

# DESK

**Dekarbonisierung des Energiesystems durch verstärkten Einsatz erneuerbaren Strom  
bei gleichzeitigen Stilllegungen von Kraftwerken –  
Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit in Süddeutschland**

**RES-TMO: Auftaktveranstaltung, Freiburg 03/12/2019**

Dogan Keles, Rupert Hartel, Armin Ardone, Viktor Slednev, Ümit Yilmaz, Wolf Fichtner, Matthias Kühnbach, Pia Manz



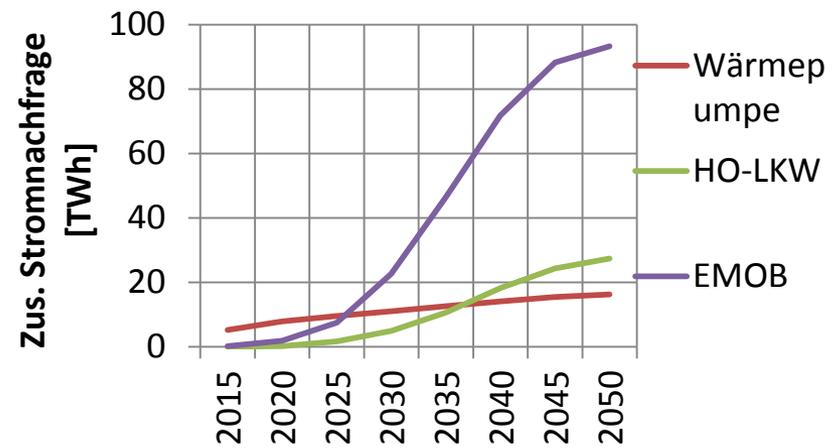
# Inhalt

- Motivation und Zielsetzung
- Modellkonzept - Energiesystemanalyse
- Annahmen und Daten
- Ergebnisse: Kapazitätsbedarf und optimaler Strommix
- Fazit

# Motivation und Zielsetzung

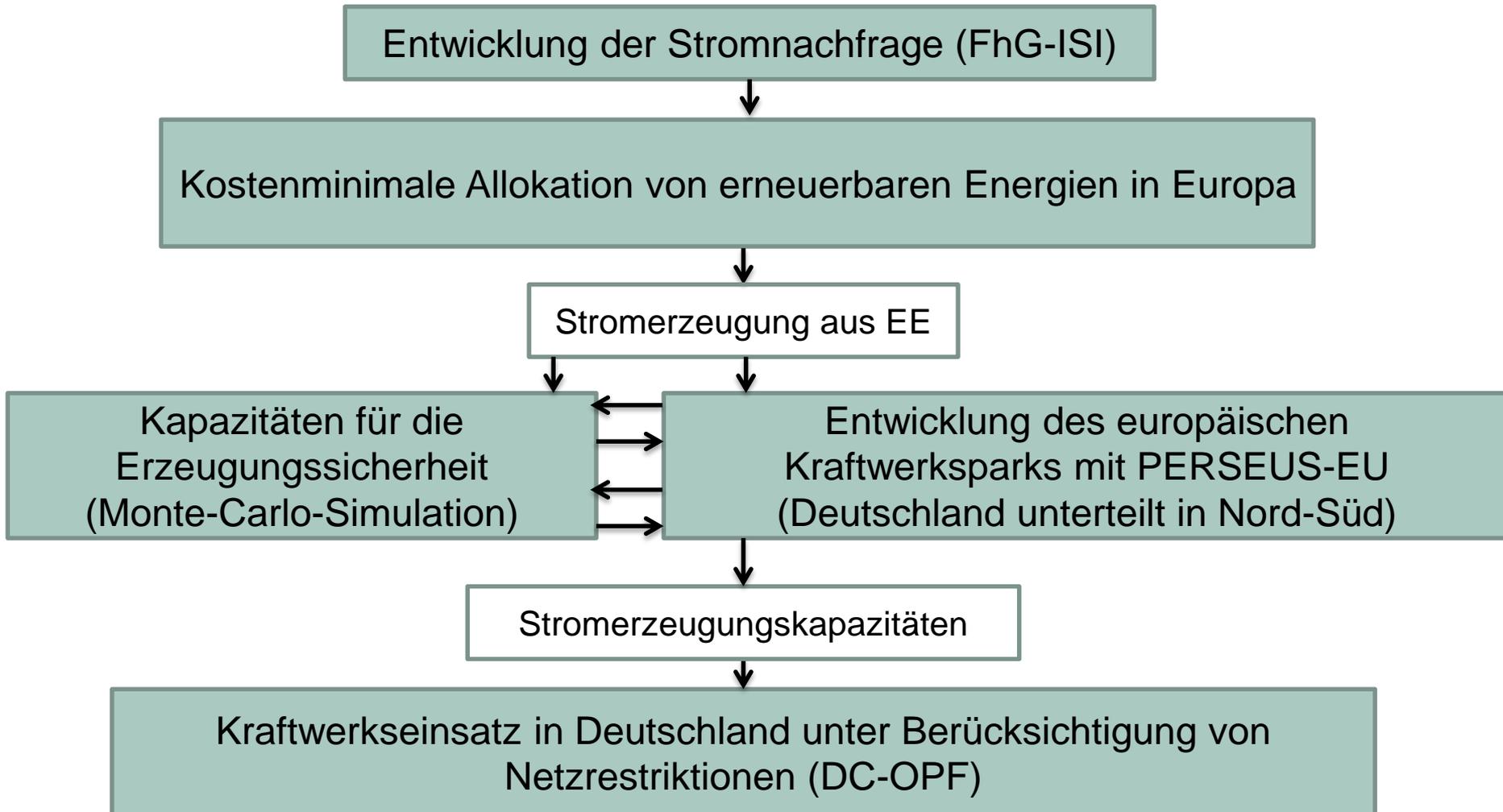
Um die internationalen und regionalen Klimaziele zu erreichen muss Deutschland seinen Energiesektor dekarbonisieren

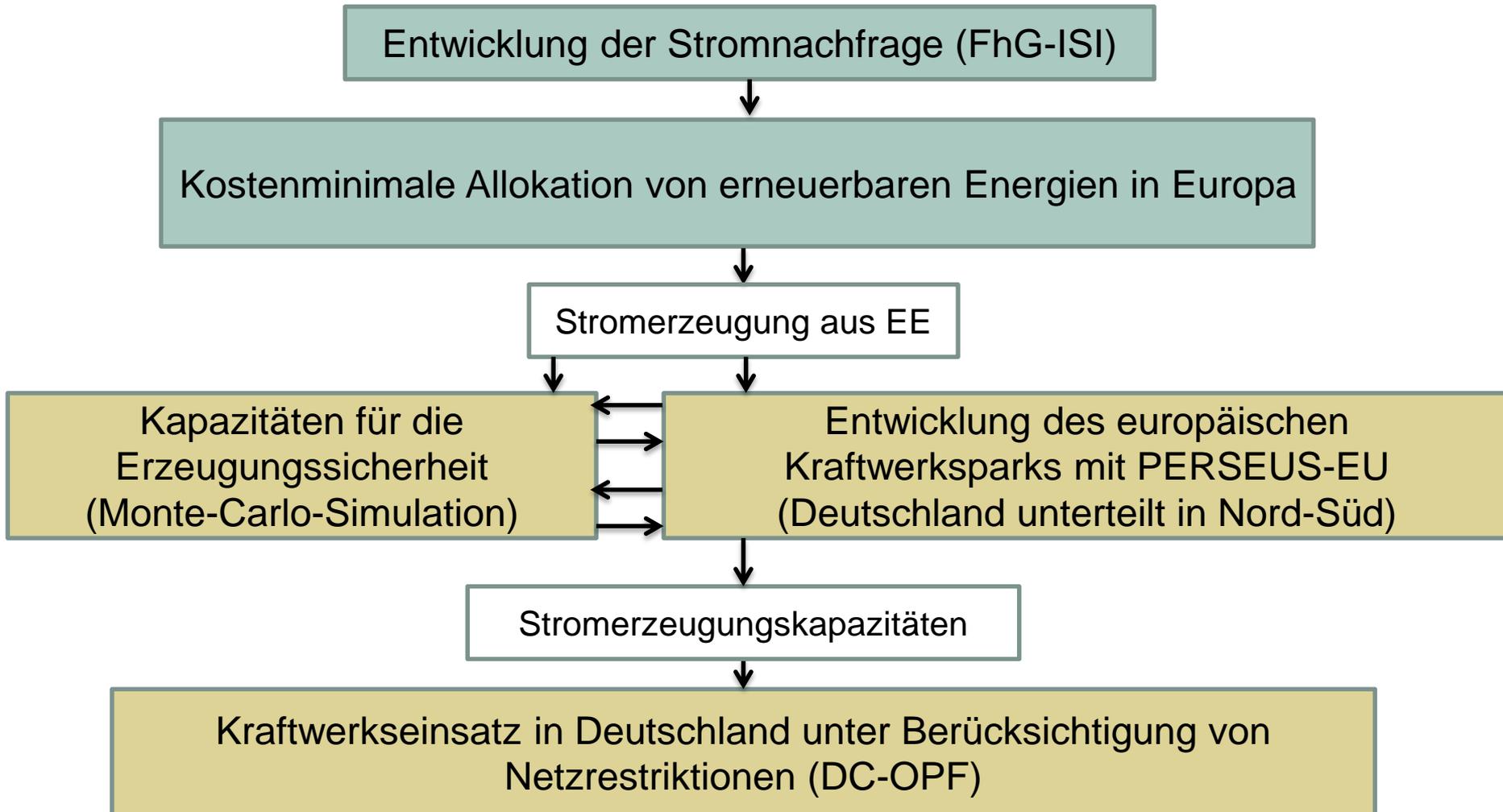
- Kohlekommission empfiehlt kompletten Kohleausstieg bis 2038
- Sektorkopplung zur Dekarbonisierung des Wärme- und Transportsektors
  - Starker Anstieg der Stromnachfrage durch Elektromobilität, Power-to- gas/heat, etc.
  - Auswirkungen auf das Stromsystem



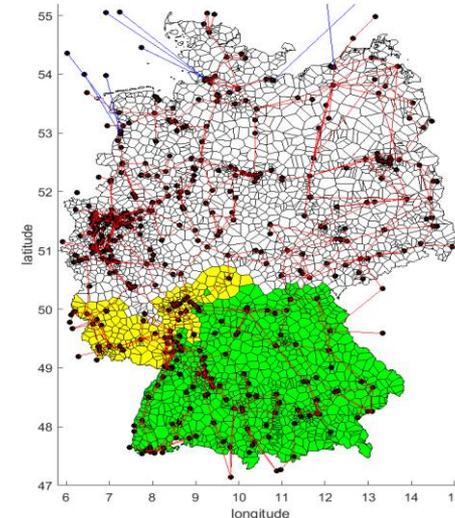
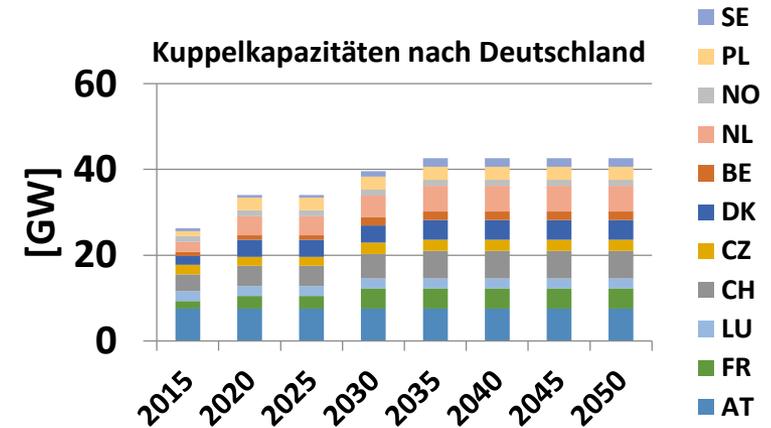
# Motivation und Zielsetzung

- **Zielsetzung:** Analyse der Versorgungssicherheit bei steigender Sektorkopplung und Rückbau von Kraftwerkskapazitäten
  - Wie entwickelt sich die Stromnachfrage in den nächsten Jahren
  - Wie sieht die kostenminimale Allokation der erneuerbaren Energien aus?
  - **Wie groß ist der Bedarf an flexiblen Kapazitäten in Süddeutschland aus und welche Kraftwerkstechnologien kommen hinzu?**
  - **Ist der Stromnetz unter Berücksichtigung des optimalen Kraftwerksmix in der Lage die Stromnachfrage zu bedienen?**



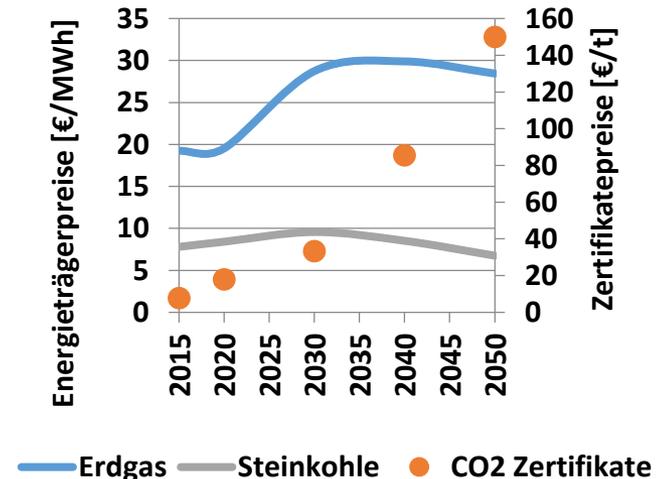
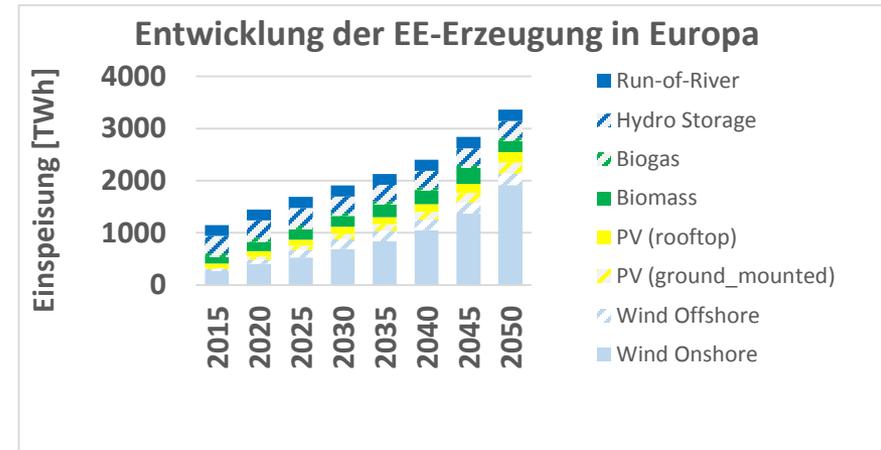


- Systemgrenze: Europäischer Stromsektor mit speziellem Fokus auf Deutschland und Süddeutschland
- Europäische Interkonnektor-Kapazitäten gemäß dem Ten Year Net Development Plan (TYNDP, 2016)
- Daten des deutschen Übertragungsnetzes gemäß Netzentwicklungsplan (NEP 2030)
- Transportnetzmodell (basierend auf Netzmodellen der ÜNB, ENTSO-E, OSM)
- DC-Ansatz: OPF (Lastflussoptimierung)



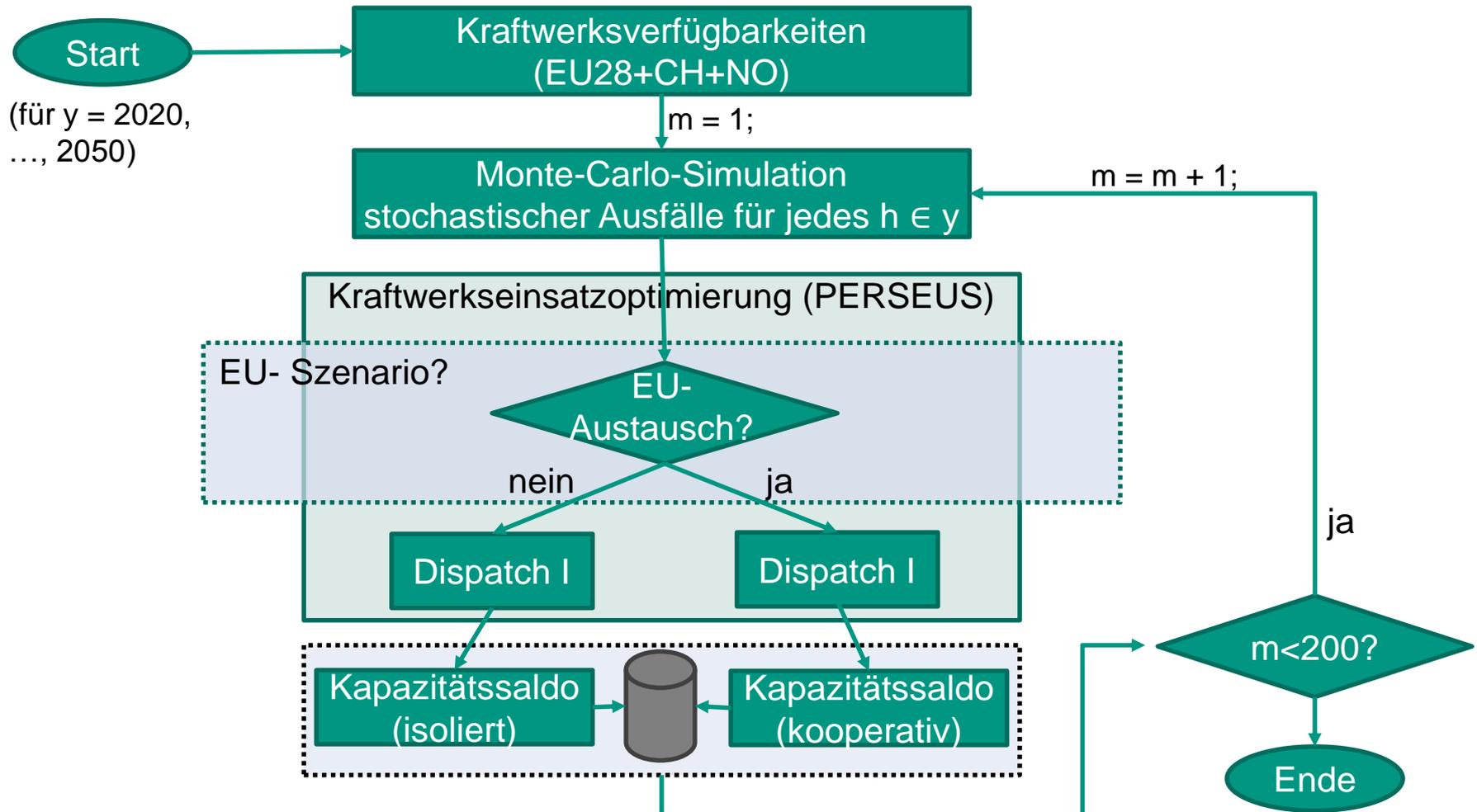
- Hoher Anteil an erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung im Jahr 2050
  - DE: 90% bezogen auf die deutsche Stromnachfrage
  - EU: 85% bezogen auf die länderspezifische Stromnachfrage
  
- Hohe CO<sub>2</sub>-Minderung für den Elektrizitätssektor bis zum Jahr 2050
  - Ziel: 95% bezogen auf 1990 in DE
  - Zielerreichung durch hohe CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreise

➔ Umsetzung in einem Modellkonzept



# Methodik zur Ermittlung des Kraftwerksbedarfs

Ermittlung des Kapazitätsaldos = Verfügbare Leistung - Residualnachfrage

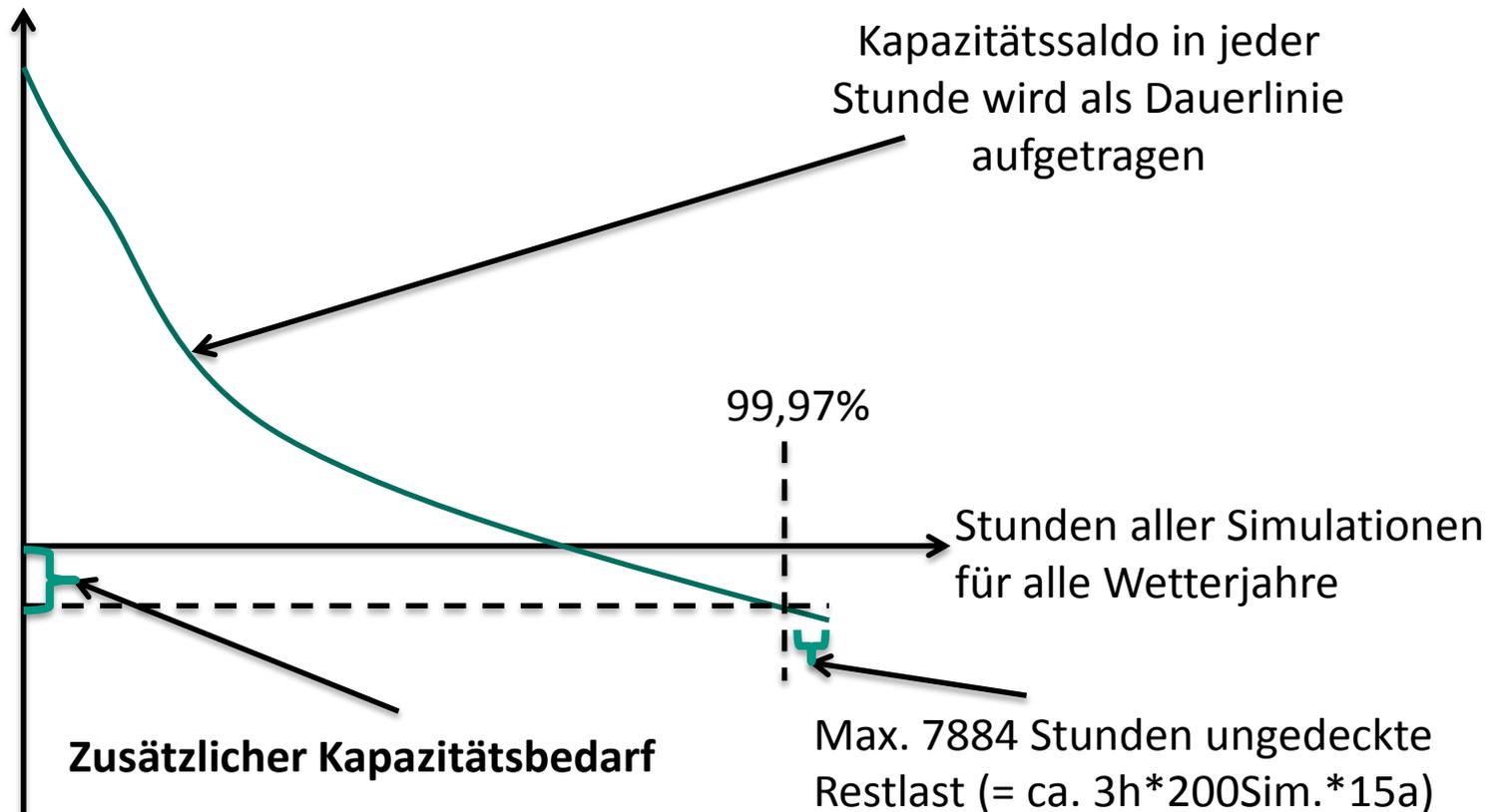


# Methodik zur Ermittlung des Kraftwerksbedarfs

## Zielvorgabe

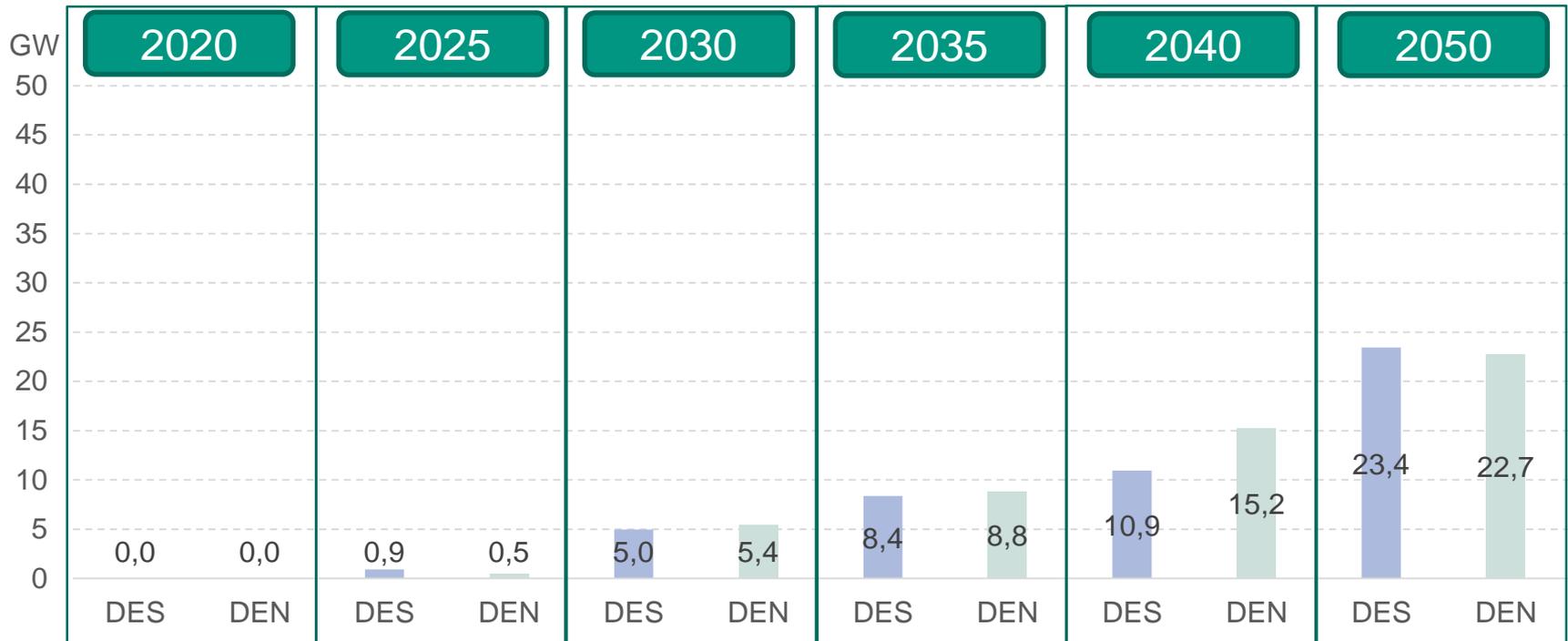
Das Versorgungssystem soll eine politisch/gesellschaftlich akzeptabel Erzeugungssicherheit gewährleisten (z.B. 99,97% ~3h/a).

für  $y = 2020, \dots, 2050$ :



# Kapazitätsbedarf in Deutschland

Kumulierter Zubaubedarf (gesicherte Leistung) in DES und DEN  
mit Importmöglichkeiten - Szenario I: „kooperativ“

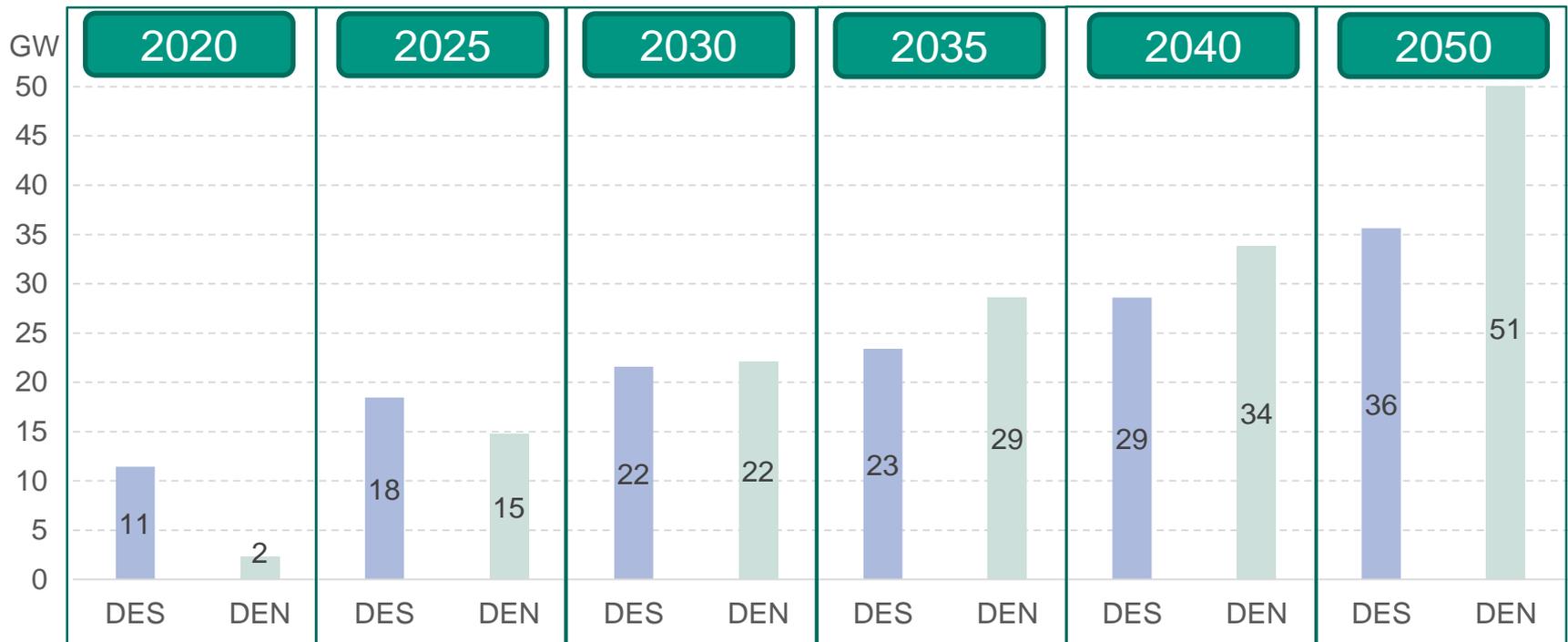


DES: Deutschland Süd    DEN: Deutschland Nord

- Unter Berücksichtigung möglicher Importe aus dem Ausland erheblich geringerer und späterer Investitionsbedarf

# Kapazitätsbedarf in Deutschland

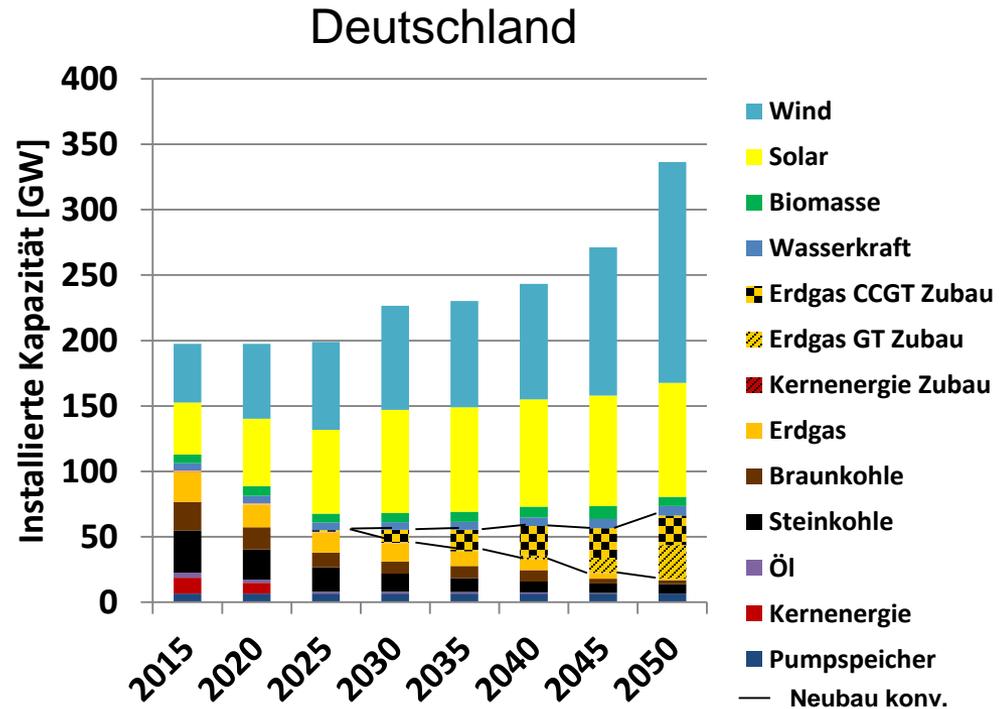
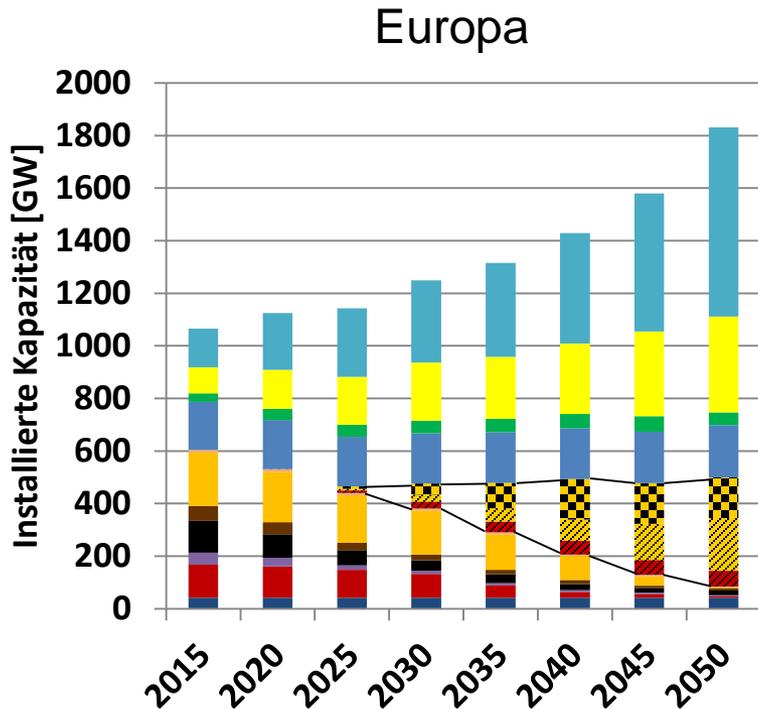
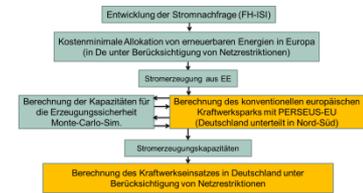
Kumulierter Zubaubedarf (gesicherte Leistung) in DES und DEN  
ohne Importmöglichkeiten - Szenario II: „regionale Autarkie“



DES: Deutschland Süd    DEN: Deutschland Nord

- Ohne Importmöglichkeiten bzw. bei regionaler Autarkie für Deutschland-Süd bis 2020 erheblicher Investitionsbedarf
- Deutschland-Nord benötigt bis 2020 relativ wenig neue Kapazitäten

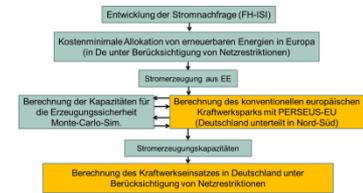
# Erzeugungskapazitäten in Europa und Deutschland - Szenario I: Low-Flex kooperativ



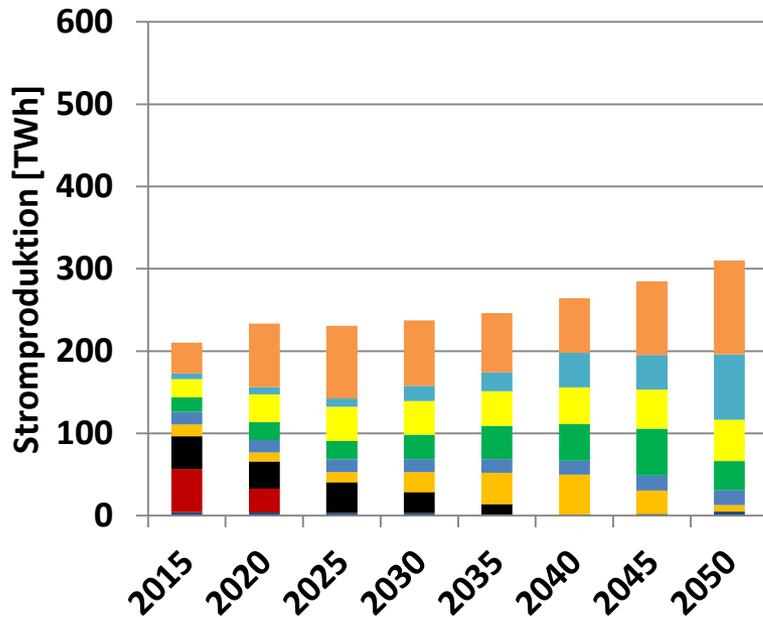
- Bis 2050 vollständiger Umbau des konventionellen Erzeugungssystems der EU
- Langfristig: Gesicherte Leistung von ca. 70 GW in Deutschland erforderlich

# Stromproduktion in Deutschland-Süd/Nord

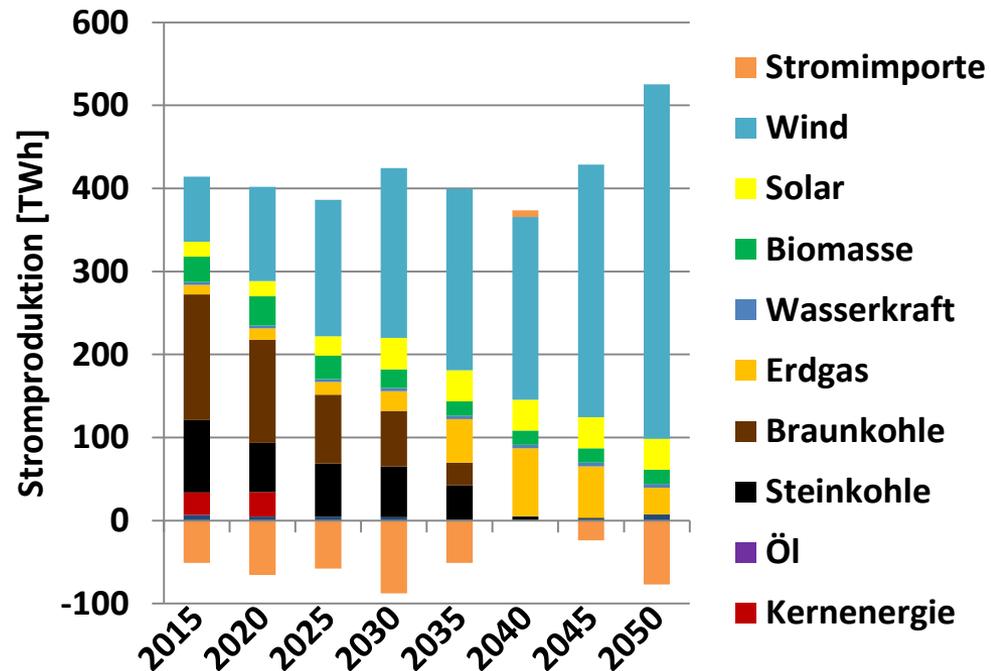
## Szenario I: Low-Flex kooperativ



### Deutschland-Süd



### Deutschland-Nord



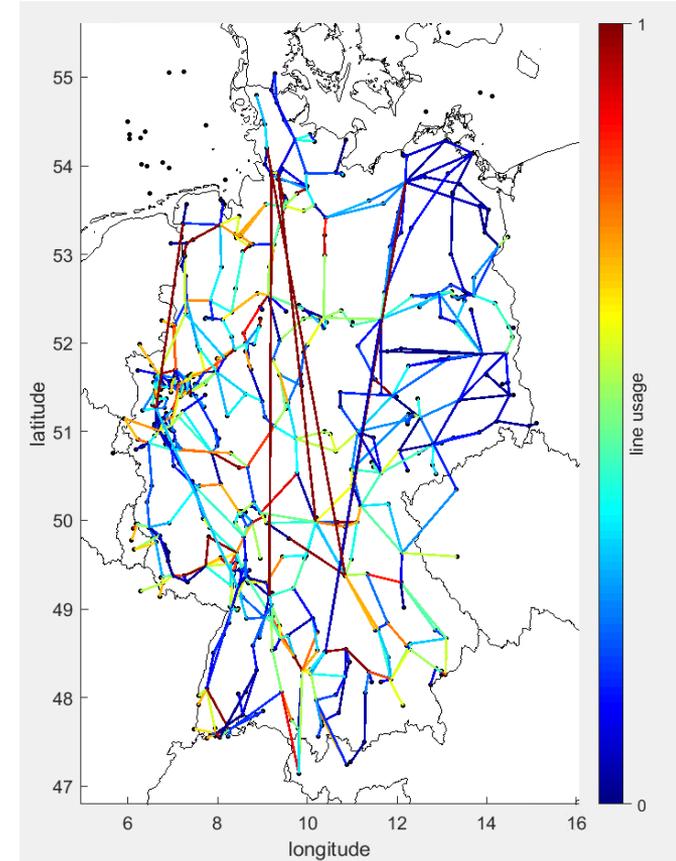
- Starker Anstieg der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien
- Ab 2040 nahezu keine Stromproduktion aus Kohlekraftwerken
- Deutschland-Süd auch langfristig Stromimporteur

# Berechnung des Kraftwerkseinsatzes in Deutschland unter Berücksichtigung von Netzrestriktionen

## Szenario I: Low-Flex kooperativ

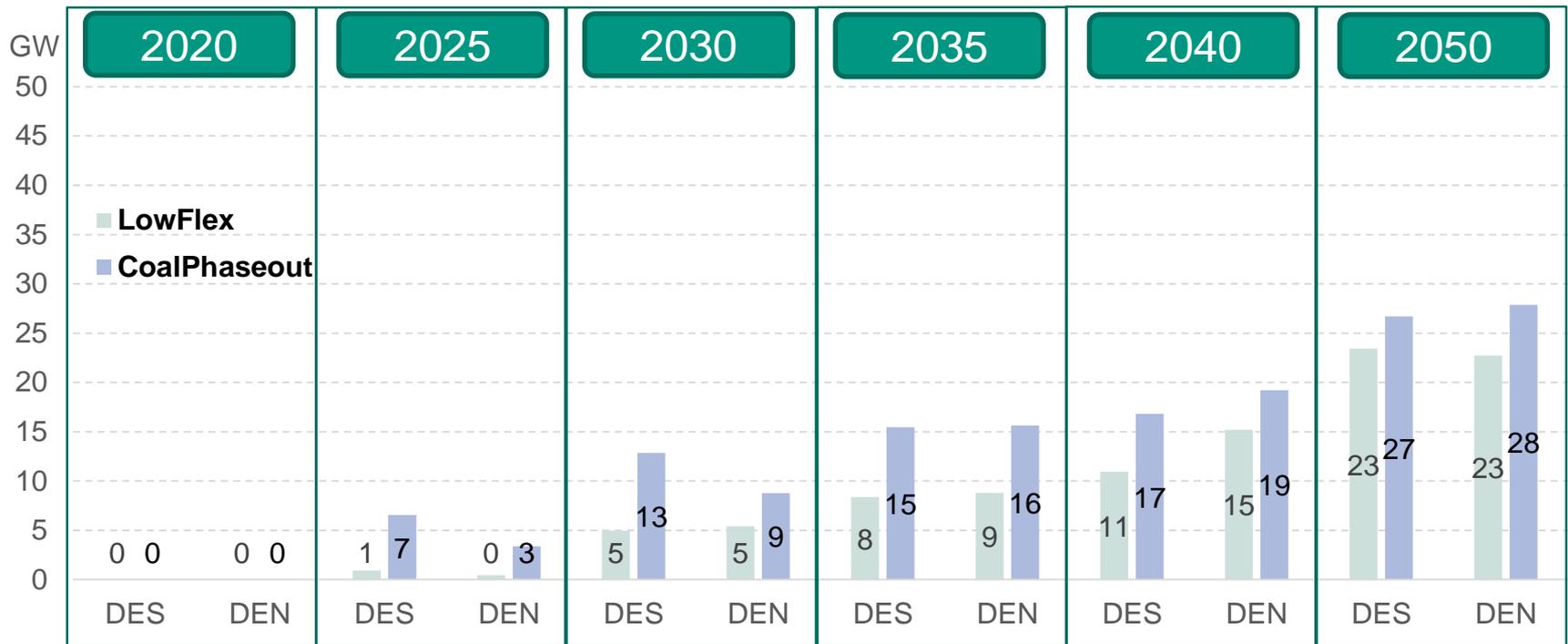


- Unter der Annahme europäischer Integration ist Bedarfsdeckung trotz Transportnetz-Restriktionen bis 2025 gesichert
  - Kein Lastabwurf in 2025 in DE und einmaliger Abwurf von 2205 MW in 2030
  - Geringe Abschaltanforderungen an EE aus Übertragungsnetzsicht bis 2030
  - Hohe Auslastung der HGÜ Korridore
  - Geringe Anzahl an Leitungen im Transportnetz werden zeitlich begrenzt am thermischen Limit betrieben
- Unter NEP 2030 und TYNDP 2016 auch in 2050 stabiler Betrieb des Transportnetzes möglich



Stunde im Jahr 2025 in der die meisten Leitungen am Limit betrieben werden

# Vergleich der Szenarien „kooperativ“ und „CoalPhaseout“



DES: Deutschland Süd    DEN: Deutschland Nord

- Bei Kohleausstieg und verzögertem Netzausbau bereits in 2025 ca. 10 GW Zubaubedarf, insbesondere in Deutschland-Süd

# Schlussfolgerungen

---

- Anstieg der Stromnachfrage durch Sektorenkopplung:
  - aber: bis 2030 leichter Rückgang der Stromnachfrage durch Energieeffizienz
  - danach neue strombasierte Anwendungen erhöhen die Stromnachfrage
- Ergebnisse der Systemanalysen hinsichtlich des Kapazitätsbedarfs zeigen...
  - bei regionaler Autarkie Kapazitätsbedarf von ca. 11 GW, im kooperativen Szenario bis 2025 kein Zubau in DE bis 2025 nötig
  - im Falle Kohleausstieg und eines verzögerten Netzausbaus in 2025 ein Kraftwerksbedarf von ca. 10 GW
  - Erhalt der flexiblen Kapazität (auch langfristig) bei 70 GW nötig
- Versorgungssicherheit auch unter Netzrestriktionen garantiert, falls planmäßiger Ausbau der innerdeutschen Leitungen nach NEP 2030

---

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

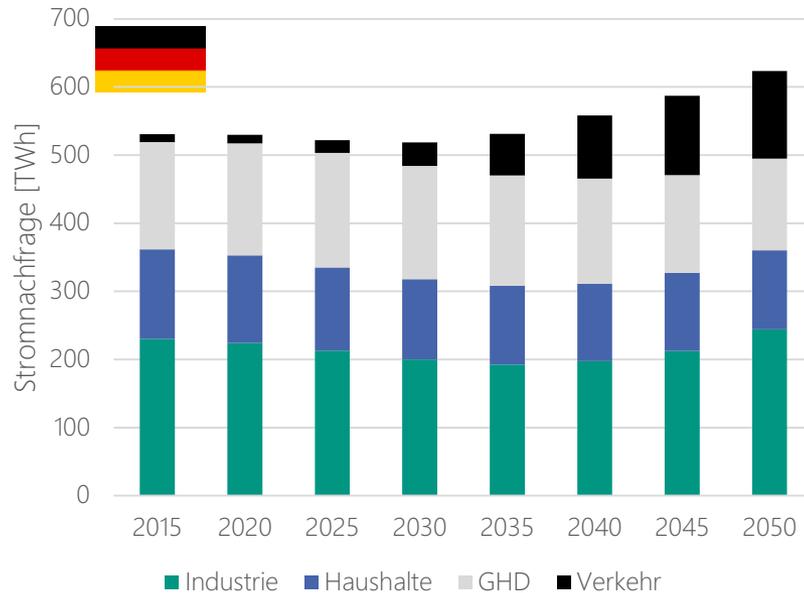
---

---

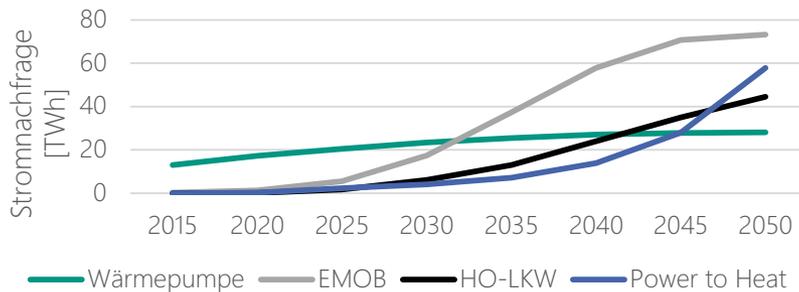
# BACKUP

# Entwicklung der jährlichen Stromnachfrage

- sektorale Entwicklung 2015 bis 2050 in Deutschland



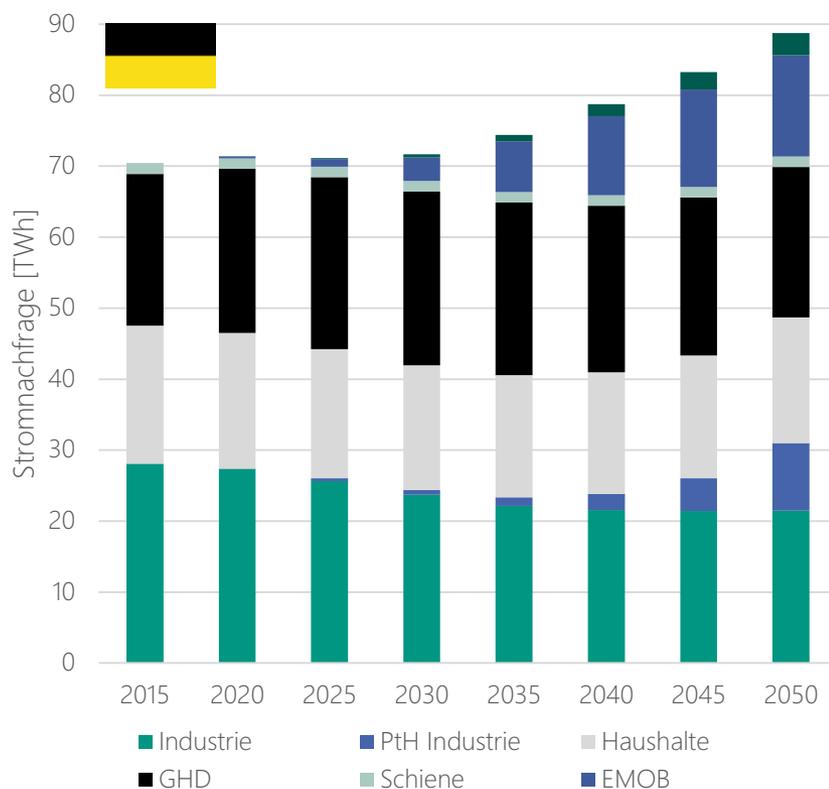
- **Gebäude:** THG-Emissionen -97 %
  - Ambitionierte Sanierungstiefe und -rate
  - Förderung von Wärmepumpen
- **Industrie:** THG-Emissionen -75 %
  - Kein Carbon Capture and Storage
  - Strombasierte Öfen und Dampferzeugung
  - Äußerst ambitionierte Energie- und Materialeffizienz
- **Verkehr:** in 2050 nahezu 100 % Elektromobilität im Personenverkehr



**Bedeutender Einfluss von Sektorkopplungstechnologien und neuen strombasierten Anwendungen ab dem Jahr 2030**

# Entwicklung der jährlichen Stromnachfrage

- sektorale Entwicklung 2015 bis 2050 in Baden-Württemberg



■ In Baden-Württemberg hohes Ambitionsniveau beim Klimaschutz

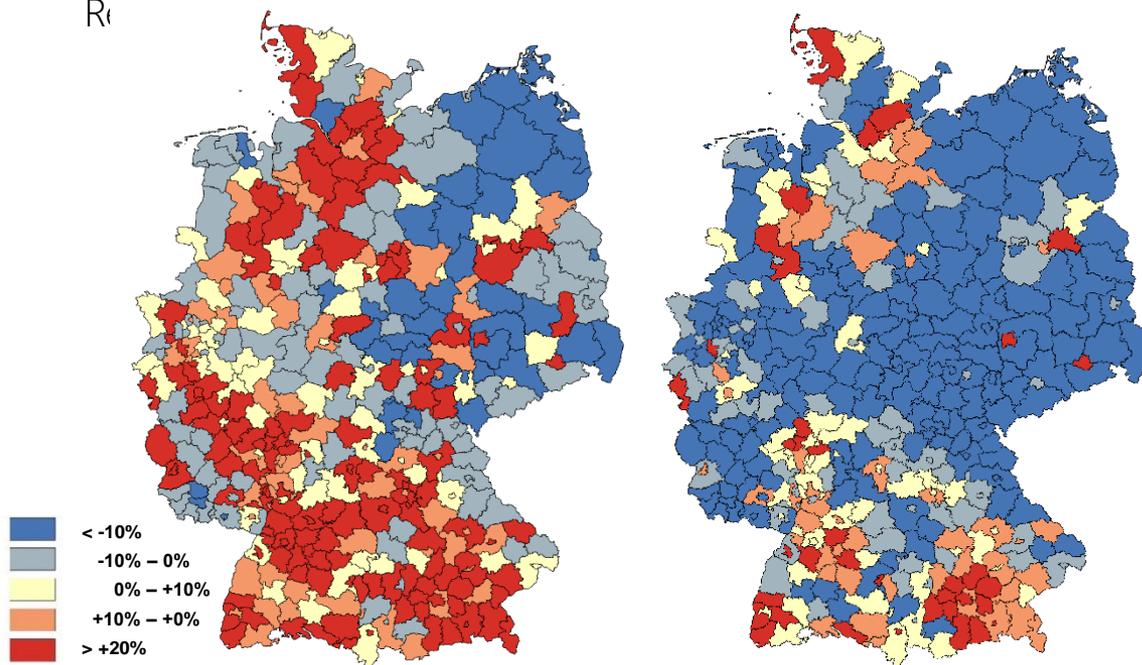
- Bis 2030: Ausschöpfung von Energieeffizienzpotentialen
- Bis 2050: Neue **strombasierte Anwendungen** (Wärmepumpe, Elektromobilität, Power2Heat) führen zu **zusätzlicher Stromnachfrage** (Anteil: 31% in 2050)

- **Industrie:** Nahezu vollständige Dekarbonisierung der energieintensiven Industrien in BW bis 2050
- **Gebäude:** Deckung Wärmebedarf 2050: ca. 50% Wärmepumpen, 25% Gaskessel Ersatz von Erdgas über PtG ab 2030 möglich (Importe wahrscheinlich)

# Entwicklung der jährlichen Stromnachfrage

- Veränderung in den Landkreisen: 2050 vs. 2015

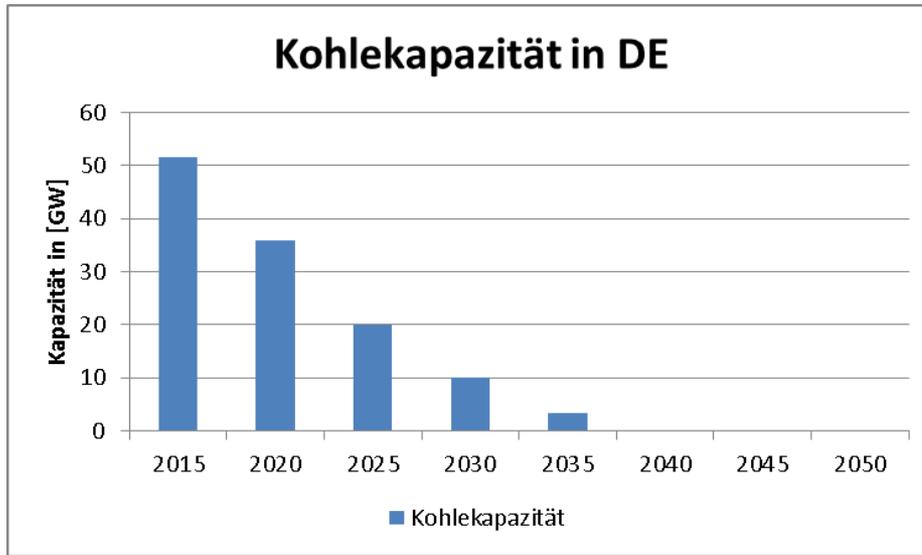
Prozentuale Veränderung der Stromnachfrage in den  
R<sub>i</sub>



Gesamtstromnachfrage

Ohne neue Anwendungen

- Regionale, strukturelle Unterschiede bestimmen Entwicklung der Stromnachfrage
- Bevölkerungswachstum in BW
- ländliche Regionen sind durch hohen Anteil EMOB geprägt
- Städte: Anstieg durch GHD-Anteil
  - stärkeres Wirtschaftswachstum als energieintensive Industrie
- Regionen mit hohem Anteil industrieller Nachfrage:
  - höchste Einsparpotentiale durch Effizienzgewinne und neue Prozesse



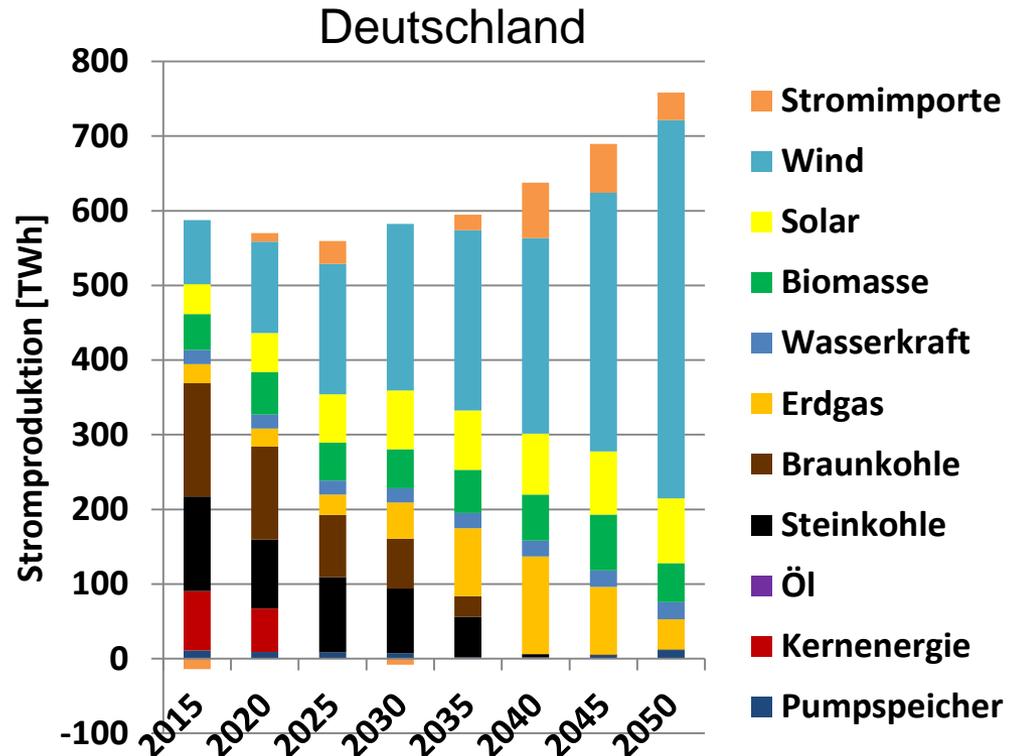
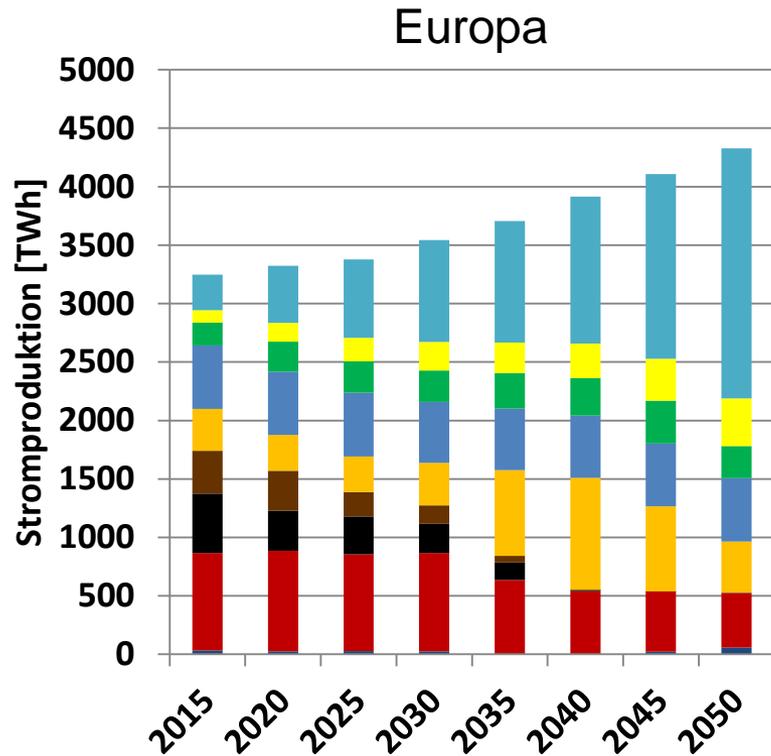
## Lebensdauerannahmen für deutsche Steinkohle:

IBN von	IBN bis	Nutzungsdauer	Retirement
2015	2100	25	2040
2010	2014	25	2035
2005	2009	27	2032
2000	2004	30	2030
1995	1999	33	2028
1990	1994	36	2026
1985	1989	38	2023
1980	1984	40	2020
1975	1979	40	2020

- Für einige EU Länder Kraftwerksscharfe Umsetzung angekündigter Ausstiegsszenario
  - Länder: NL, UK, DK FI, PT, AT, IT, ES
- Für osteuropäische Länder lineare Stilllegung bis zum Jahr 2050
- In Deutschland um 5 Jahre verzögerter Netzausbau

# Stromproduktion in Europa und Deutschland

## Szenario I: Low-Flex kooperativ



- Starker Anstieg der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien
- Ab 2040 nahezu keine Stromproduktion aus Kohlekraftwerken