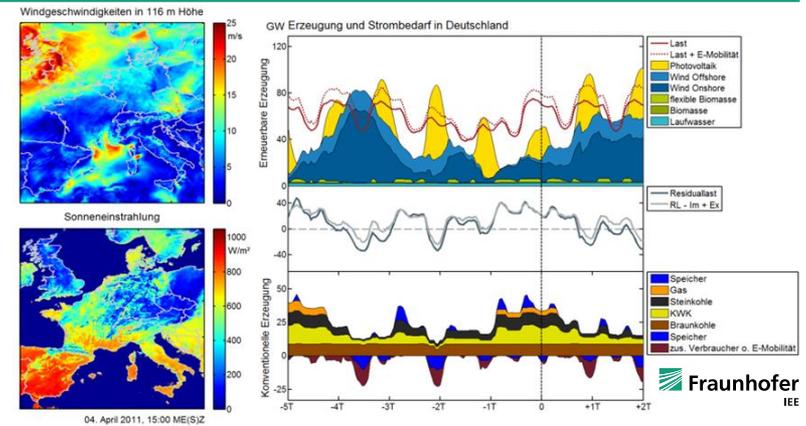


Fraunhofer IEE

Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik

Norman Gerhardt

Wien, 5. Dezember 2018



Energiewende in Deutschland und Europa: Wohin geht die Reise?

Vortrag im Rahmen der E-Control Fachtagung:
Versorgungssicherheit Strom -
ein Thema von internationaler Dimension

Inhalt

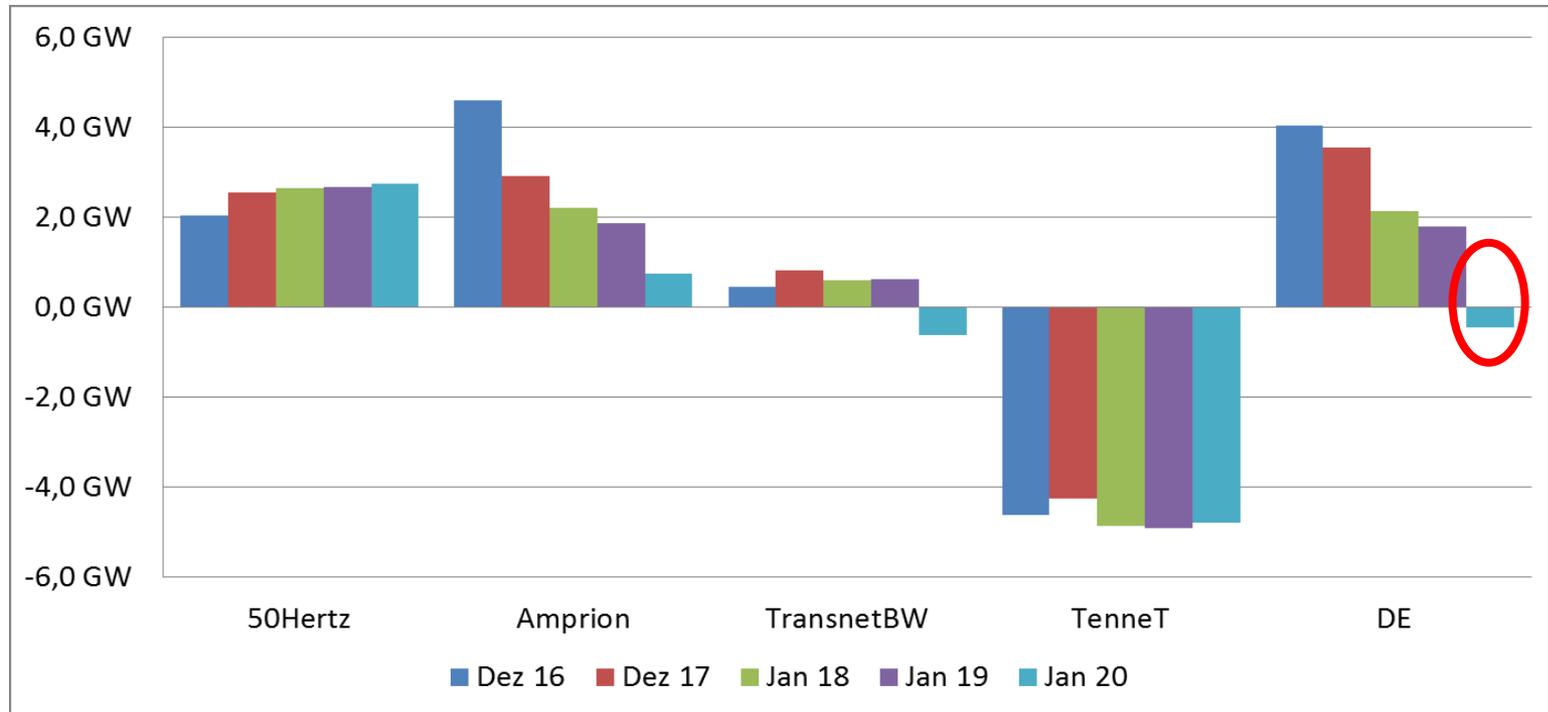
- Status Quo: Starker Rückgang thermischer Kraftwerksleistung in Deutschland
- Diskussion der Sektorziele für 2030 in Deutschland
- Simulationsrechnung Europa Emissionshandel 2030
- Ausblick Europa 2050
- Schlussfolgerungen

Inhalt

- Status Quo: Starker Rückgang thermischer Kraftwerksleistung in Deutschland
- Diskussion der Sektorziele für 2030 in Deutschland
- Simulationsrechnung Europa Emissionshandel 2030
- Ausblick Europa 2050
- Schlussfolgerungen

Leistungsbilanz in Deutschland

- Verbleibende Leistung mit Berücksichtigung von Reservekraftwerken und ohne Berücksichtigung von Kraftwerken im Ausland (*und ohne Wind/PV*)



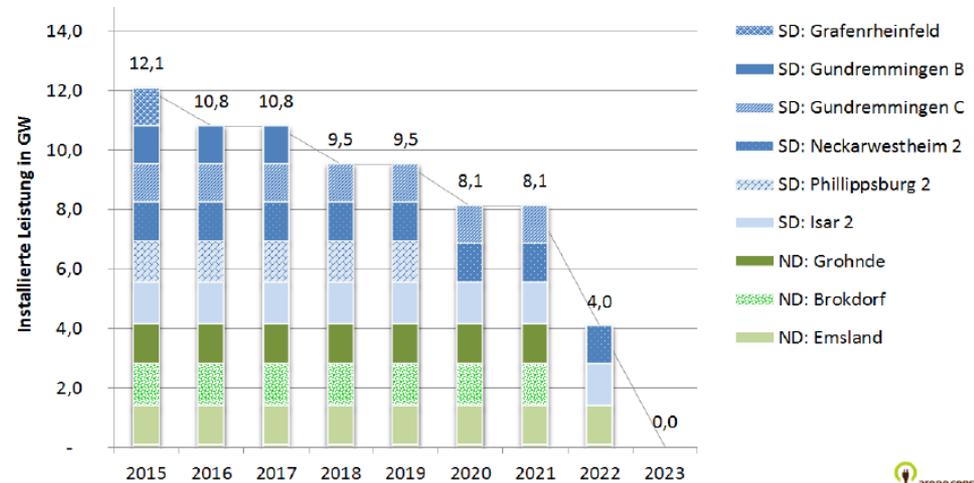
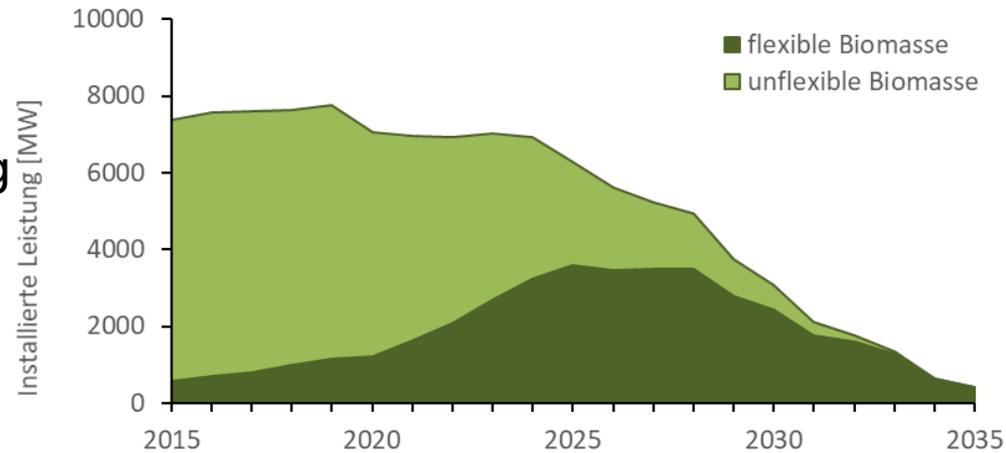
Quelle: ÜNB 2017

- Ab 2020 zum ersten Mal negativ
- ➔ Abhängigkeit vom Ausland wird Realität

Weiterer Rückgang von thermischer Kraftwerksleistung

■ **Ausstieg aus der Biomasseverstromung bis 2035 bei gleichzeitiger Flexibilisierung ist derzeit politisch wahrscheinlich**
 → Verlagerung der Biomasse in andere Sektoren

■ **Ausstieg Kernkraft bis 2022**



ND: Norddeutschland, SD: Süddeutschland
 Quelle: Eigene Darstellung

Quelle: Arepo Consult, 2015



Reserven in Deutschland

- **Sicherheitsbereitschaft (§13g EnWG)**

Derzeit Überführung von acht Braunkohle-Kraftwerksblöcken mit 2,7 GW (Aktivierung innerhalb von 12 Tagen)

- **Netzreserve (§13d EnWG)**

BNetzA: Winter 2017/2018 10,4 GW → Absinken des Bedarfs zum Jahr 2020 auf 6,6 GW.

- ggf. auch Teile der Netzreserve

- **Kapazitätsreserve (§13e EnWG)**

Winterhalbjahr 2018/19 zunächst 2 GW, später Anpassung möglich

- **Netzstabilitätsanlagen (§13k EnWG)**

mindestens 1,2 GW neue Spitzenleistung, wahrscheinlich als offene Gasturbinen an AKW-Standorten in Süddeutschland

Kohleausstieg (Braun- und Steinkohle) in Deutschland

- Entwurf der Kohlekommission enthält noch keine festen Zahlen; Verlängerung bis Anfang Februar
- Möglicher Beschluss?
 - in einem ersten Schritt bis zum Jahr 2022 Abschaltung von ca. 5 GW; auch Braunkohle in Westdeutschland → Hambacher Wald
 - dann Großteil der Anlagen bis 2030 abgeschaltet
 - nach 2030 vor allem Stilllegungen in Ostdeutschland → bis ca. 2035
 - nach ca. 2035 Sicherheitsreserve

Schwieriger wirtschaftlicher Weiterbetrieb für Braunkohle

1. Fixe Betriebskosten von 17 bis 22 €/MWh_{el}

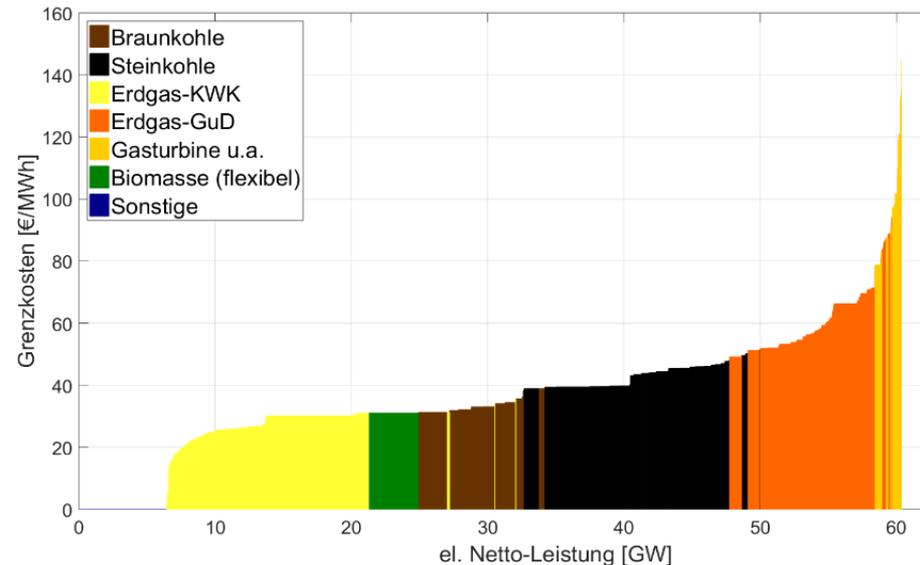
Heutige Vollkosten der Stromproduktion von Braunkohlekraftwerken bei einer Auslastung von 7.000 Stunden

Tabelle 7-4

	Brennstoff-Kosten	Erzeugungskosten Kraftwerke			
		Alt (35%)	Neu (42%)	Alt (35%)	Neu (42%)
	€/MWh _{th}	€/MWh _{el}		€/kWh _{el}	
Variable Betriebskosten	1,5	12,1	10,4	–	–
Fixe Betriebskosten	–	22,0	16,9	154	118
Kraftwerk	–	8,6	5,7	60	40
Tagebau (Brennstoff)	4,7	13,4	11,2	94	78
Investitionskosten Kraftwerk	–	–	20	–	140
Vollkosten	6,2	34,1	47,3	–	–

Berechnungen des Öko-Instituts

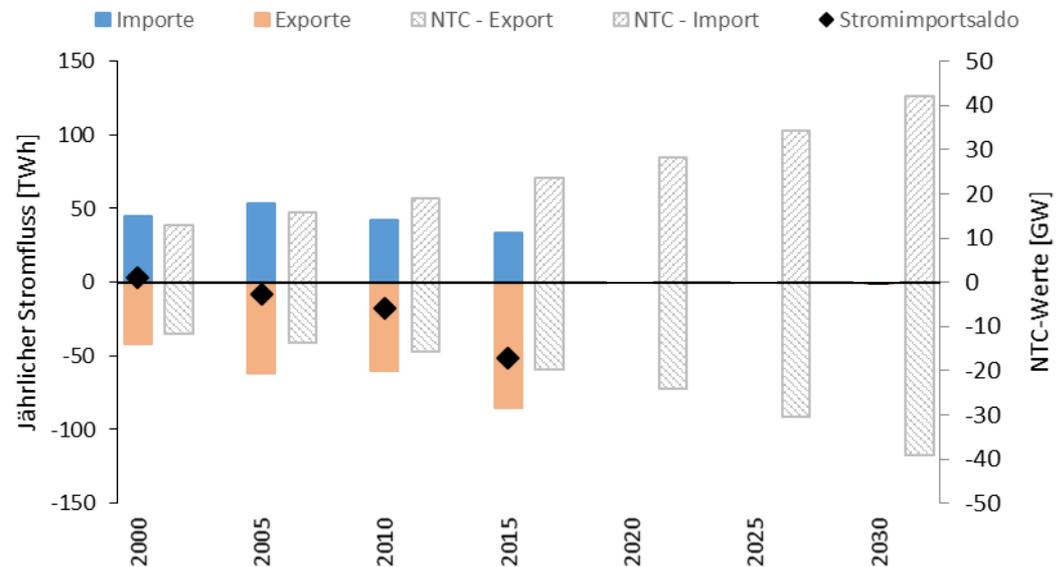
- Grenzkosten
Beispiel: Merit-Order 2025
bei 30 €/t CO₂
 - Durch Ausbau von Wind, PV
niedrige Börsenpreise → Erlöse
- Der Weiterbetrieb Braunkohle
erscheint mittelfristig nur bei
ETS-Subvention in Osteuropa
möglich



Es wird immer knapper! → Aber ...

1. **Ausbau Wind und PV (inkl. Batteriespeicher) → Erhöhung des EE-Ziels auf 65% am Bruttostromverbrauch bis 2030 (2017 36%)**
2. **Ausbau Fernwärme + Gas-KWK, Ersatz von Kohle-KWK durch Gas-KWK**
3. **Ausbau Stromnetze → Europäischer Ausgleich**

- Ziel: durch inländischen Netzausbau und SuedLink + SuedOstLink bis 2025 75% der thermischen Kuppelleistungen im Handel verfügbar
- Sonst Aufteilung Deutschlands in Preiszonen



4. **Rückgang herkömmlicher Verbrauch, Zunahme flexiblen Sektorkopplungsverbrauch um Klimaziele zu erreichen → CO₂-Preis !!!**

Inhalt

- Status Quo: Starker Rückgang thermischer Kraftwerksleistung in Deutschland
- Diskussion der Sektorziele für 2030 in Deutschland
- Simulationsrechnung Europa Emissionshandel 2030
- Ausblick Europa 2050
- Schlussfolgerungen

Kurzfristige politische Entwicklung

■ CO₂-Preise in Europa Nicht-ETS

- Frankreich 44,6 €/t
→ 86,2 €/t (2022)

- Schweden
CO₂-Steuer von 125 €/t

- Schweiz
83 €/t

- Klimafranken wird rückerstattet

→ sozialpolitischer Ausgleich und Anreiz für Dekarbonisierung

■ Mindestpreis im ETS

- Großbritannien seit 2013 18 Pfund/t

- Niederlande 18 €/t ab 2020 → bis 2030 auf 43 €/t steigend

■ Deutschland

- Diese Legislaturperiode Einsatz von mehr Fördergeldern in Deutschland statt CO₂-Preis

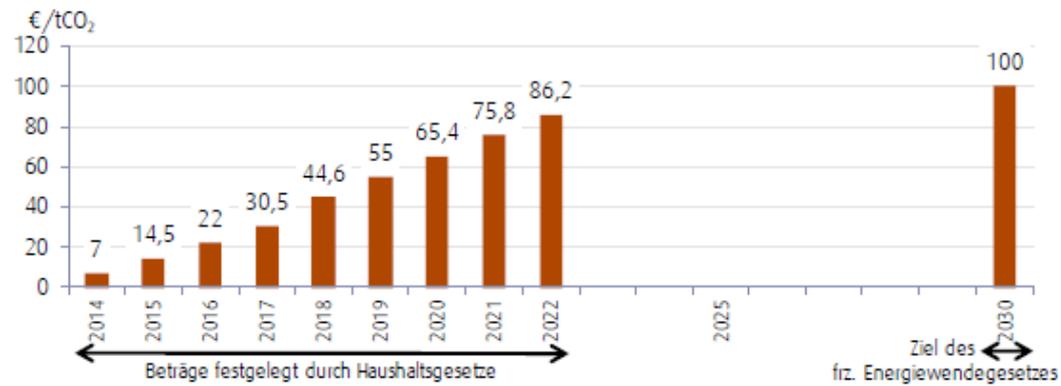


Abbildung 3: Neuer Entwicklungspfad für den französischen Beitrag für Klima und Energie

Quelle: MTEES (2016), [Panorama Energie-Climat 2016](#), S. 170 und *Fiscalité des énergies* (Energiesteuer, [Webseite](#)).

Darstellung: DFBEW

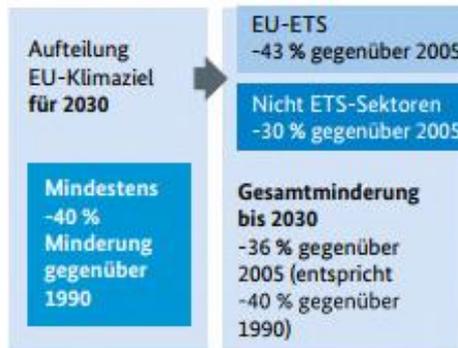
Mittelfristige politische Entwicklung

■ Nicht-ETS:

- Effort Sharing Regulation (ESR, bis 2020 ESD) durch die EU verbindlich geregelt (Deutschland Ziel 2020 -14% und 2030 Ziel -38%)
- Annual Emission Allowances (AEA) Quoten müssten bilateral von anderen europäischen Ländern erworben
→ hohe Strafzahlungen bis 2030 für DEU bei Zielverfehlung

■ EU: **Verschärfung** des Klimaziels von -40% **auf -45% bis 2030**

(als Konsequenz der Neufassung der Energieeffizienz-Richtlinie und der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie)



Klimaziele → Im Fokus 2030 und 2050

■ DE Sektorziele nach Klimaschutzplan 2030

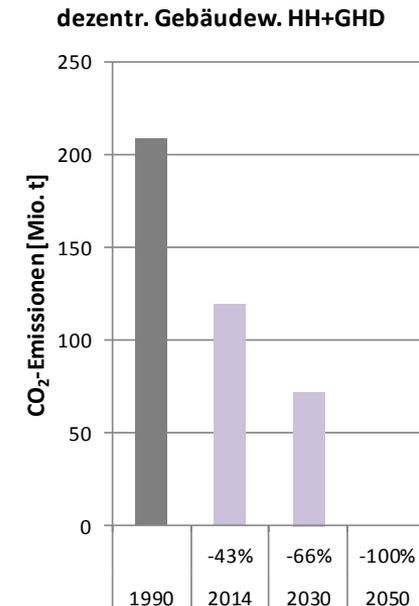
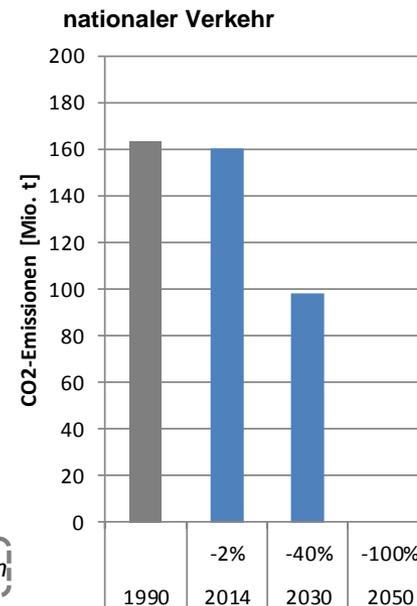
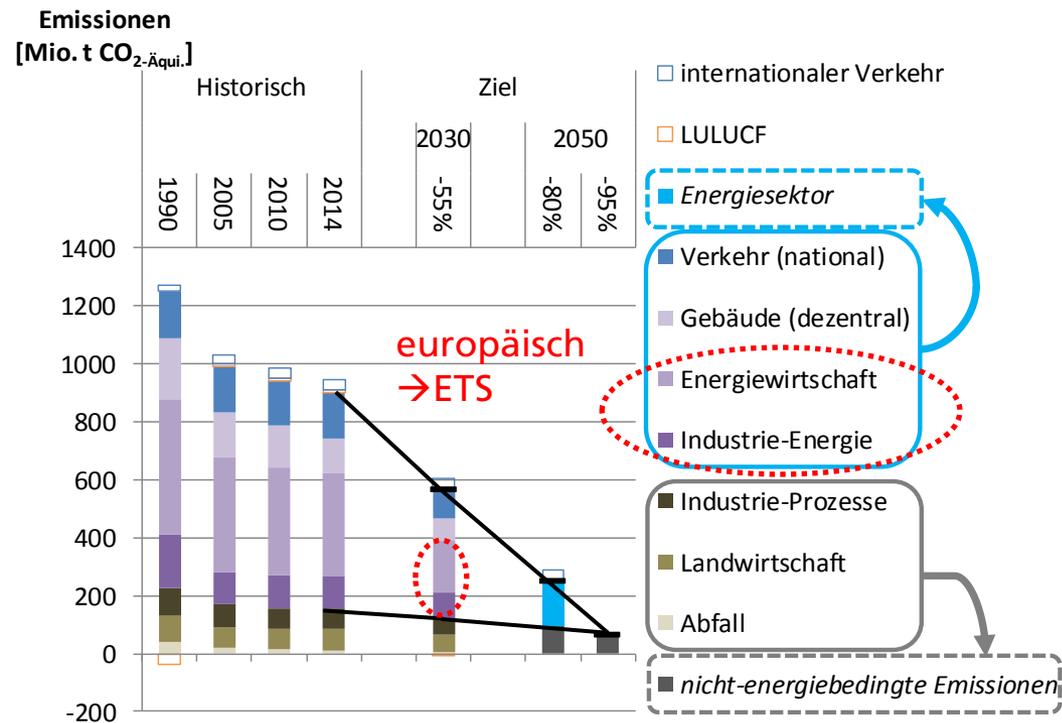
■ für **Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Abfall, Industrieprozesse**

→ entspricht europäischem Nicht-ETS-Ziel von -38% bezogen auf 2005

■ Europa ETS ↔ ESD (Nicht vom ETS erfasste Sektoren → -30% bezogen auf 2005)

■ **Verschärfung EU-Klimaziel in 2030 von -40% auf -45% THG-1990 (Fokus ETS)**

■ 2050 2°C-Ziel: -95% THG-Emissionen = vollständige Dekarbonisierung des Energiesystems Europas



Sektorziele 2030 Gebäudewärme und Verkehr

- Bei Fortschreibung des aktuellen Trends verfehlt Deutschland sein rechtlich verbindliches Nicht-ETS-Klimaschutzziel für die Jahre 2021 bis 2030 um 616 Millionen tCO₂, mit Kosten für den Bundeshaushalt in Höhe von **30 bis 60 Milliarden Euro (50 bis 100 Euro pro Tonne)**



Notwendig wären:

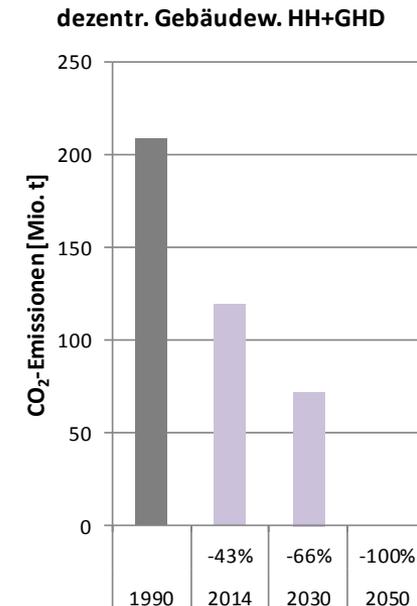
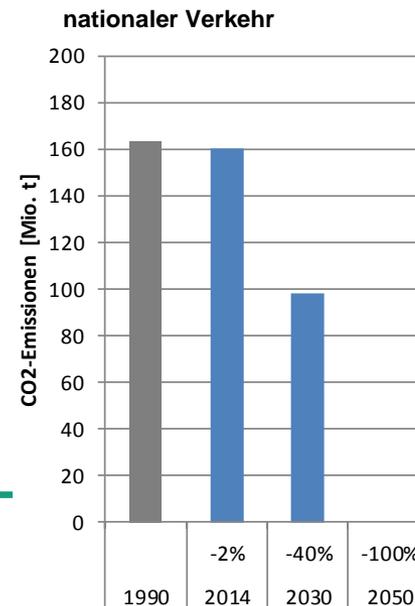
- **E-Mobilität (Bahn/Pkw/Lkw) für Sektorziel Verkehr 2030**

- Verkehrsverlagerung/-vermeidung
49 – 32 TWh

- Trend + E-Mobilität
80 TWh

- **Strom (WP/Groß-WP) für Sektorziel Gebäude 2030**

- Je nach Gebäudedämmung und Biomasse
37 bis 46 TWh



Inhalt

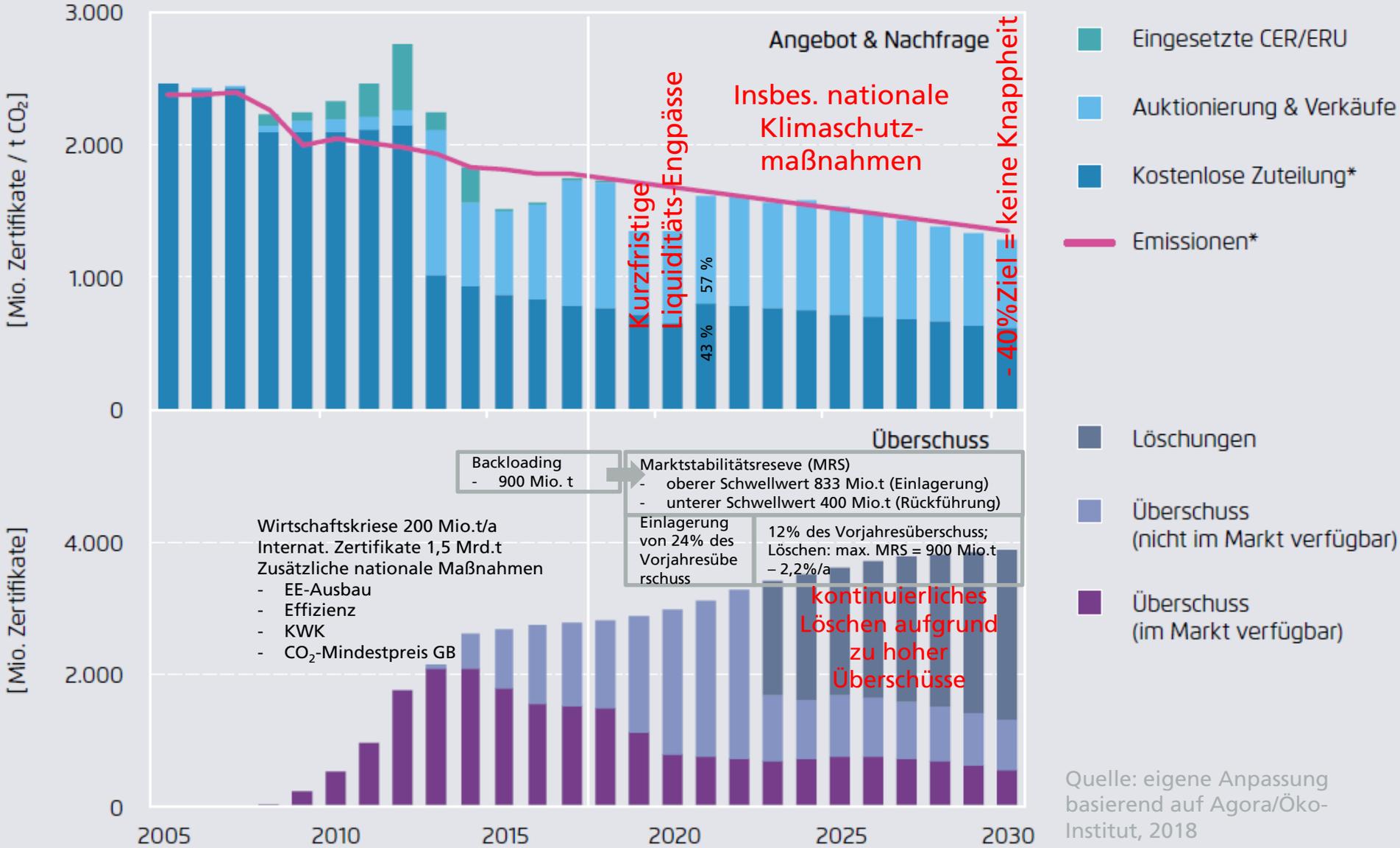
- Status Quo: Starker Rückgang thermischer Kraftwerksleistung in Deutschland
- Diskussion der Sektorziele für 2030 in Deutschland
- **Simulationsrechnung Europa Emissionshandel 2030**
- Ausblick Europa 2050
- Schlussfolgerungen

ETS - beschlossene Maßnahmen

2018

4. Handelsperiode

- Optional nationales Löschen bei Kohle-Kraftwerksstilllegung



ETS - notwendige weitere Maßnahmen

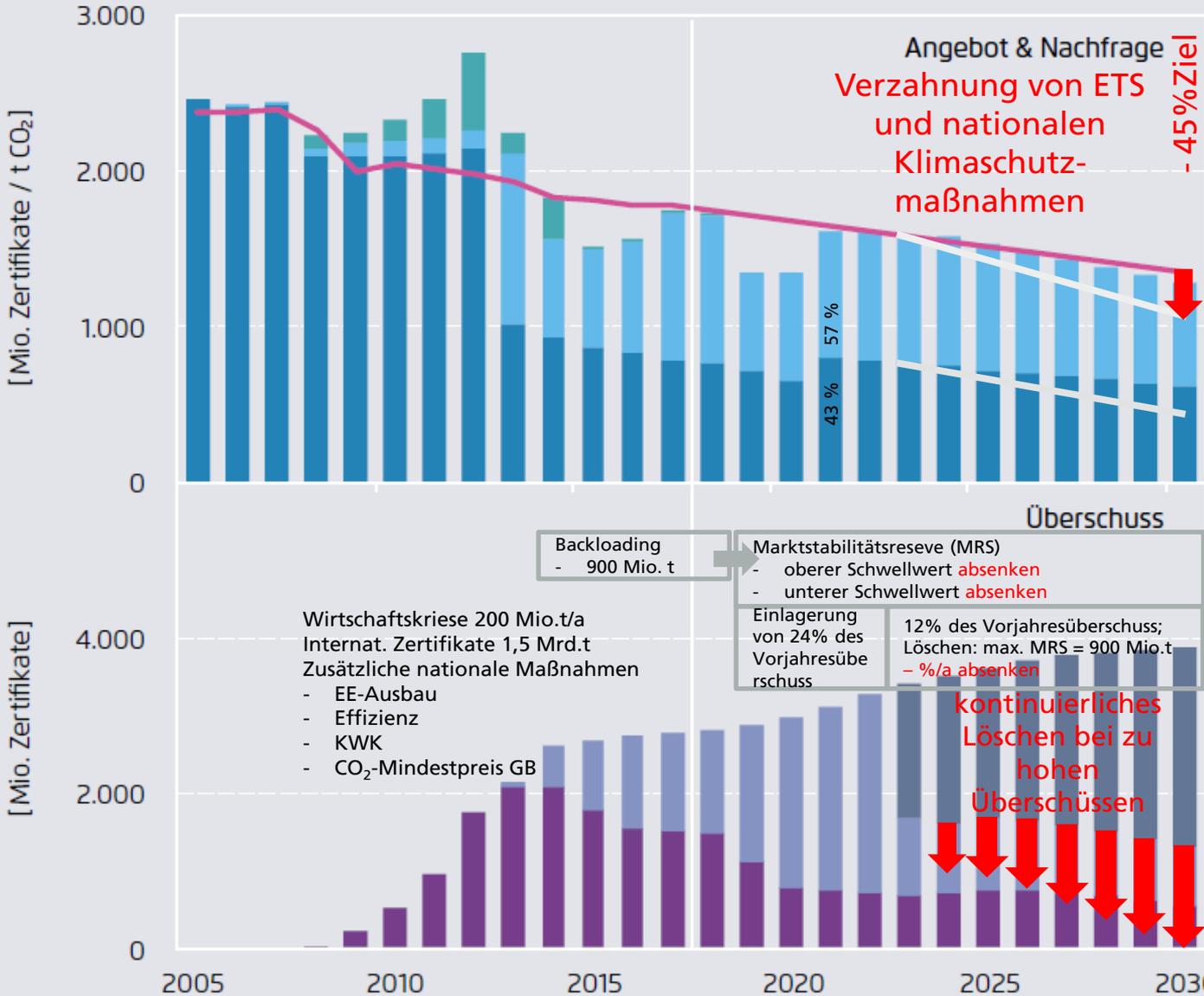
2018

4. Handelsperiode

- Optional nationales Löschen bei Kohle-Kraftwerksstilllegung
- CO₂-Mindestpreis inkl. Löschen
- Stilllegung für weitere nation. Maßn.

Nationale Maßnahmen

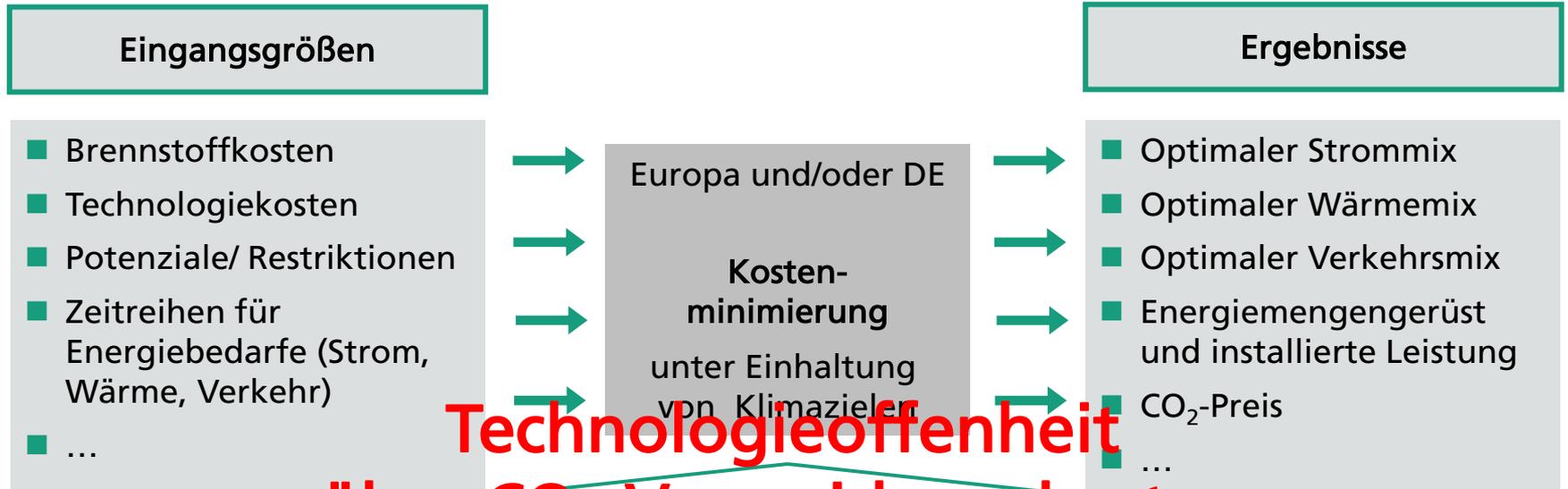
- Kohleausstieg
- EE-Fernwärme
- 65% EE
- CO₂-Mindestpreis
- ...



- Eingesetzte CER/ERU
- Auktionierung & Verkäufe
- Kostenlose Zuteilung*
- Emissionen*
- Löschen
- Überschuss (nicht im Markt verfügbar)
- Überschuss (im Markt verfügbar)

Quelle: eigene Anpassung basierend auf Agora/Öko-Institut, 2018

Sektorübergreifende Ausbau- und Einsatzplanung „SCOPE“

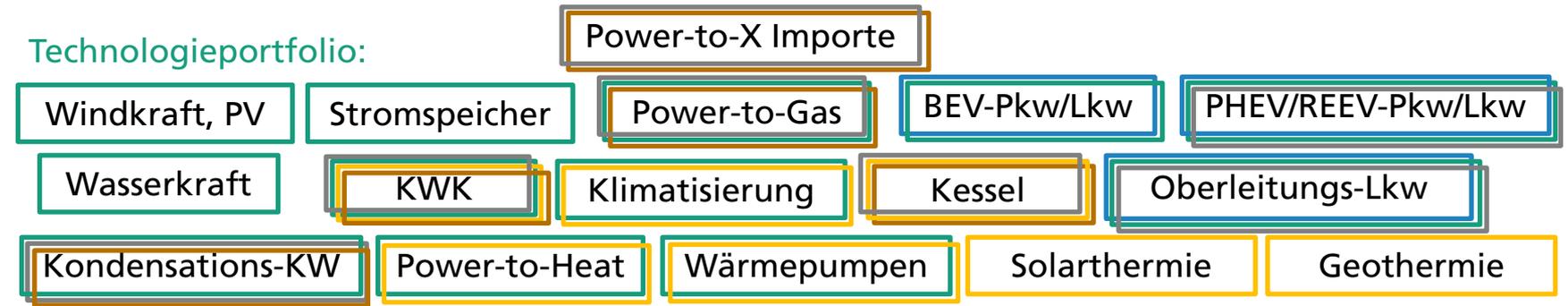


Technologieoffenheit über CO₂-Vermeidungskosten

Märkte:

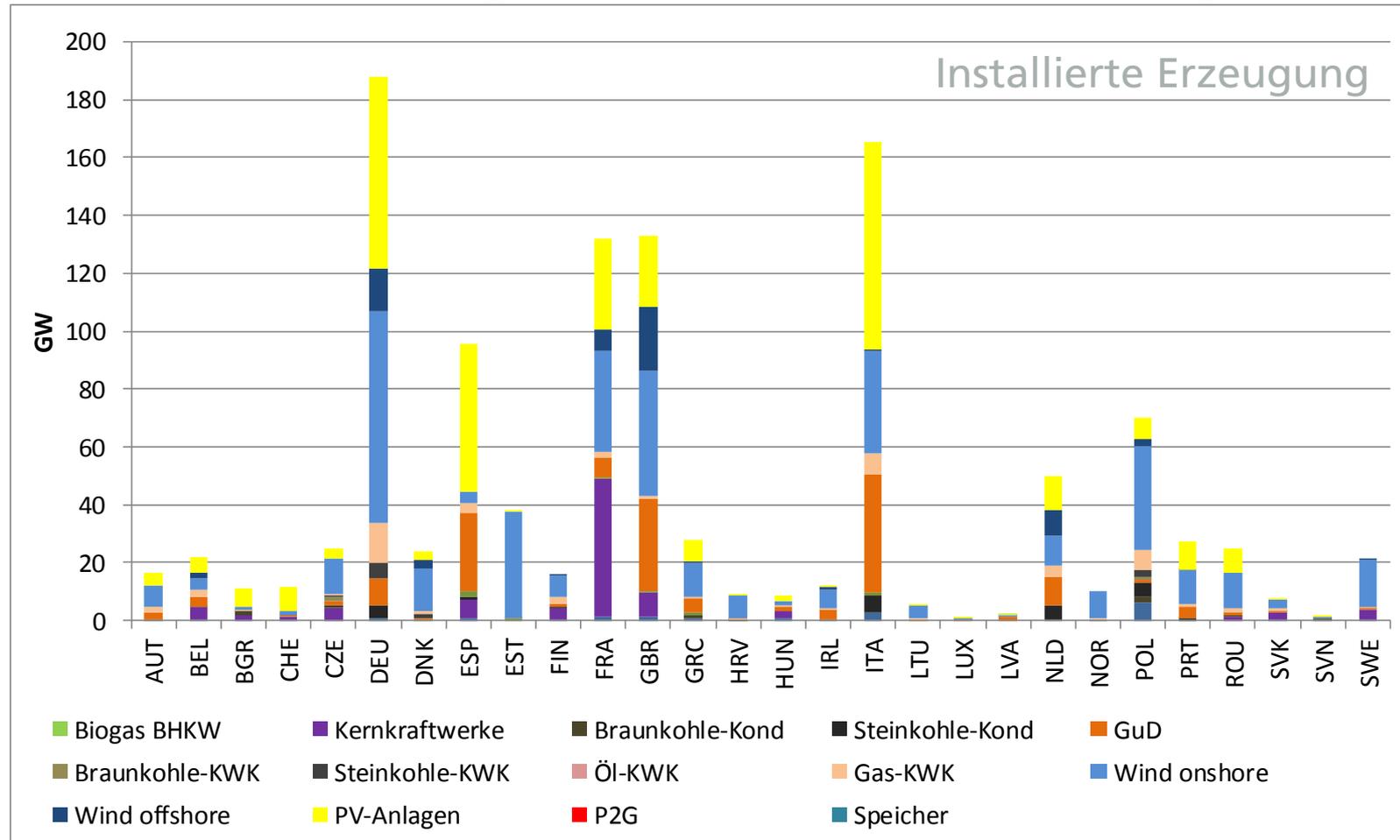


Technologieportfolio:



Europa in 2030 bei Klimaziel -45% THG (Basis 1990)

■ Nicht-ETS-Ziel wird eingehalten, ETS-Ziel verschärft, Wetterjahr 2012

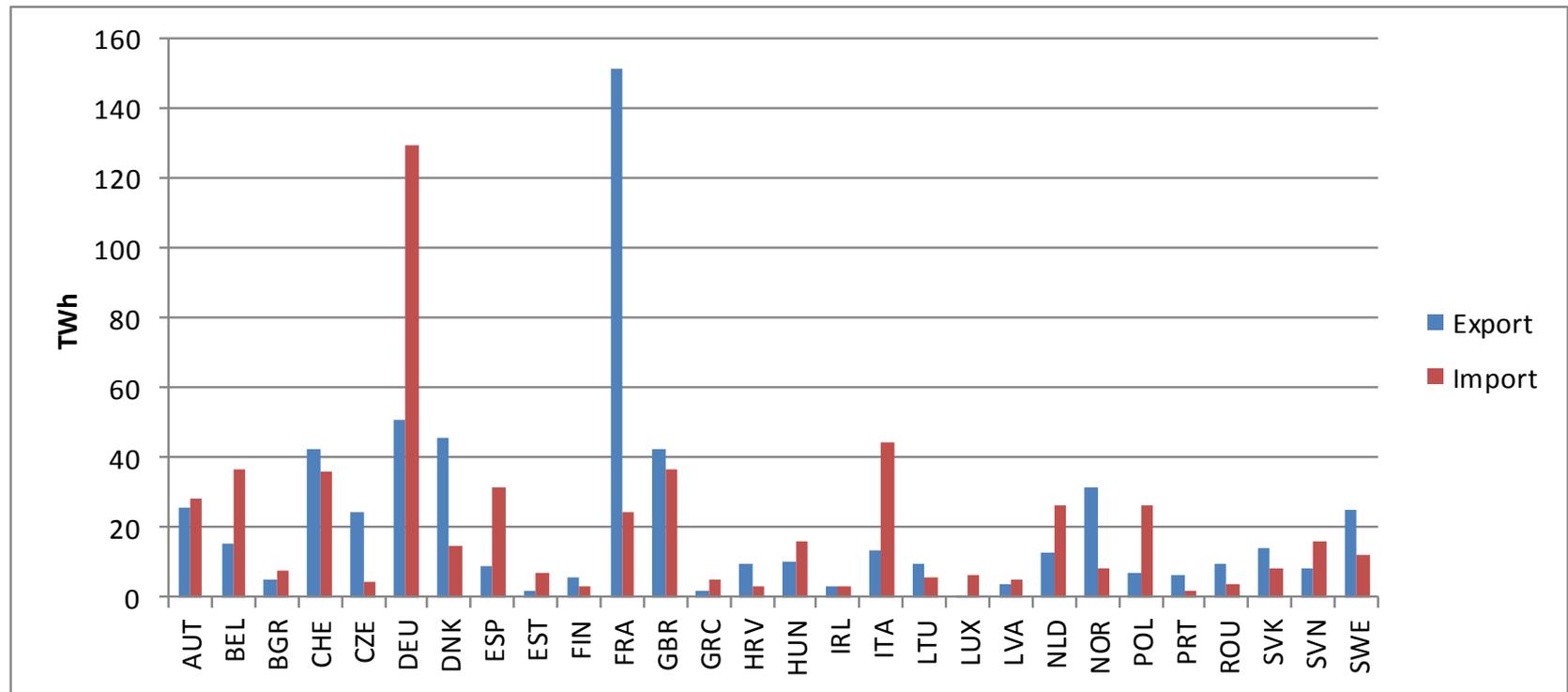


Europa in 2030 bei Klimaziel -45% THG (Basis 1990)

■ Möglicher marktbasierter Ausbau:

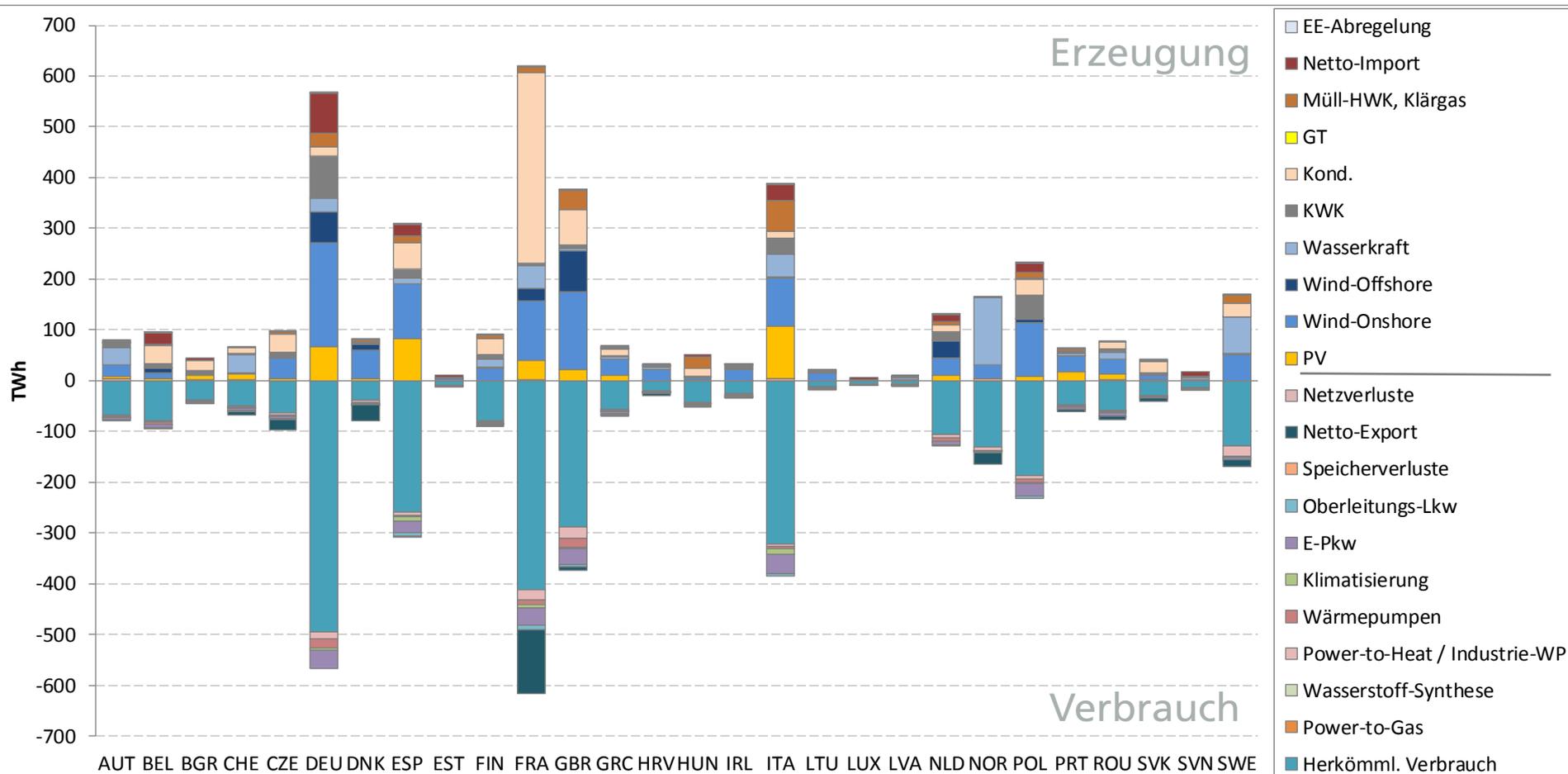
- Wind-Onshore in AUT, BEL, CZE, DEU, ESP, FIN, Frau, GRC, HRV, ITA
- KWK in fast jedem Land, zusätzlicher Ausbau von Gasturbinen in Polen

■ Handelsbilanz:



Europa in 2030 bei Klimaziel -45% THG (Basis 1990)

■ Strombilanz:

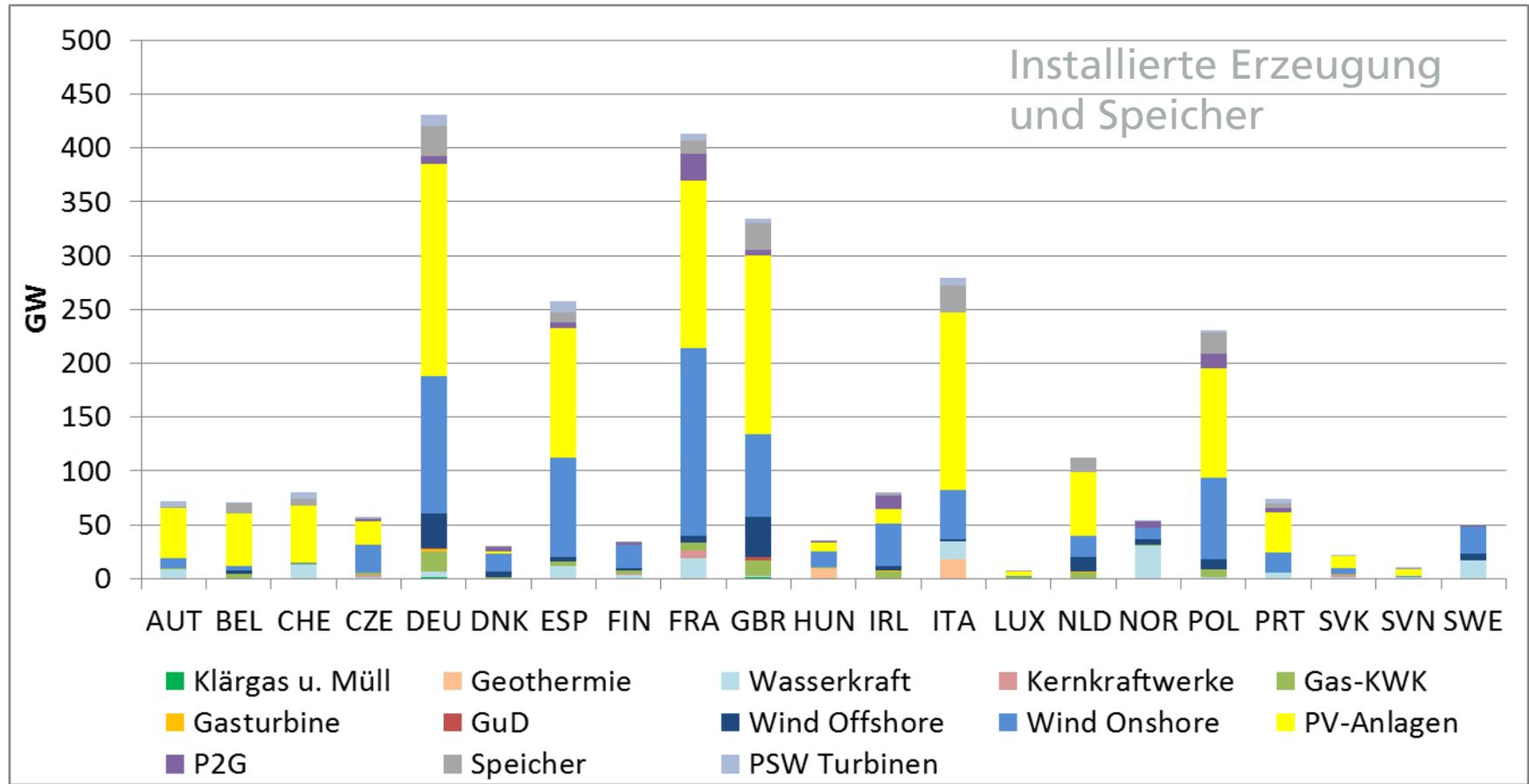


Inhalt

- Status Quo: Starker Rückgang thermischer Kraftwerksleistung in Deutschland
- Diskussion der Sektorziele für 2030 in Deutschland
- Simulationsrechnung Europa Emissionshandel 2030
- **Ausblick Europa 2050**
- Schlussfolgerungen

Vollständig dekarbonisierte Energieversorgung 2050 +PtL-Importe außerhalb Europas für Verkehr und chem. Ind.

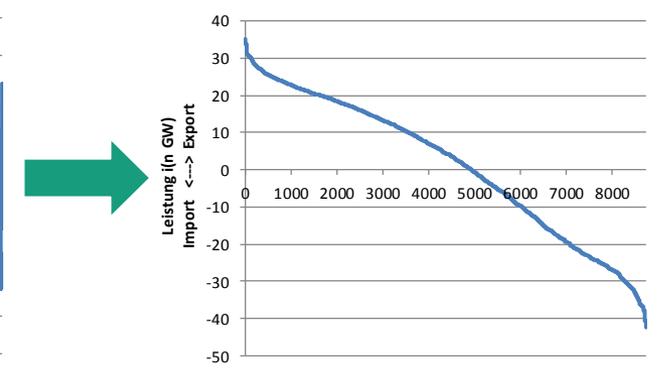
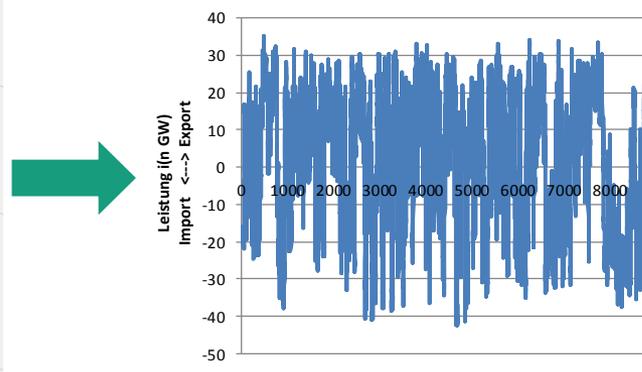
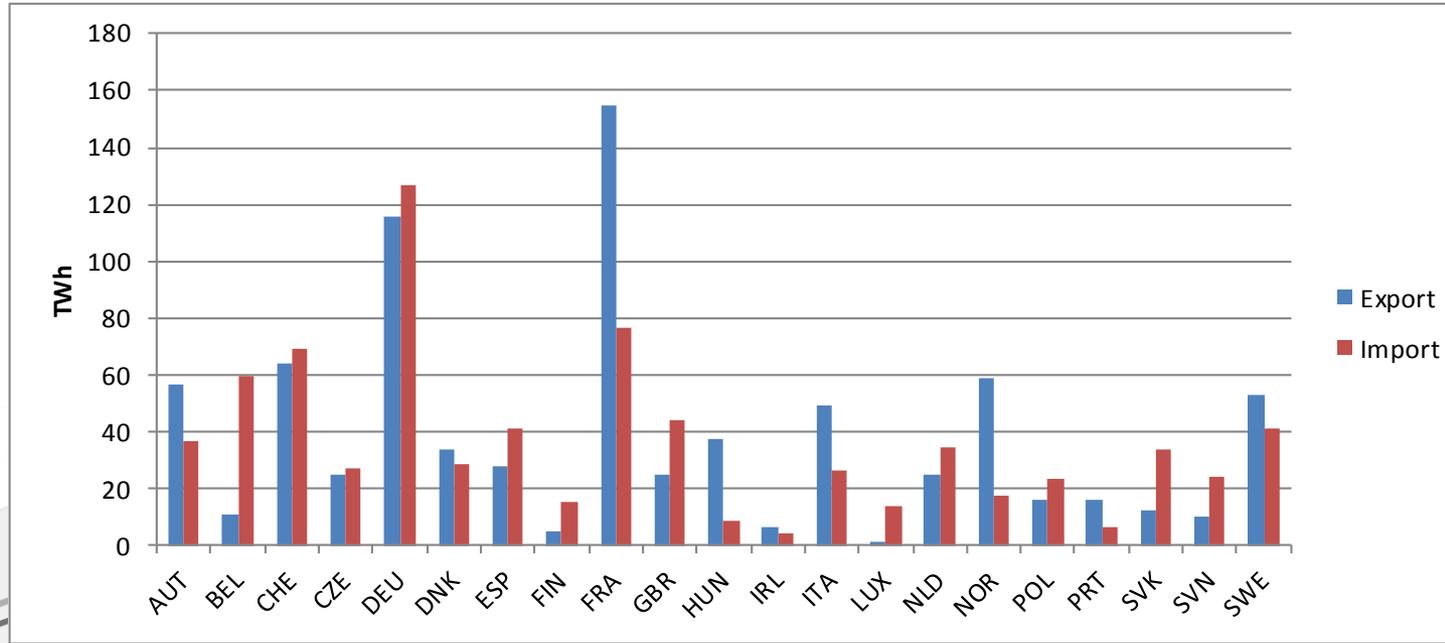
■ Ausblick 2050 Europa -95% THG, Wetterjahr 2011



Vollständig dekarbonisiertes Energieversorgung 2050 +PtL-Importe außerhalb Europas für Verkehr und chem. Ind.

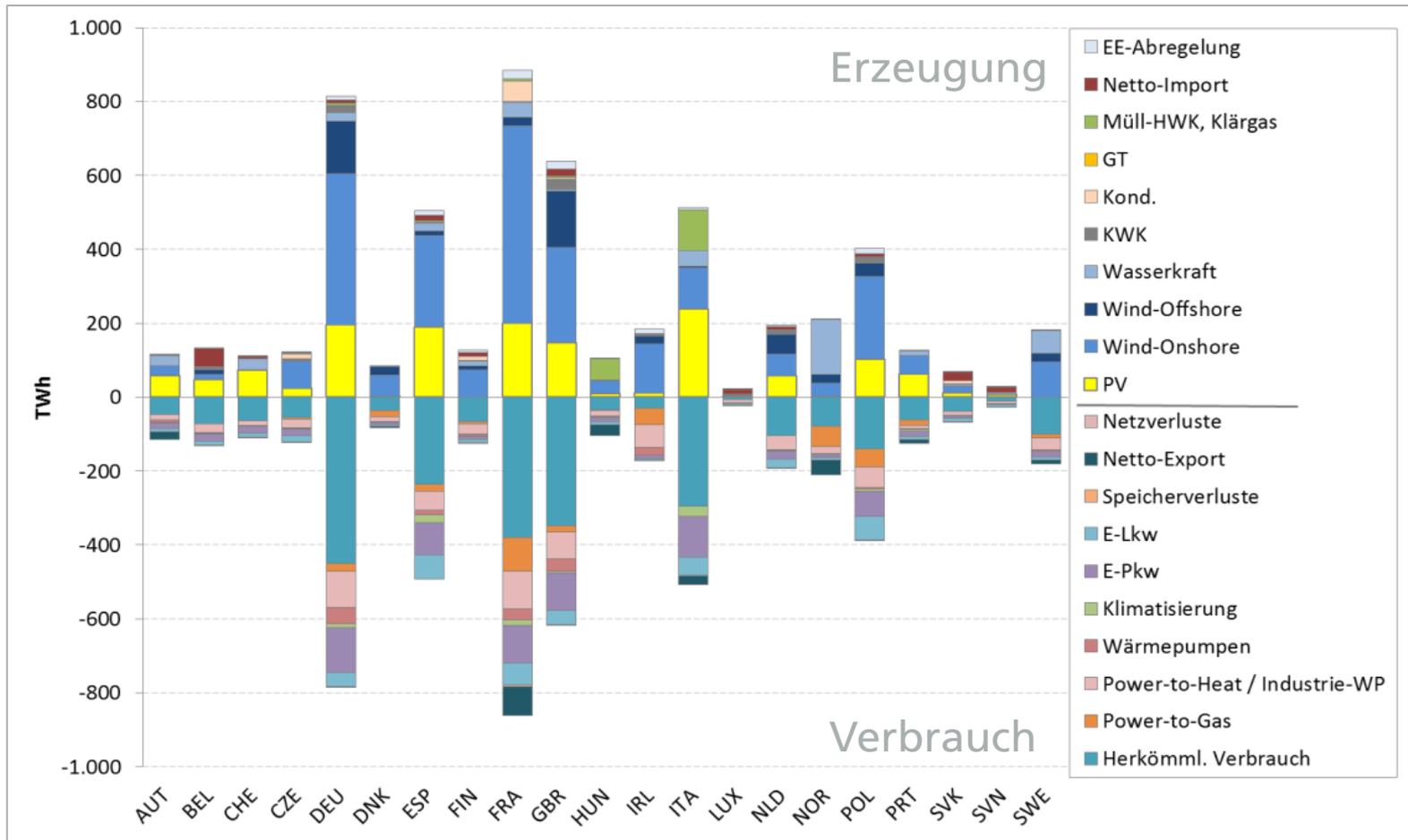
■ Stromhandel
Europa

■ Für DE:



Vollständig dekarbonisiertes Energieversorgung 2050 +PtL-Importe außerhalb Europas für Verkehr und chem. Ind.

■ Strombilanz



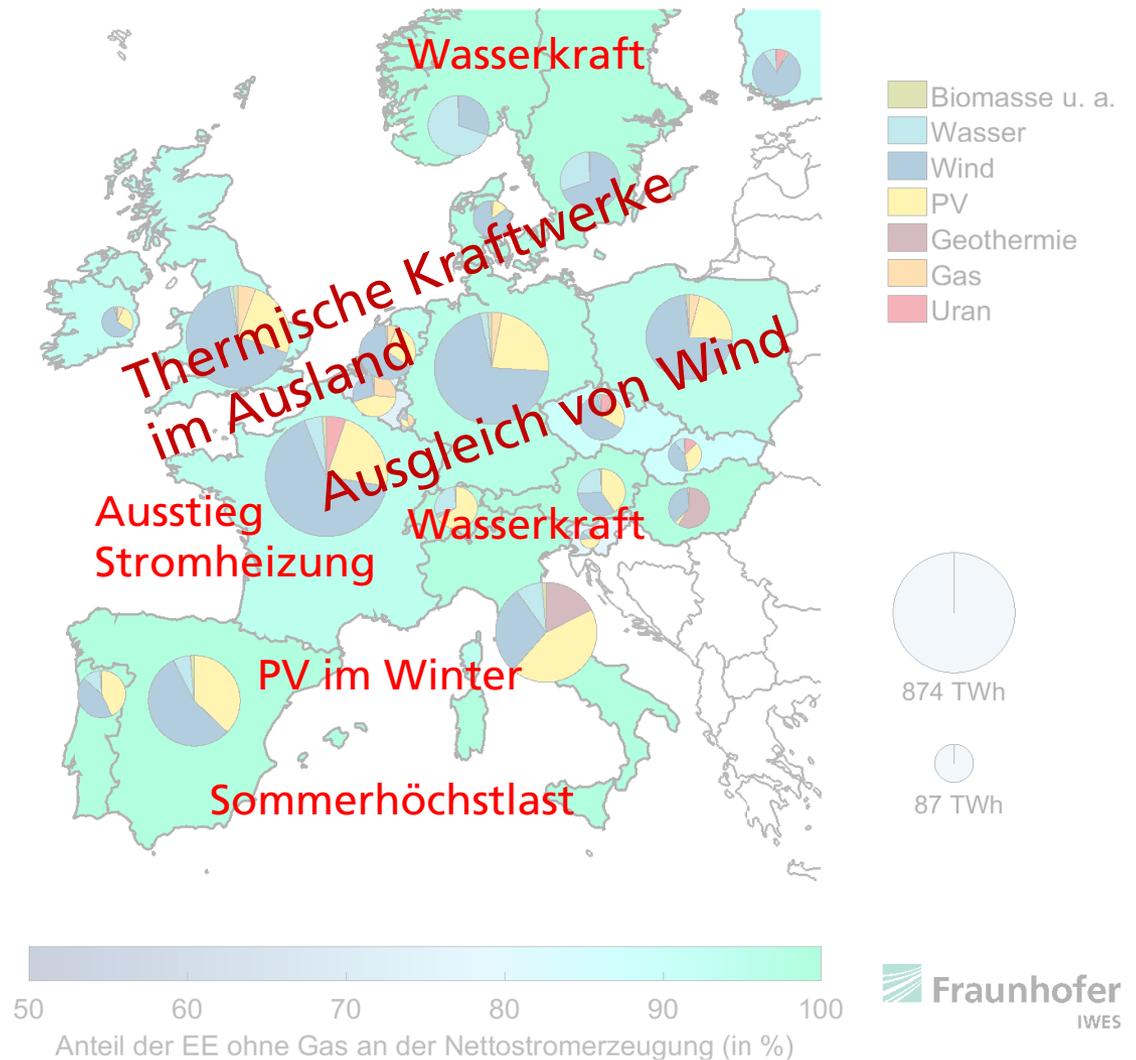
Szenarieneinflüsse auf die „kalte Dunkelflaute“ europäisch

■ Hohe Ausgleichseffekte in Europa

■ ...

■ Zukünftig hohe Flexibilität der Nachfrage

- Elektromobilität
- Wärmepumpen
- Wärmenetze
- Batteriespeicher
- ...



Auswertung von 7 Wetterjahren für Deutschland

■ Typische Januarwoche

■ 0°C bis 1°C

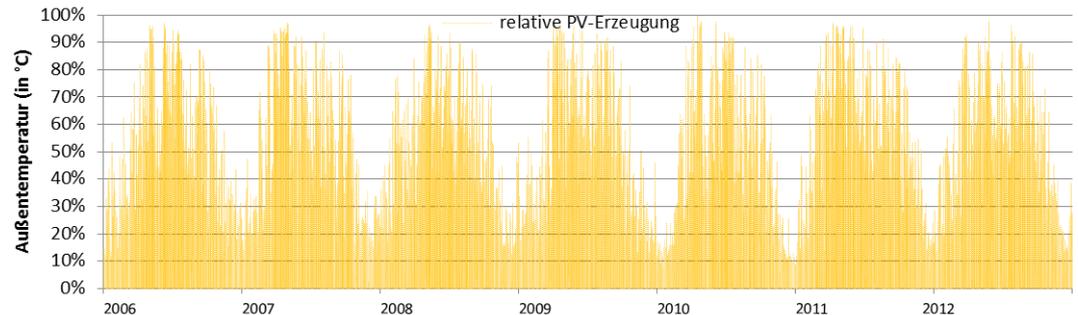
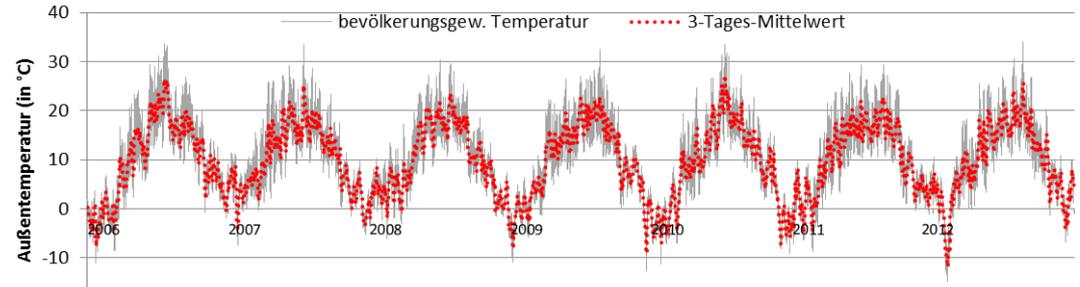
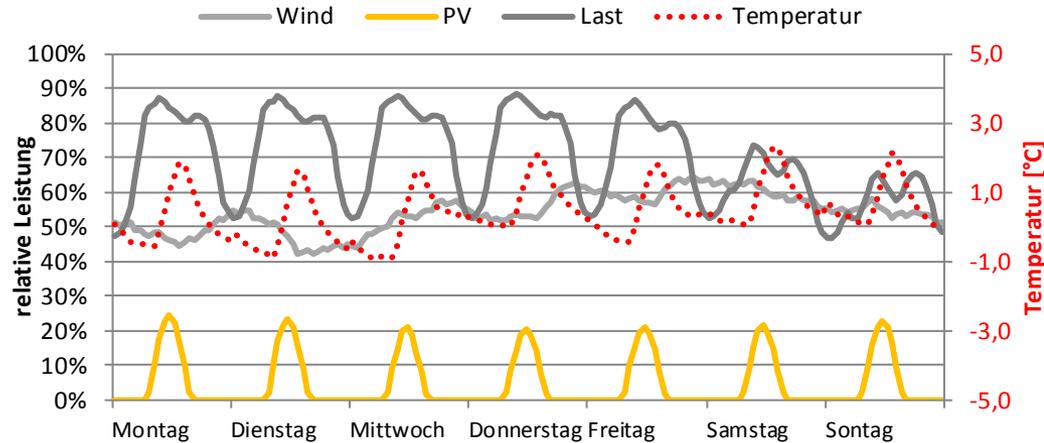
■ 54% Wind

■ 5% PV-Ertrag
bei 20-24%

der maximal deutschlandweit gleichzeitigen Leistung

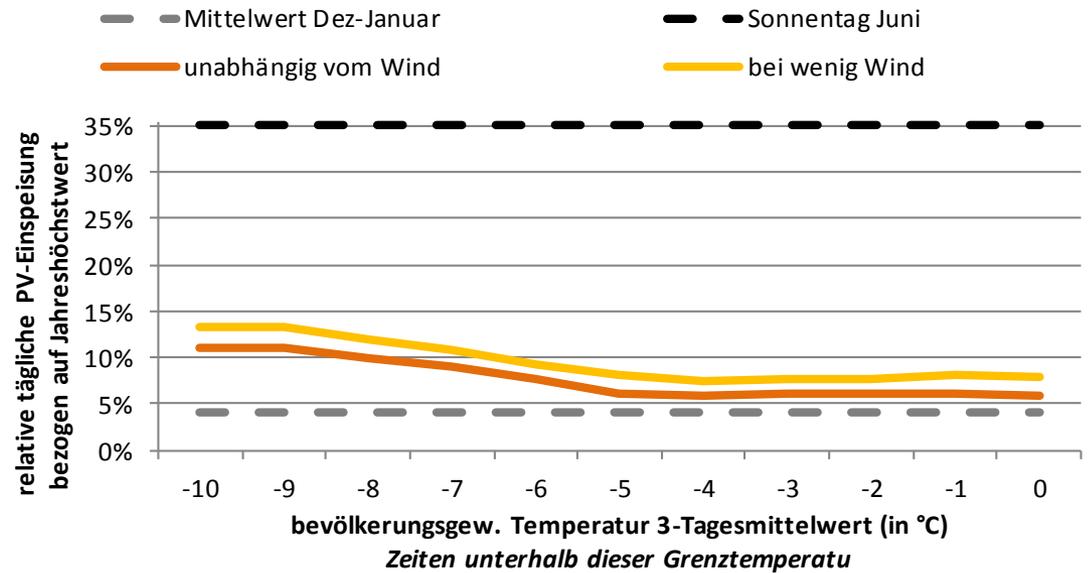
→ Analyse von
Extremsituationen
über 7 Wetterjahre

typische Januarwoche

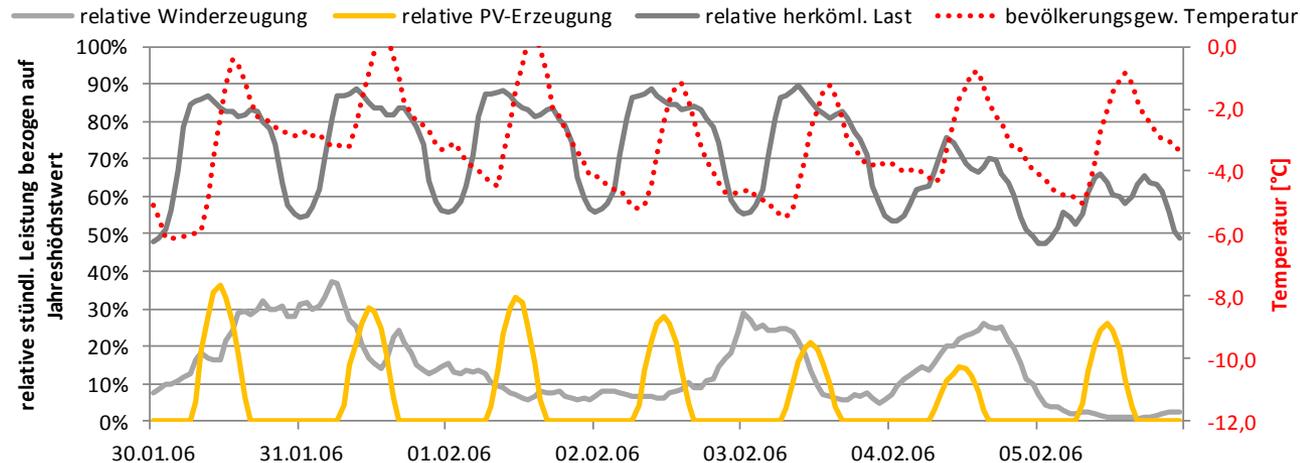


Auswertung von 7 Wetterjahren für Deutschland

- Korrelation:**
 Wenn es sehr kalt ist, ist die PV-Erzeugung deutlich höher.
 In der Flaute ist der Effekt noch verstärkt.
 Regionale Abweichungen von diesem Mittelwert bei Hochnebel.



- Beispiel 1 Woche Dunkelflaute**
 30.1. bis 5.2.2016



PtG → Saisonaler Ausgleich über mehrere Wetterjahre!

ANALYSE EINES EUROPÄISCHEN -95% KLIMAZIELSZENARIOS ÜBER MEHRERE WETTERJAHRE
 Teilbericht im Rahmen des Projektes: EU-AMBIENTUM-IEE
 ELEKTROKAPAZITÄT - Entwicklungsoptionen des Stromnetzes unter Berücksichtigung der Rückkopplung des Energieerzeugungssystems in Hinblick auf mittel- und langfristige Klimaziele

© Fraunhofer IEE
 Fraunhofer IEE
 Fraunhofer IEE

	Wetterjahr 2007 – viel Wind	Wetterjahr 2010 – wenig Wind
EE-Erzeugung	<p>Jahresdauerlinien der EE-Einspeisung sowie der Residuallast, meteorol. Jahr 2007</p>	<p>Jahresdauerlinien der EE-Einspeisung sowie der Residuallast, meteorol. Jahr 2010</p>
Flexible Erz./Verbr.	<p>Jahresdauerlinien des Kraftwerkseinsatzes und flexibler Verbraucher, meteorol. Jahr 2007</p>	<p>Jahresdauerlinien des Kraftwerkseinsatzes und flexibler Verbraucher, meteorol. Jahr 2010</p>
PtG	<p>58 TWh Strom = 35 TWh Gas Auslastung ca. 5000 h/a</p>	<p>36 TWh Strom = 22 TWh Gas Auslastung ca. 3000 h/a</p>

Inhalt

- Status Quo: Starker Rückgang thermischer Kraftwerksleistung in Deutschland
- Diskussion der Sektorziele für 2030 in Deutschland
- Simulationsrechnung Europa Emissionshandel 2030
- Ausblick Europa 2050
- Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen

1. Langfristig viel größere Freiheitsgrade im Energiesystem beim Thema Versorgungssicherheit
2. Der Leistungskredit von Wind und PV wird bei
 - zunehmenden EE-Ausbau
 - zunehmenden europäischen Netzausbau
 - zunehmender kurzfristiger Flexibilität (E-Mobilität, Wärme-Sp., Batterie) immer relevanter
3. Aber: Versorgungssicherheit ist ein relativer Wert → Klärung der Grundsatzfrage, was eine Gesellschaft bereit ist dafür zu auszugeben
4. Gaskraftwerke und PtG bilden die Basis für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit und den Ausgleich zwischen Wetterjahren
5. Die kalte Dunkelflaute ist insbesondere in der nächsten Dekade eine Herausforderung (Kernkraftausstieg, Kohleausstieg, Netzengpässe, inflexible Stromnachfrage, ...)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Norman Gerhardt
Leiter Energiewirtschaft und Systemanalyse

E-Mail: norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de

Tel.: 0561 7294-274

Fraunhofer IEE

Königstor 59

34119 Kassel