmeplanung zur Vorstrukturierung

Wärmenetze oder individuelle Wärmeversorgung (=Wärmepumpen i.d.R.)



Quartiersanalyse HH - Baublockebene - Kriterium WLD >2 MWh/m*a

- Ausbau Fernwärme
- Quartierslösung
- Dezentral
- Bestand Fernwärme

Quelle Hintergrundbild: ©GeoBasis-DE / BKG 2022

Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

- In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045



CO₂-freie Wasserstoffherzeugung und -nutzung in Deutschland



- Wasserstoffnachfrage 265 TWh in 2045, 40 TWh mehr als im selben Jahr der Vorgängerstudie
- 36% des Wasserstoffbedarfs werden importiert
- Kein Wasserstoff in der dezentralen Gebäudewärme
- Alle Bedarfe an PtL-Kraftstoffen werden importiert, insgesamt 158 TWh
- PtL Nutzung im int. Flugverkehr (103 TWh) und Industrie (35 TWh)
- Gesamtmenge an Wasserstoff und PtL ist 422 TWh in 2045

Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

- In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 1: -65% THG bis 2030

65 Prozent Minderung bis 2030 (Treibhausgas-Emissionen in Mio. t CO₂-Äq.)



Klimaneutrales Deutschland 2045

Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann

ZUSAMMENFASSUNG



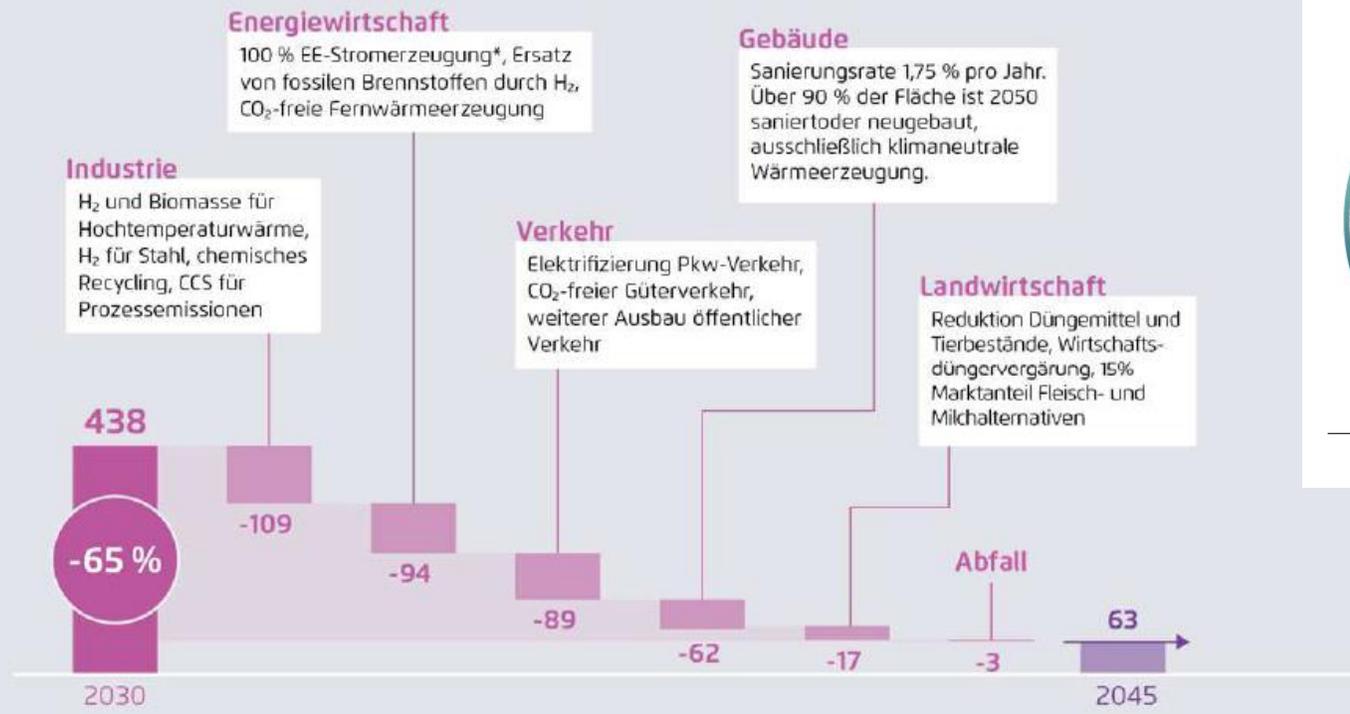
Quelle: Prognos 2021

Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

- In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045

95 Prozent Minderung bis 2045 (Treibhausgas-Emissionen in Mio. t CO₂-Äq.)



* inkl. Stromerzeugung aus erneuerbar erzeugtem Wasserstoff, zwischengespeichertem und importiertem erneuerbarem Strom.



Klimaneutrales Deutschland 2045
Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann
ZUSAMMENFASSUNG



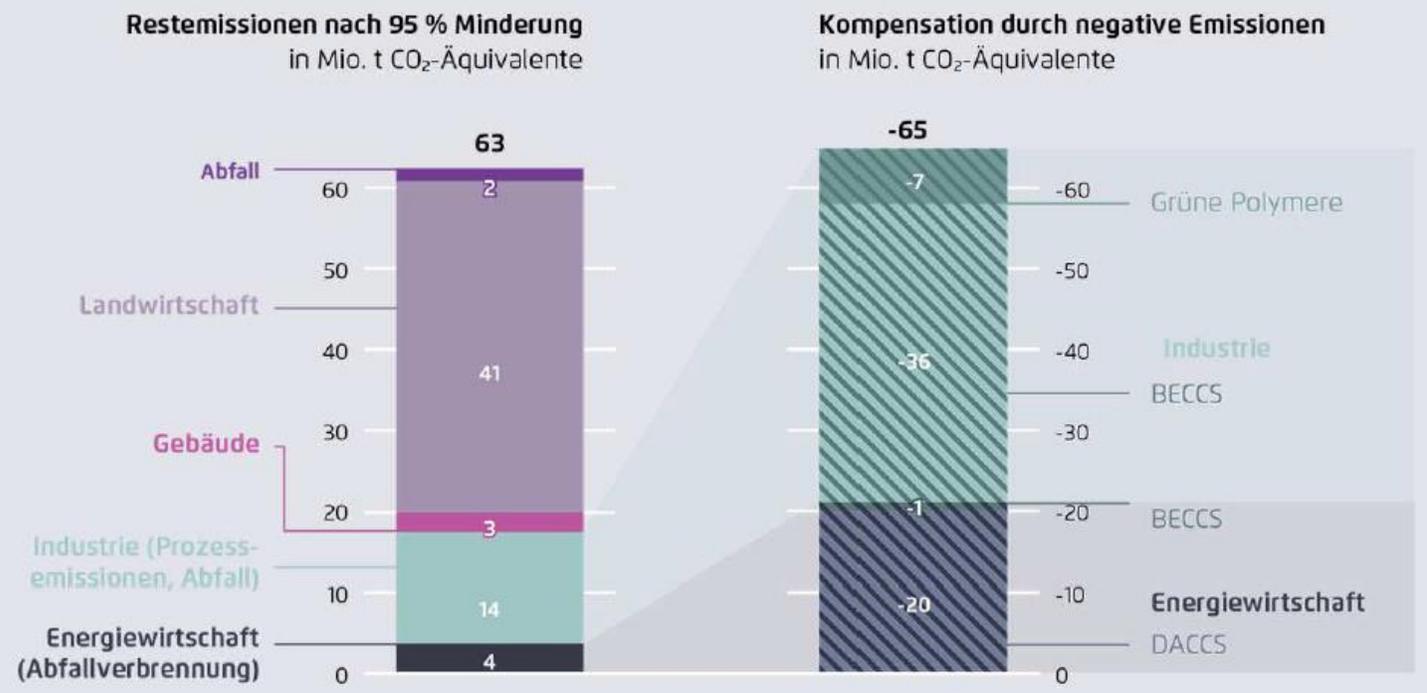
2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

- In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045



Schritt 3 im Detail – residuale THG-Emissionen & deren Kompensation in 2045



- *Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS)*: Abscheidung und geologische Lagerung von CO₂ aus Biomasseverbrennung
- BECCS-Einsatz konzentriert in Hochtemperaturwärme für Industrie via fester Biomasse
- *Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS)*: direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft mit anschließender Einlagerung
- Grüne Polymere binden jährlich 7 Mio. t CO₂-Äq.
- Netto-Emissionsniveau von minus 30 Millionen Tonnen CO₂-Äq. 2050

Inhalt

- 1) Das Problem
- 2) Die (bisher einzige) Lösung
- 3) Ein (sehr ambitionierter) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045
- 4) **Können wir uns das leisten?**

Und was wird das kosten.... ?

Die (zusätzlichen) Kosten des Umbaus des Energiesystems

- Fraunhofer ISE schätzte 2015 die benötigten Investitions- und Kapitalkosten eines vollständig regenerativen Energiesystems auf etwa 3 -3,5 Bill. € (kumulativ)
(Fraunhofer ISE 2015, S. 39 ff)
- McKinsey Studie von 2021 schätzt doppelt so hohe Kosten: 6 Bill. € (kumulativ)
(McKinsey 2021)
- Gesamtinvestitionen in Höhe von 6 Bill. EUR entsprechen jährlichen Investitionen von rund 240 Mrd. EUR bis 2045
(ca. 7% des Bruttoinlandsproduktes (BIP), McKinsey)
- Die reinen Mehrkosten eines vollständig regenerativen gegenüber einem/dem fossilen Energiesystem liegen
lt. Fraunhofer bei etwa 1,5 bis 2 Bill. €. und
lt. McKinsey bei 1 Bill.€
(Mehrkosten = Gesamtkosten minus „ohnehin-Kosten“ für Ersatz bzw. Instandhaltung bereits bestehender Infrastruktur, Anlagen und Gebäude)
- Bis 2045 (24 Jahre) wären das **zusätzlich notwendige Investitionen in Höhe von 42 bis 83 Mrd.€/a.** (1-2% des BIP)

 *Erkenntnis 1: Die Energiewende wird nicht billig.*

Und können wir uns das leisten ?

Die Kosten des Umbaus des Energiesystems entsprechen denen der Wiedervereinigung

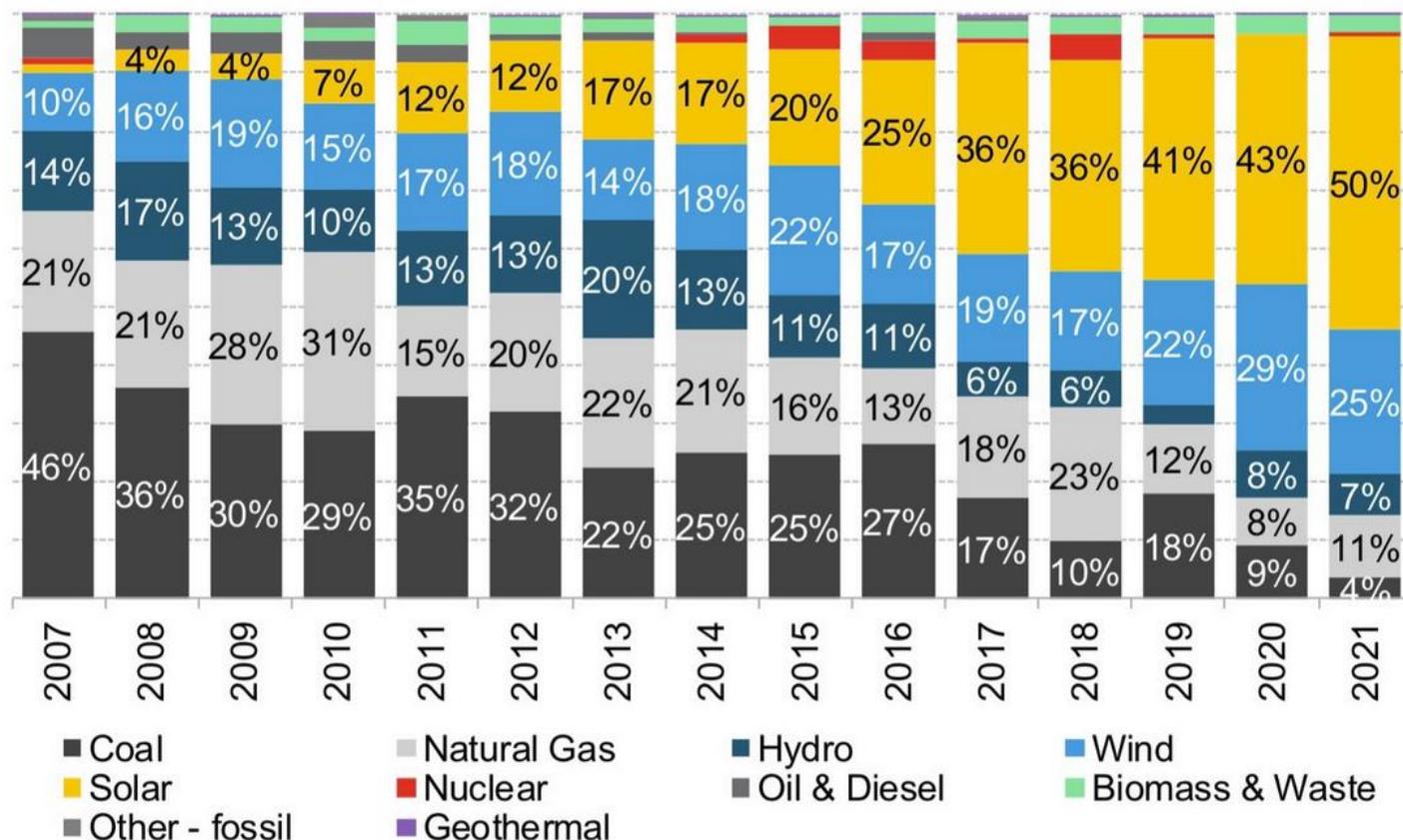
- Zusätzliche Investitionen in Höhe von 42 bis 83 Mrd.€/a entsprechen
 - 1-2% des BIP, oder
 - 7-14% des Bundeshaushalts 2021.
- Zum Vergleich:
Die Kosten der deutschen Wiedervereinigung werden für den Zeitraum 1990 -2014 (ebenfalls 24 Jahre) auf 2 Bill. € geschätzt. (Wikipedia 2021)
- Die jährlichen Ausgaben der Wiedervereinigung liegen aktuell (immer noch) bei etwa 100 Mrd. €/a (ebd.)

 Erkenntnis 2: Die Energiewende wird (voraussichtlich) nicht teurer als die Wiedervereinigung!

Ändert sich denn wirklich was?

Energiewende ist ein GLOBALES Konjunkturprogramm

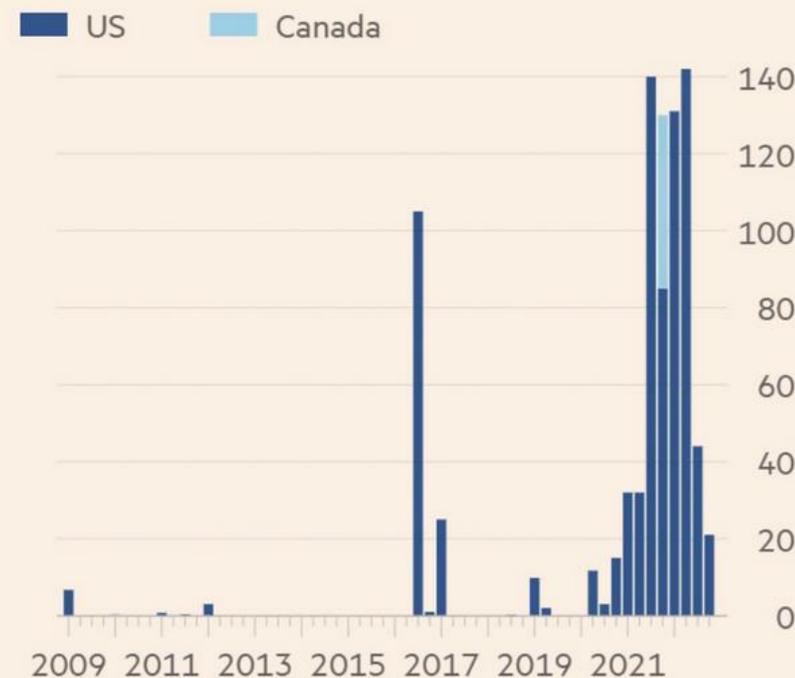
Share of global capacity additions by technology



Source: BloombergNEF. Note: Share of global capacity additions excluding retirements.

The North American battery boom

Battery plant manufacturing announcements, capacity (GWh)



Source: S&P Global Commodity Insights © FT

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Hans Schäfers,
Professor für intelligente Energiesysteme und Energieeffizienz

Stellv. Leiter des Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (CC4E)
Am Schleusengraben 24, 21029 Hamburg
hans.schaefers[at]haw-hamburg.de

