

# Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045

Detailergebnisse

03.11.2021 | P. MARKEWITZ

p.markewitz@fz-juelich.de

- ▶ ... was haben wir gemacht?
- ▶ ... wie haben wir es gemacht?
  - ▶ ... wie sieht eine treibhausgasneutrale Strategie aus?
  - ▶ ... welche Schlussfolgerungen lassen sich ziehen?

## Treibhausgasneutrales Szenario bis 2045 („Netto Null“)

- Exkurse zu verschiedenen Themenbereichen, z.B.
  - ▶ LULUCF-Emissionssenke
    - ▶ Ausbau Erneuerbarer Energien
    - ▶ Wasserstoffimportpreis
    - ▶ Defossilisierung der chemischen Industrie

## Grundlegende Annahmen und Rahmenbedingungen

- ▶ Treibhausgasminderungsziele ab 2030 entsprechend dem Klimaschutzgesetz (KSG)
- ▶ THG-Emissionen der Landwirtschaft lassen sich nicht vollständig vermeiden
- ▶ Ausstieg aus der Kernenergie und Kohleverstromung entsprechend AtG und KVBG
- ▶ Jährliches BIP-Wachstum von 1,2%, moderat steigende Energiepreise etc.

# Vorgehensweise, Modelle, Methoden

**Kernmodell**



**Integriertes  
Energiesystemmodell  
ETHOS/NESTOR**

**Methode**

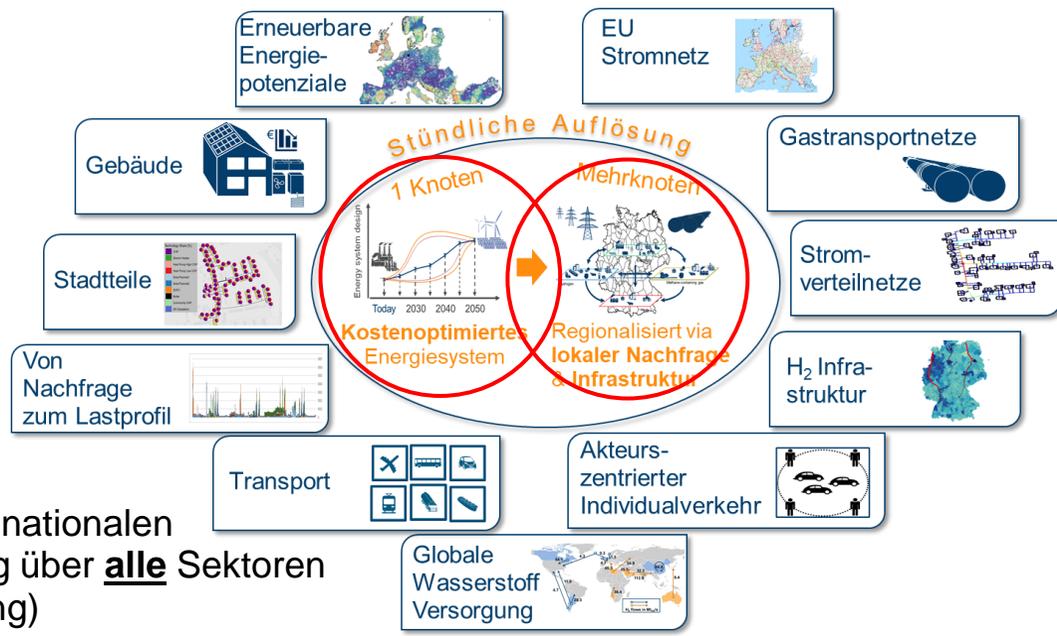


- Optimierung** der nationalen Energieversorgung über **alle** Sektoren (Kostenminimierung)
- Optimierte H<sub>2</sub>-Infrastrukturanalyse**

**Ergebnis**

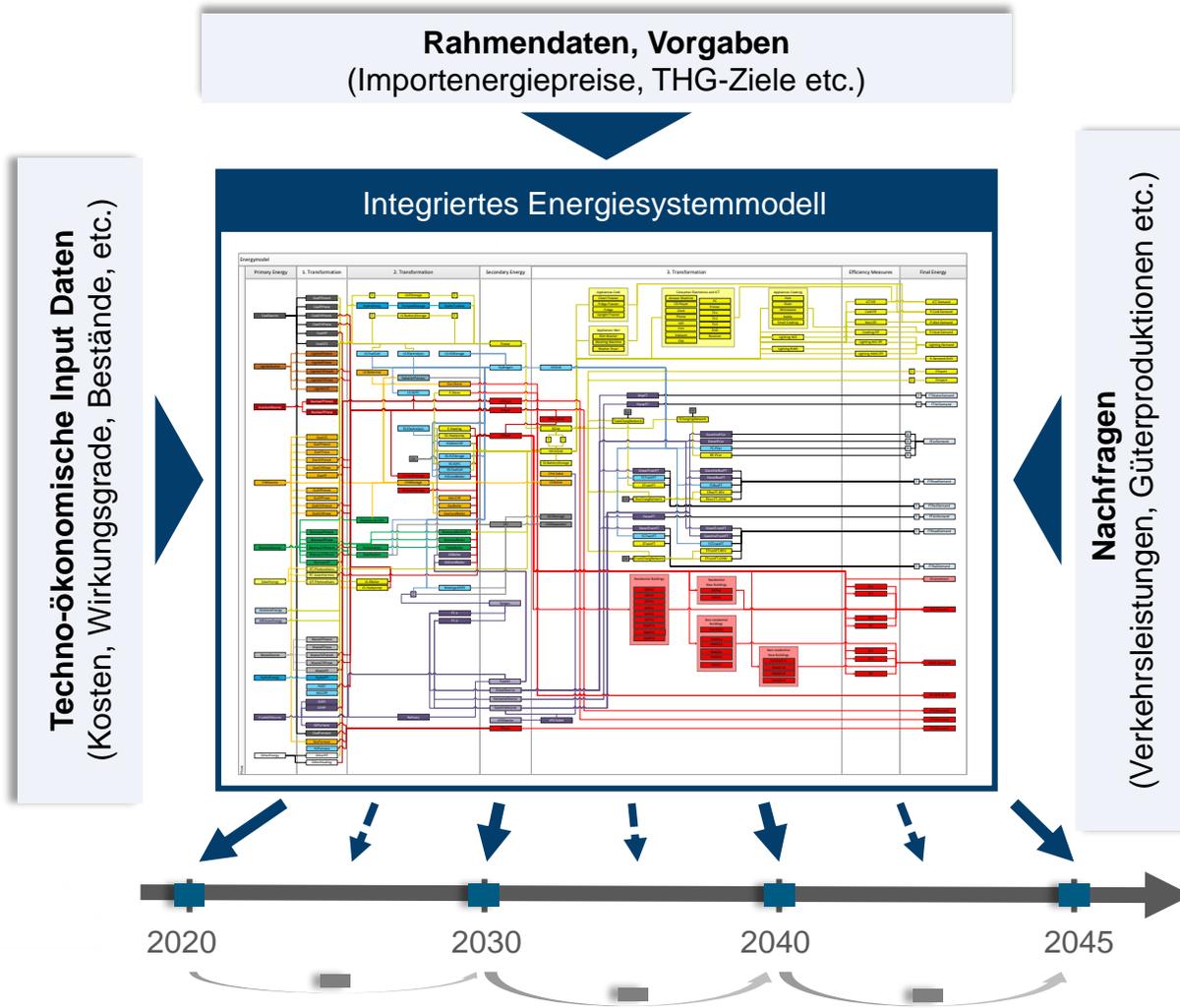


**Kostenoptimales Szenario**  
unter den gesetzten Randbedingungen  
„Allwissender Planer“



NESTOR: National Energy System with Sector Coupling

# Das ETHOS / NESTOR-Modell



## Besonderheiten u. Merkmale

- Nationale Energieversorgung
- Detaillierte Abbildung von:
  - Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude und Verkehr
  - PtX Technologien
  - Energiespeicher
  - CO<sub>2</sub> Abscheidung u. Speicherung
  - ...
- Ca. 1300 Techniken
- Stündliche Auflösung

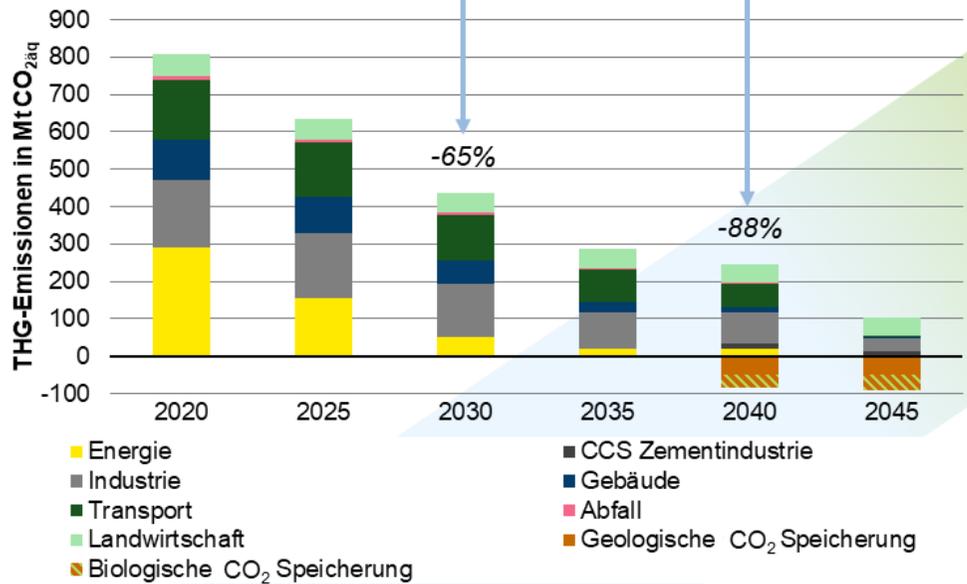
## Methode

### Kostenoptimierung

„Alle Minderungsmaßnahmen stehen miteinander im Wettbewerb“

NESTOR: National Energy System with SectOR Coupling

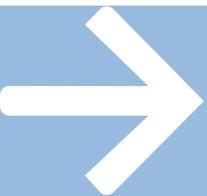
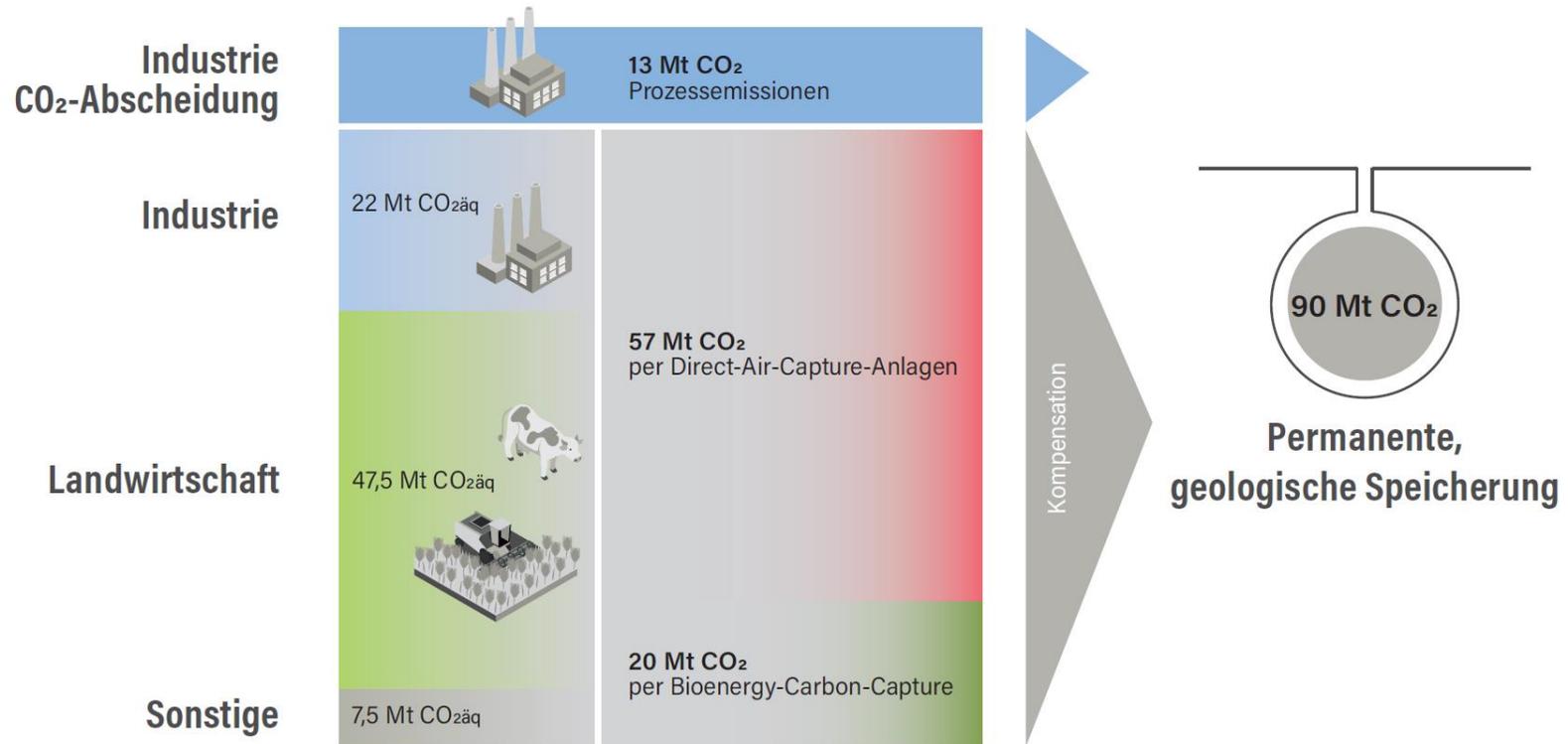
# 01 Treibhausgasneutralität ist nur mit permanenter geologischer CO<sub>2</sub> Speicherung zu erreichen



100  
KSG2045

► Kohlendioxidspeichergesetz (KSpG) anpassen

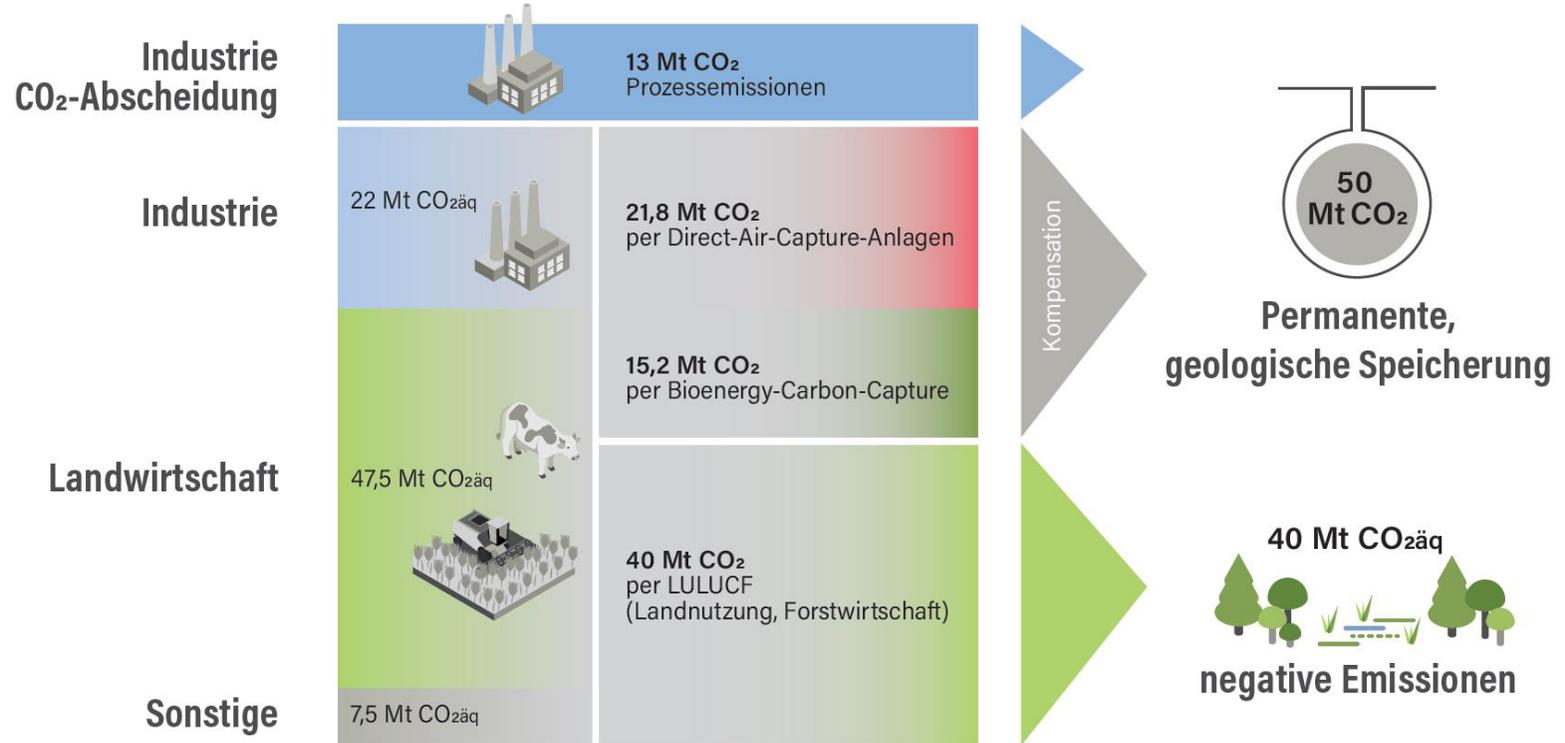
# 01 Jährlicher geologischer CO<sub>2</sub> Speicherbedarf ohne LULUCF Maßnahmen im Jahr 2045



▶ Jährliche geologische CO<sub>2</sub> Speicherung von ca. 90 Mio.t im Jahr 2045

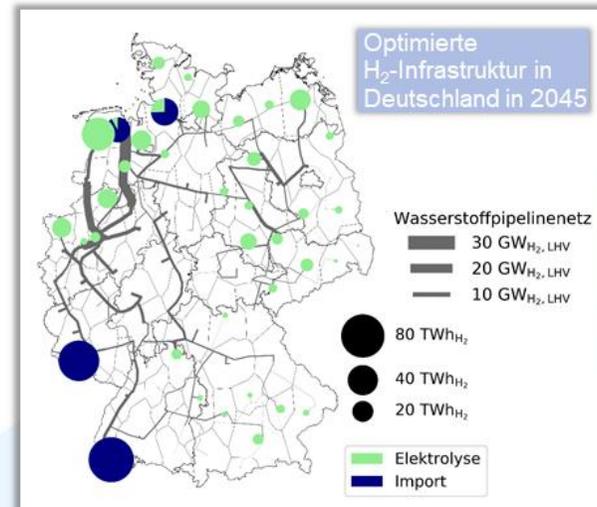
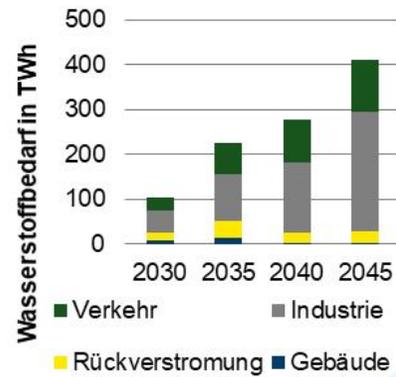
LULUCF: Land use, Land-use change and Forestry (Landnutzung, Forstwirtschaft etc.)

# 01 Jährlicher geologischer CO<sub>2</sub> Speicherbedarf mit LULUCF Maßnahmen im Jahr 2045



➤ Selbst mit LULUCF-Maßnahmen ist eine geologische CO<sub>2</sub> Speicherung notwendig: 50 Mio. t/a  
 ➤ Kohlendioxidspeichergesetz (KSpG) anpassen

## 02 Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein für das Gelingen der Energiewende

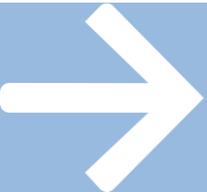
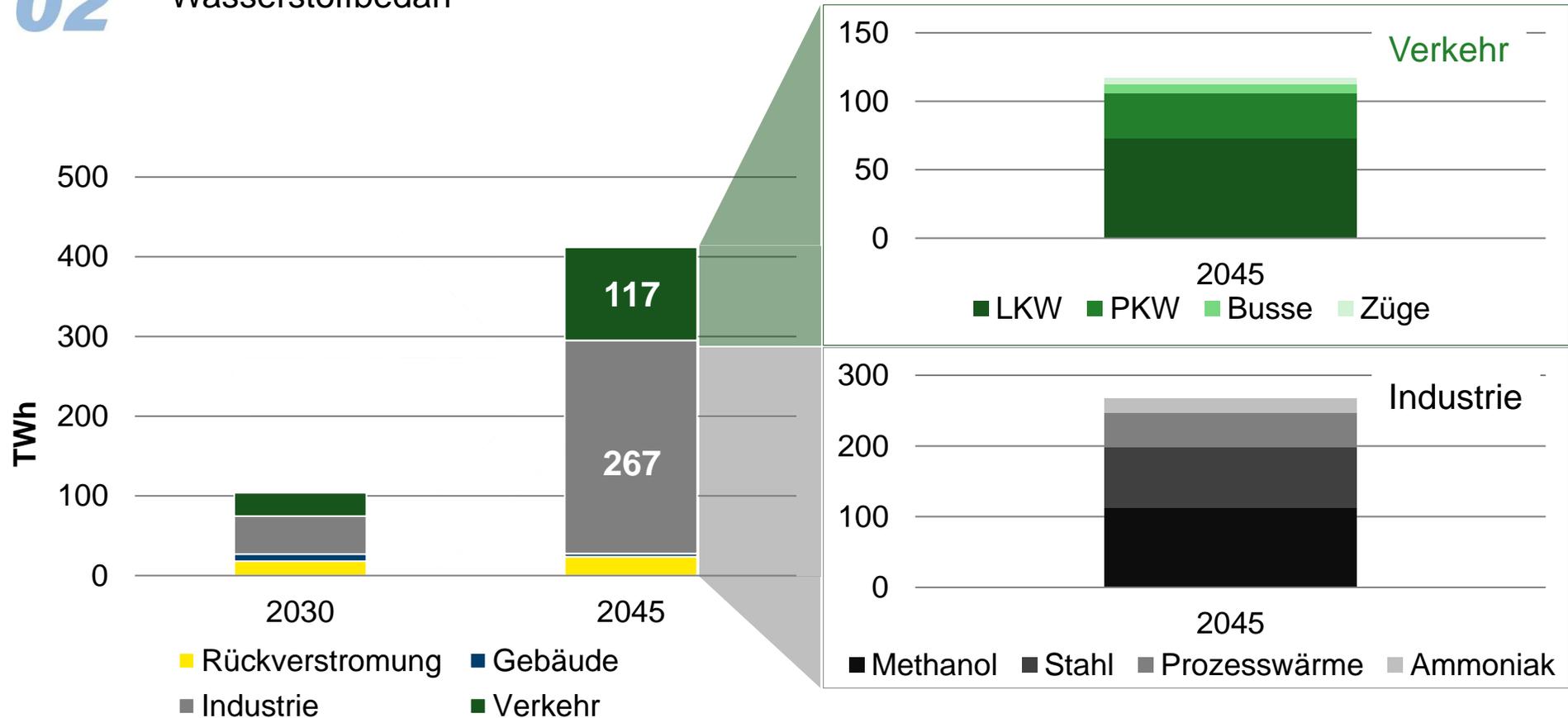


100  
KSG2045

► Salzkavernen und Pipelines zeitnah ausbauen

# 02

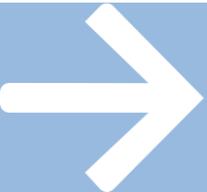
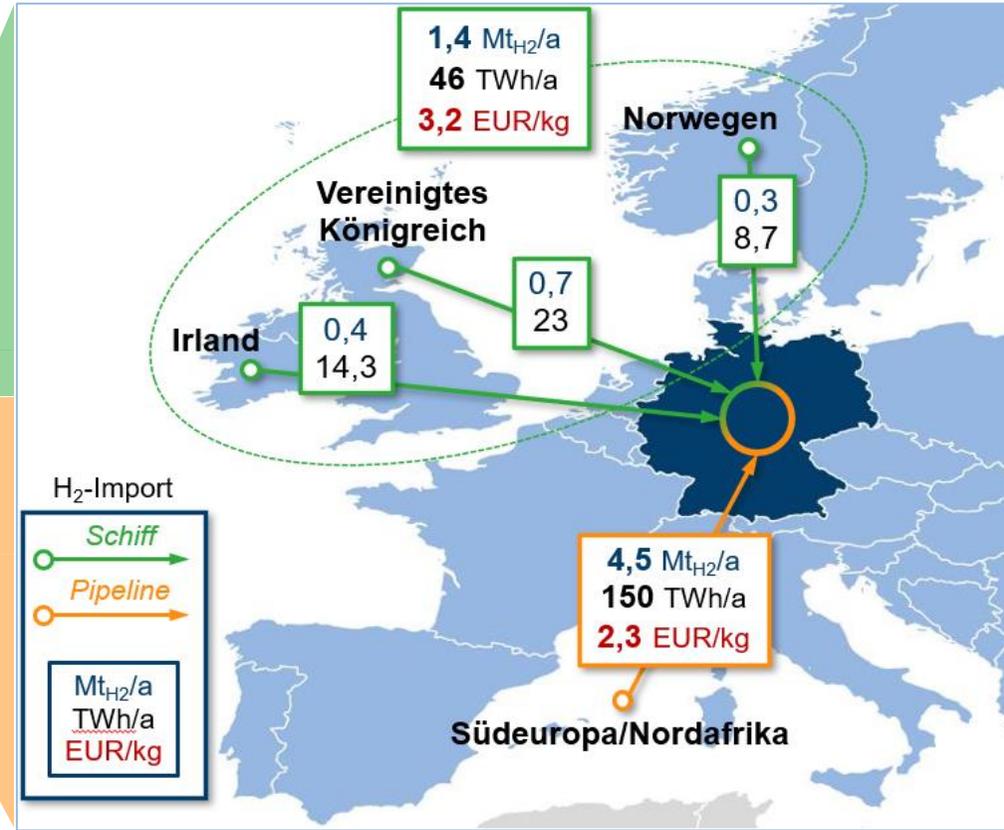
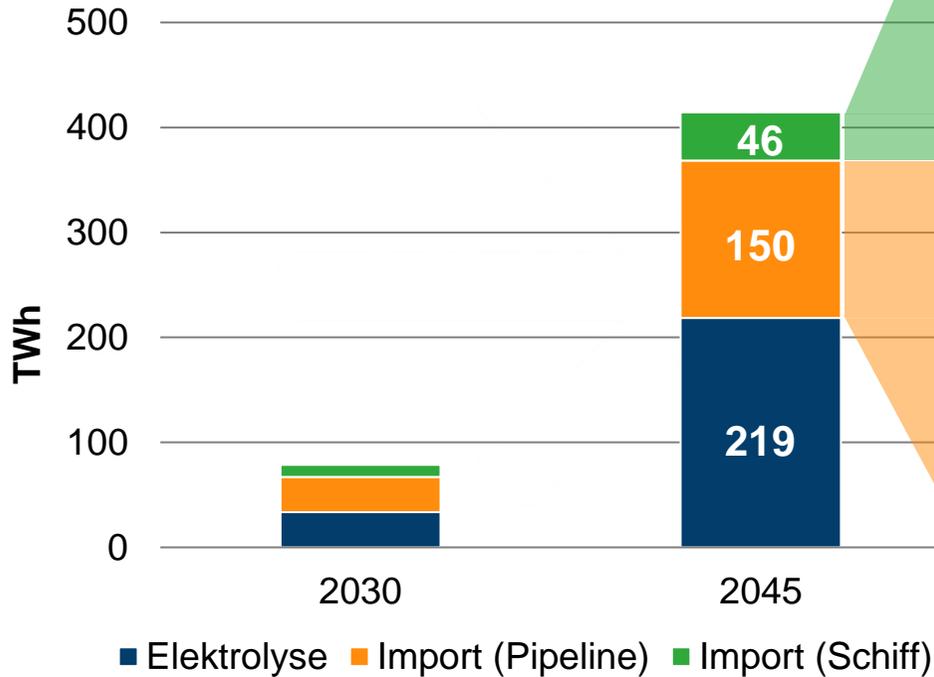
## Wasserstoffbedarf



- ▶ Etwa 70% des zukünftigen Wasserstoffbedarfs entfällt auf die Industrie
- ▶ Wasserstoffeinsatz in Gebäuden spielt nur eine geringe Rolle

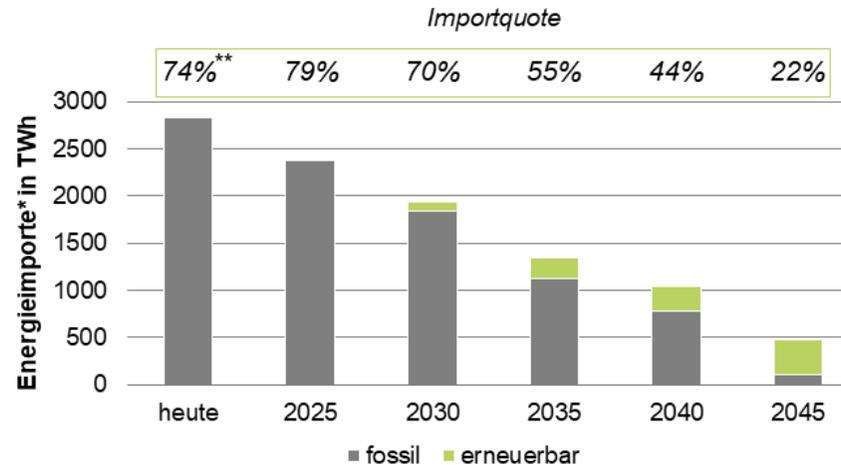
# 02

## Wasserstoffaufkommen im Jahr 2045



- ▶ Wasserstoffimporte sind notwendig
- ▶ Inländische Wasserstoffproduktion ist ebenfalls ökonomisch darstellbar

### 03 Treibhausgasneutralität bewirkt einen Rückgang der Energieimportabhängigkeit



\* inkl. nicht-energetischer Bedarf

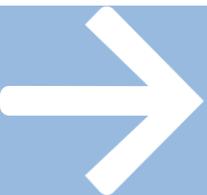
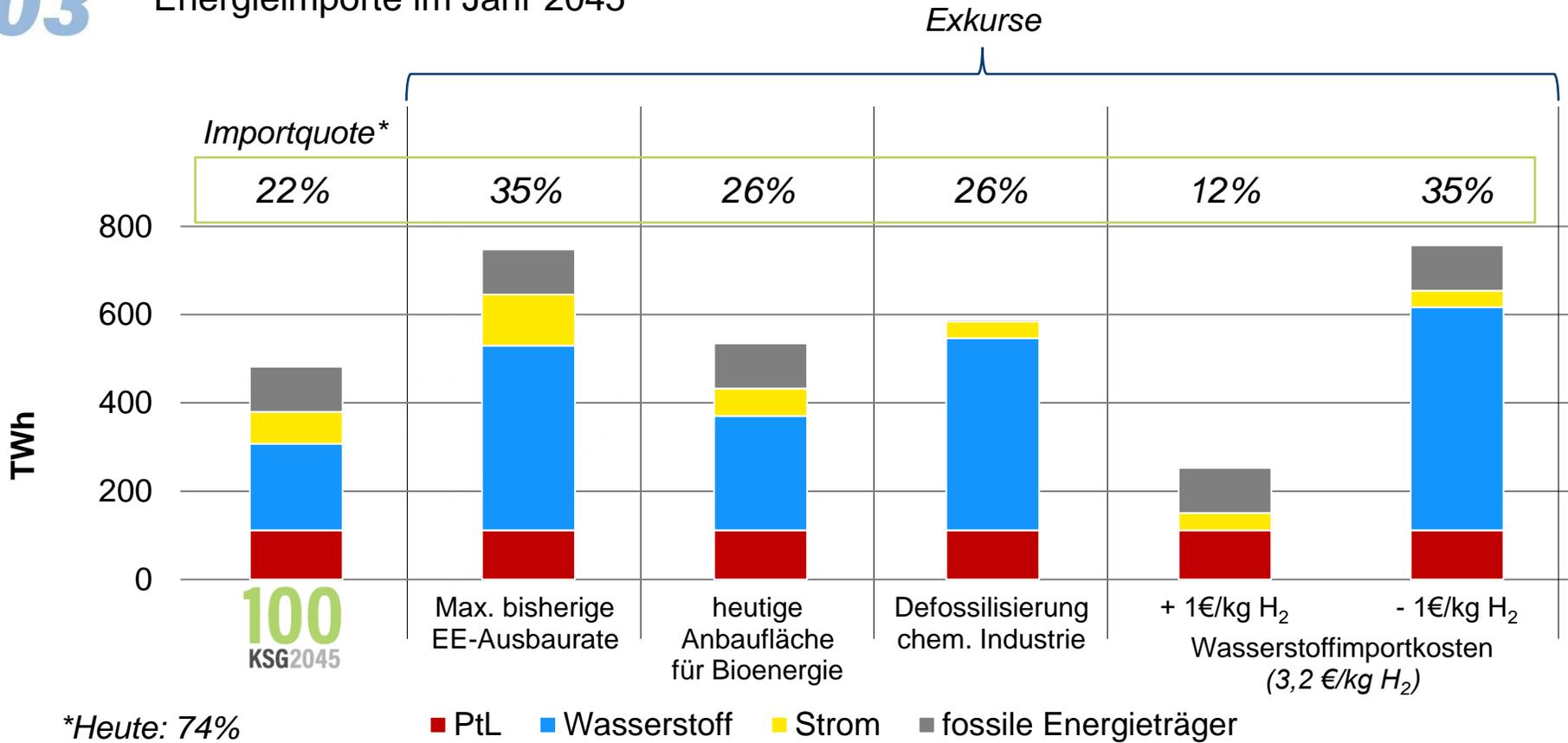
\*\* AGEB: Bilanz 2019, <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2016.html>

100  
KSG2045

► Größere Unabhängigkeit von Energiepreissrisiken

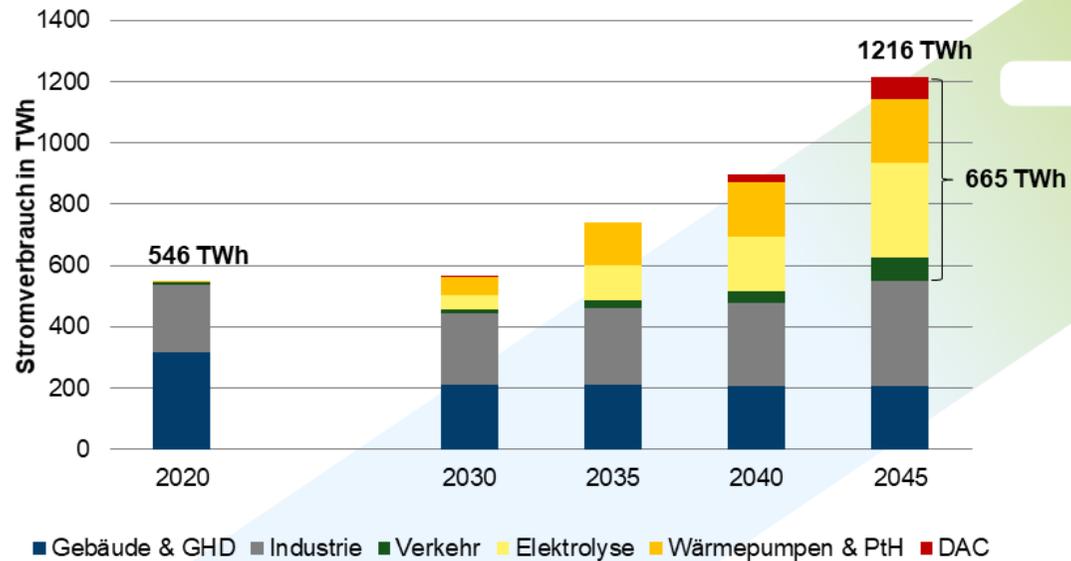
# 03

## Energieimporte im Jahr 2045



▶ Maximal rund ein Drittel des Energieaufkommens muss im Jahr 2045 importiert werden

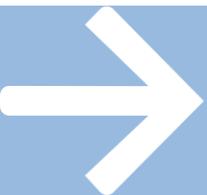
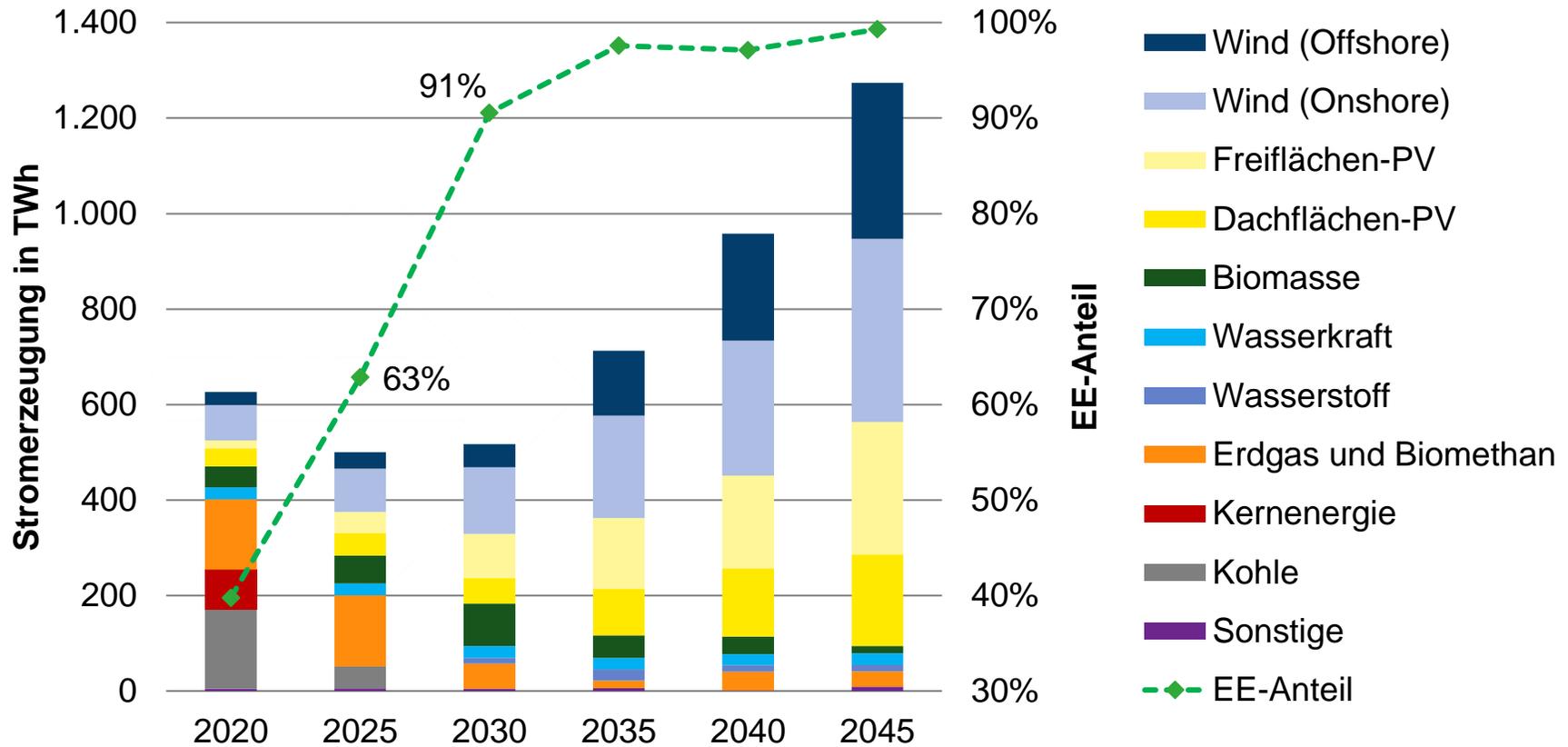
## 04 Sektorkopplung bedingt doppelten Stromverbrauch in Deutschland



► Effizienzmaßnahmen: kosteneffizient & verhindern stärkeren Stromverbrauch

# 04

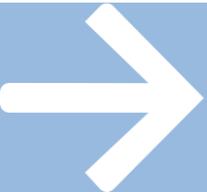
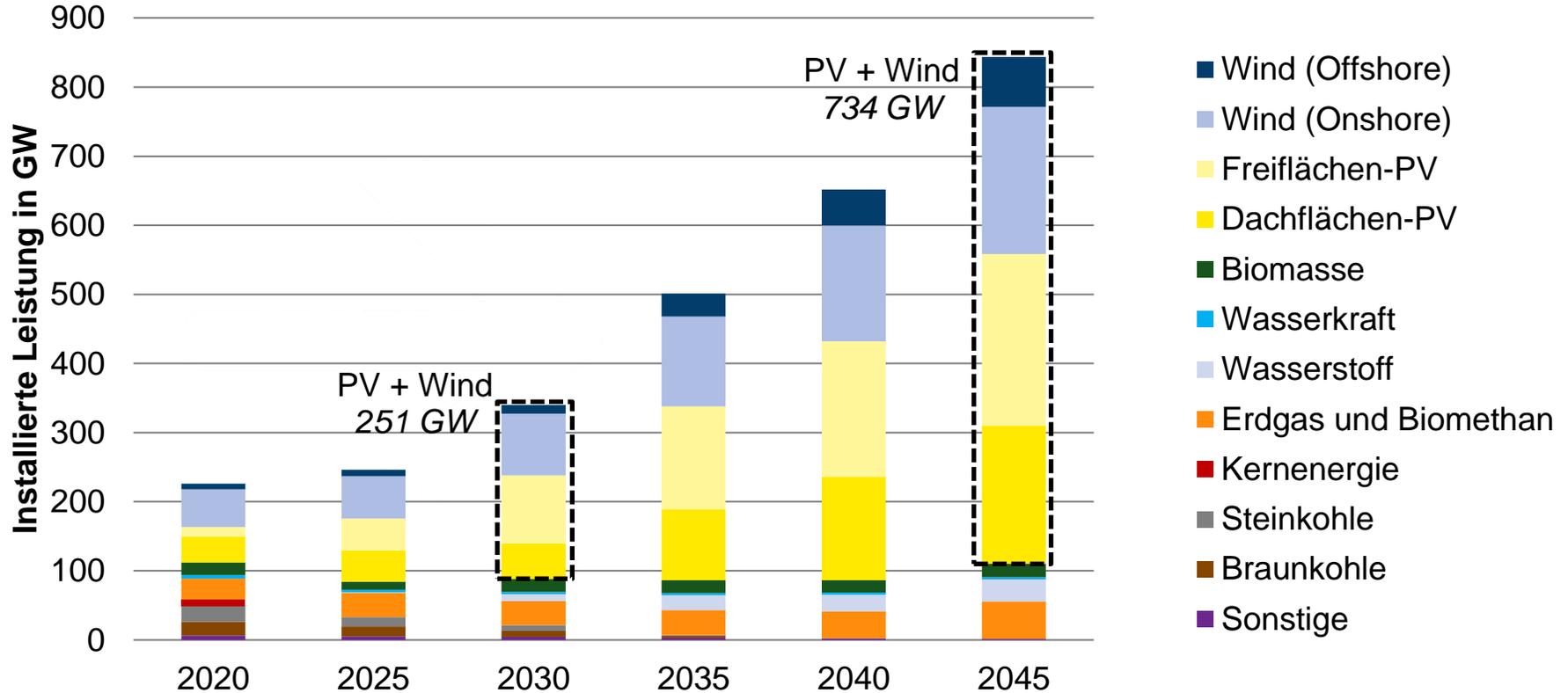
## Stromerzeugung



- ▶ Ausschöpfen der Stromeffizienzpotenziale bedeutet geringere Erzeugung
- ▶ Anteil Erneuerbarer forciert steigern (2025: 63%)

# 04

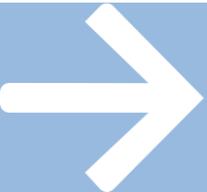
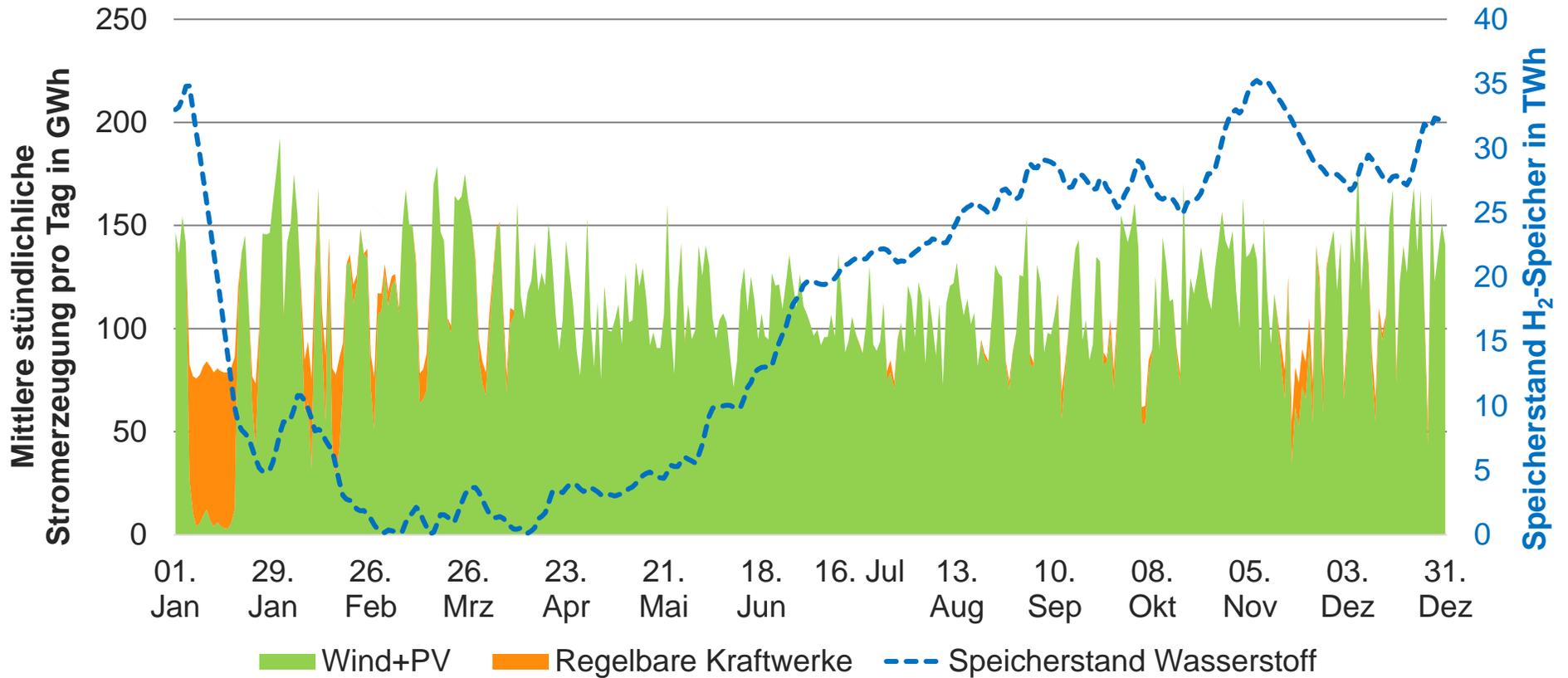
## Installierte Erzeugungskapazität



- ▶ Verdopplung der heutigen Windkraft- und PV-Kapazität bis 2030
- ▶ Anteil PV (Freifläche und Dachfläche) im Jahr 2045: 53%

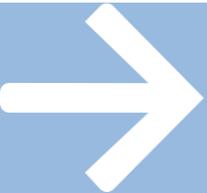
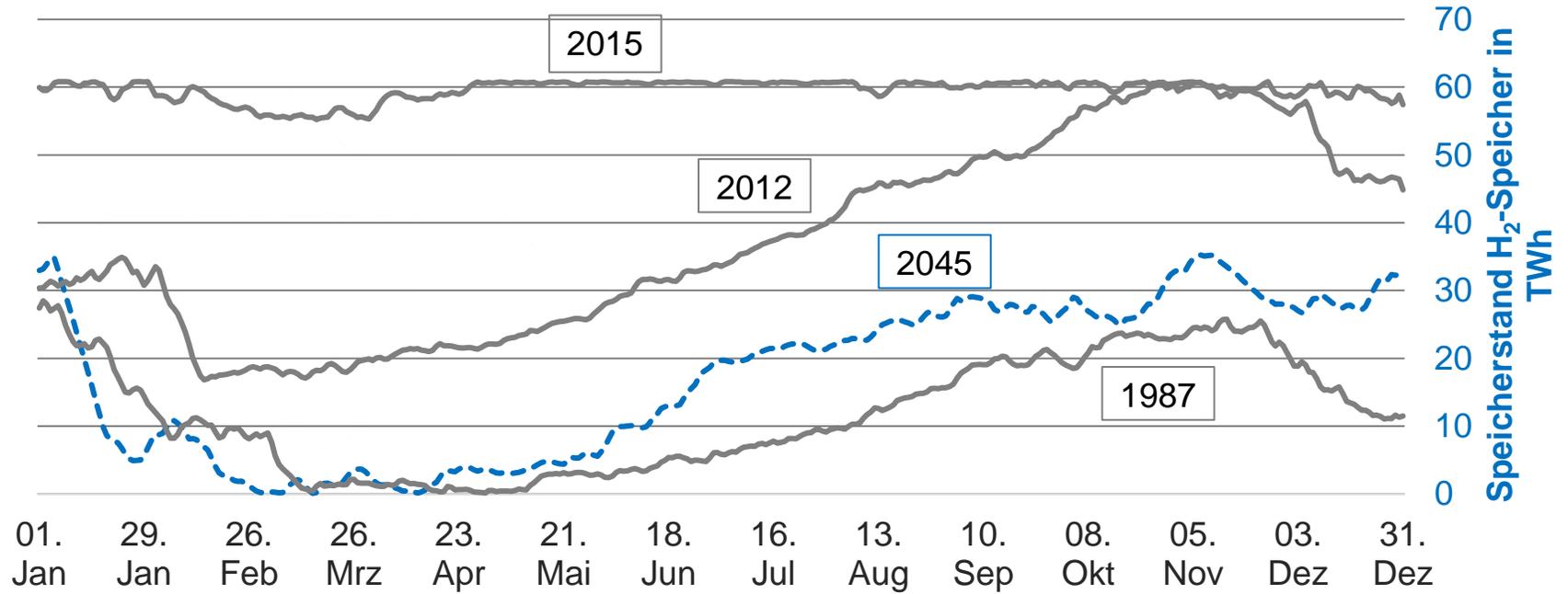
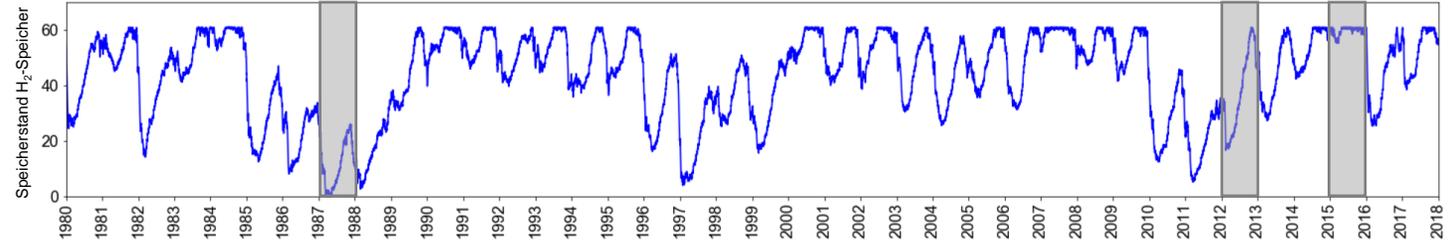
# 04

## Langzeitspeicherung im Jahr 2045



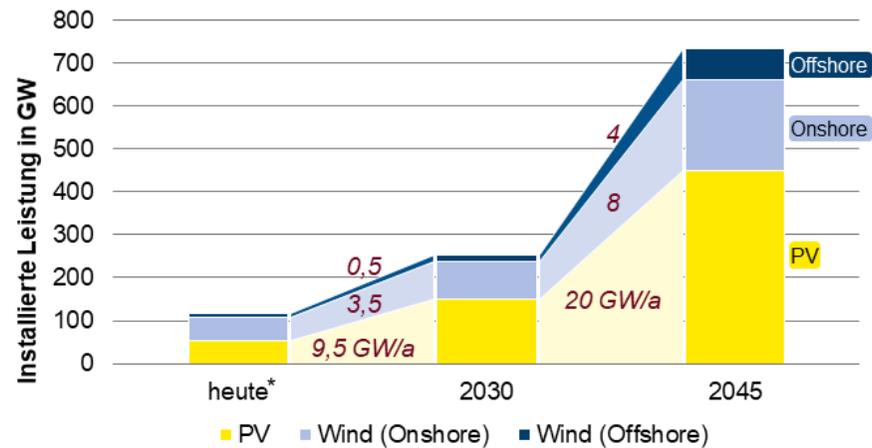
▶ Wasserstoffspeicher sind notwendig zur Überbrückung von Dunkelflauten

# 04 Langzeitspeicher ausgelegt über 37 Wetterjahre



- ▶ Auslegung der H<sub>2</sub>-Speicher über 4 Dekaden: maximal 61 TWh Speicherkapazität notwendig
- ▶ Speicherkapazität (saline Speicher) ist vorhanden

# 05 Das Tempo für den Ausbau der Erneuerbaren muss forciert werden



\* <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/start.html>

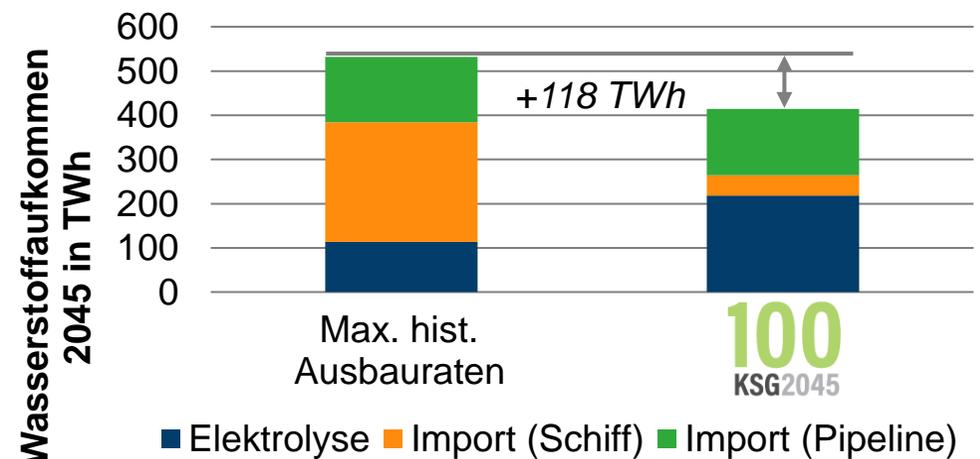
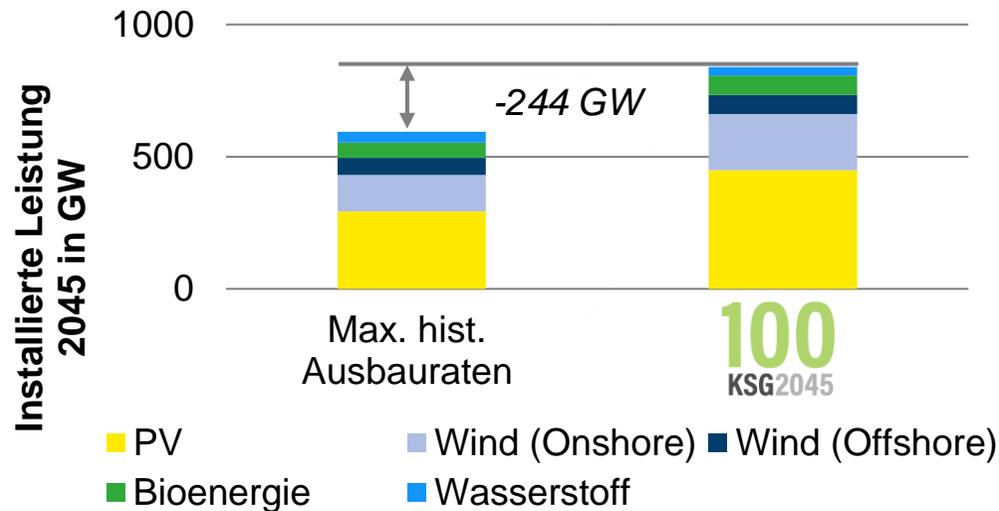
100  
KSG2045

► Genehmigungs- und Planungsverfahren verkürzen und vereinfachen

# 05

## Exkurs Ausbauraten von Wind und PV

in GW/a	Maximale Ausbauraten der letzten 10 Jahre <sup>[1]</sup>	Benötigte Ausbauraten in den nächsten 25 Jahren
Wind-Onshore	4,9	6,3
Wind-Offshore	2,3	2,6
PV	9,0	15,8

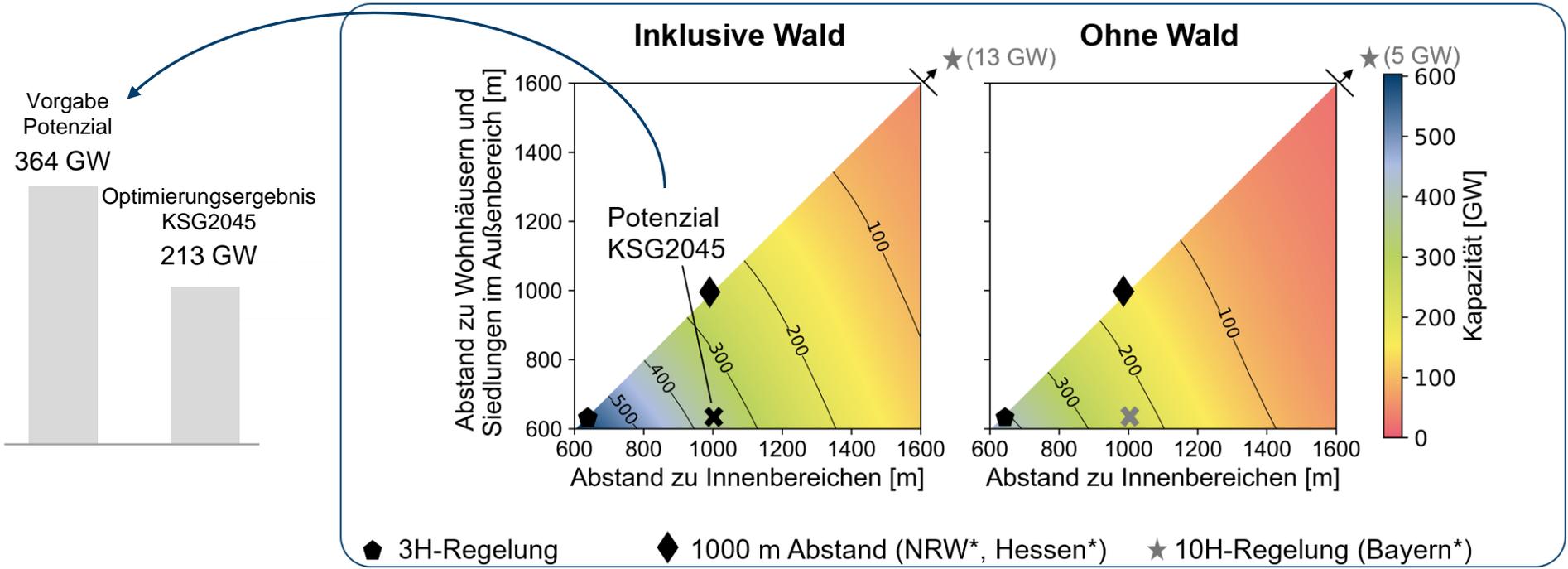


▶ Werden die Ausbauraten nicht erreicht, führt dies zu höheren Energieimporten

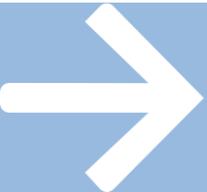
[1] BMWi Informationsportal Erneuerbare Energien. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Home/home.html>

# 05

## Potenzialanalyse Windkraft-Onshore

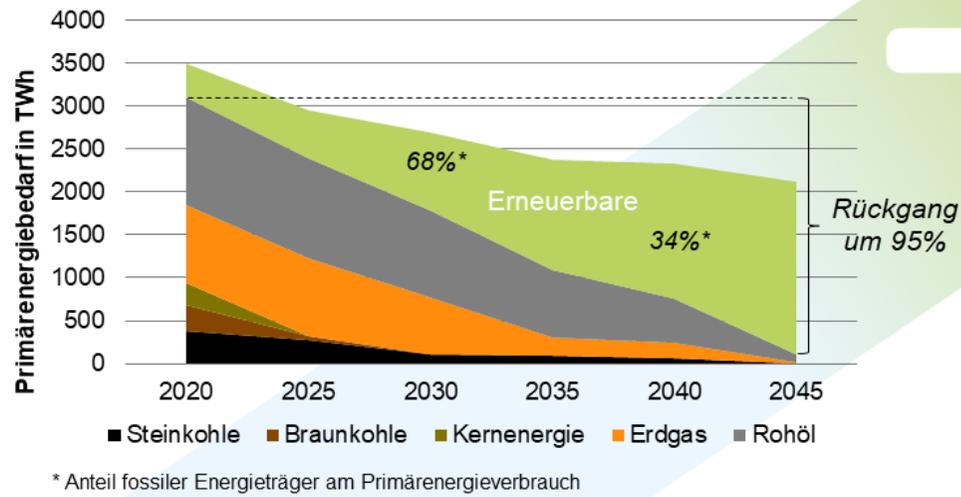


\* Extremfall, in dem alle Wohngebäude in Außenbereichen durch eine Außenbereichssatzung geschützt wären



- ▶ Das analysierte Potenzial für Wind-Onshore (364 GW) wird nur zu 59% ausgeschöpft
- ▶ Selbst unter Ausschluss der Waldflächen wäre genug Windenergiepotenzial vorhanden

## 06 Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger in den nächsten beiden Dekaden

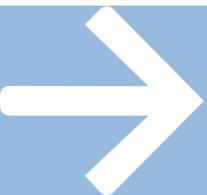
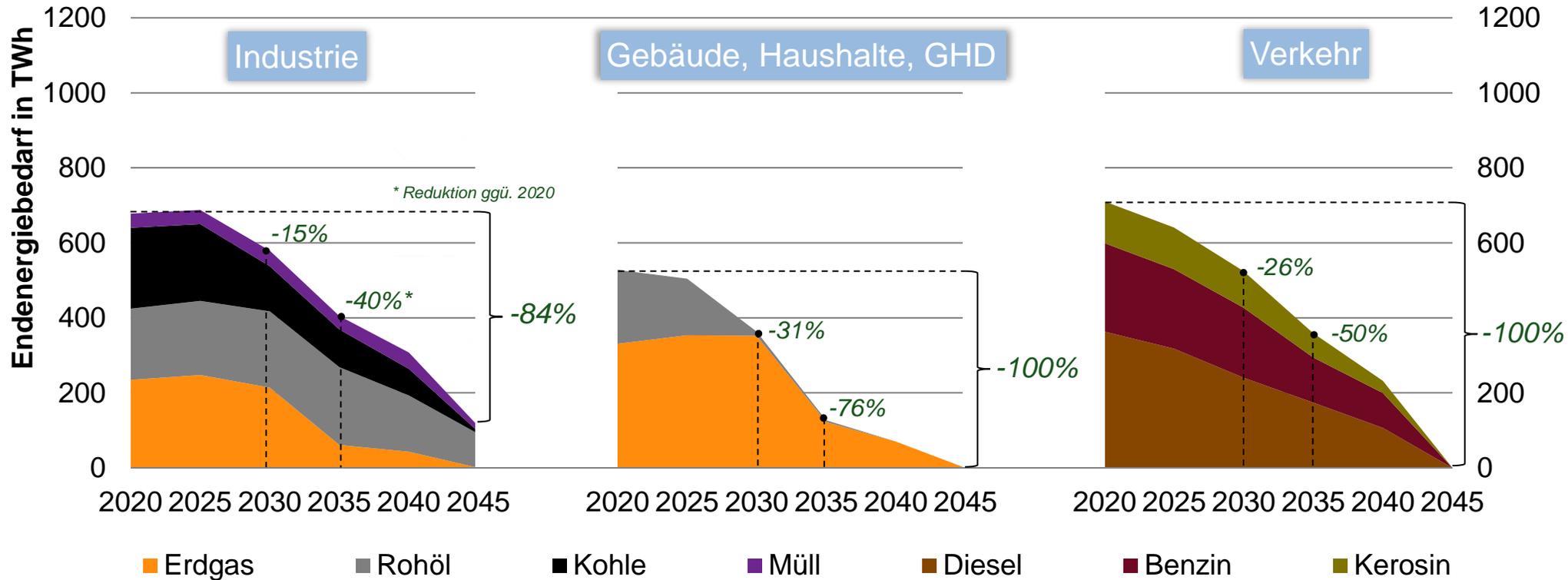


100  
KSG2045

► Nur Investitionen in erneuerbare Technologien sind zielführend

# 06

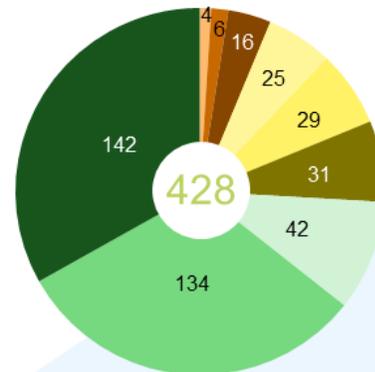
## Verbrauch fossiler Energieträger in den Sektoren



- ▶ Keine neuen erdgasbasierten Heizungssysteme ab 2025-2030
- ▶ Keine neuen Benzin- und Dieselfahrzeuge ab 2035

# 07 Bioenergie: ein Schlüssel zum Erreichen der Treibhausgasneutralität

Bioenergieaufkommen in 2045 in TWh



- Rapsöl
- Industriorestholz
- Stroh
- Maissilage
- Wald- und Waldrestholz
- Bioabfall
- Gülle
- Aitholz
- Kurzumtriebsplantagen

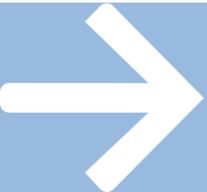
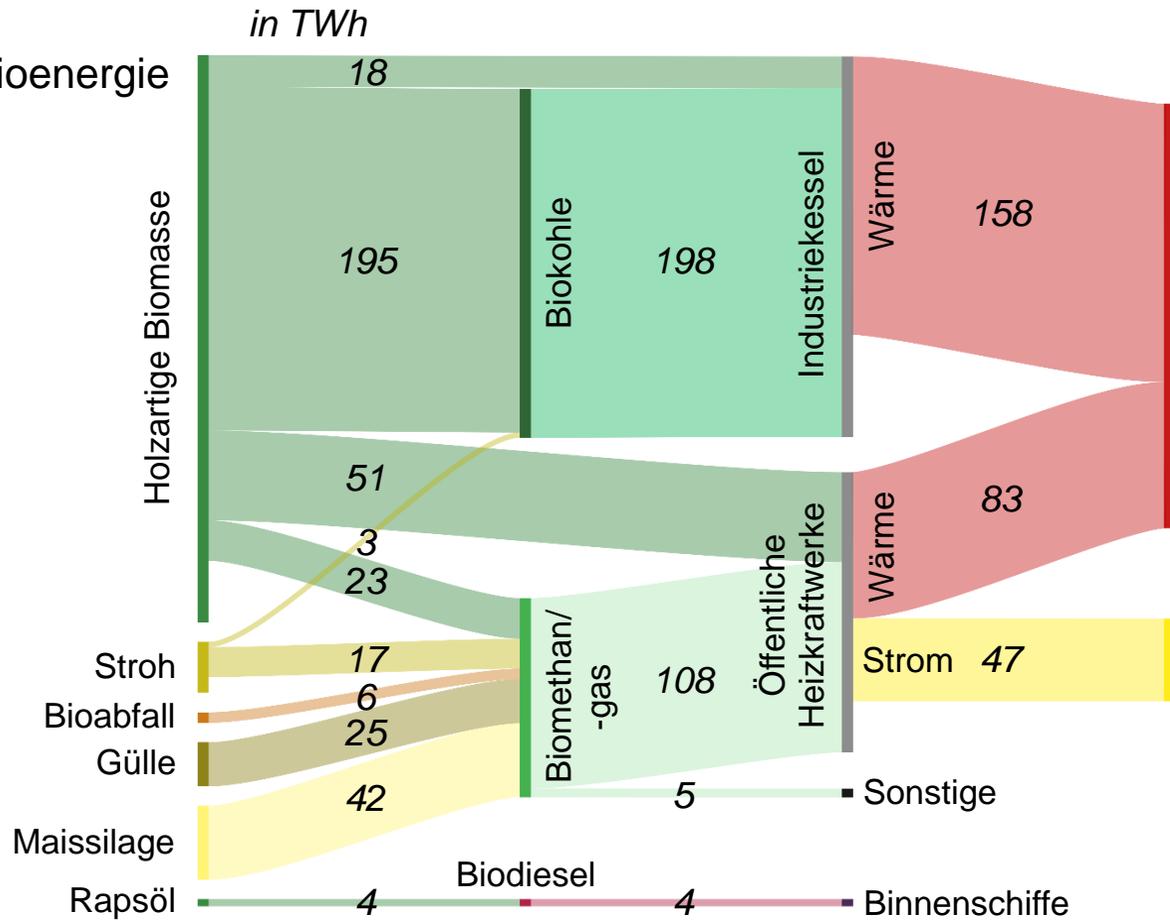
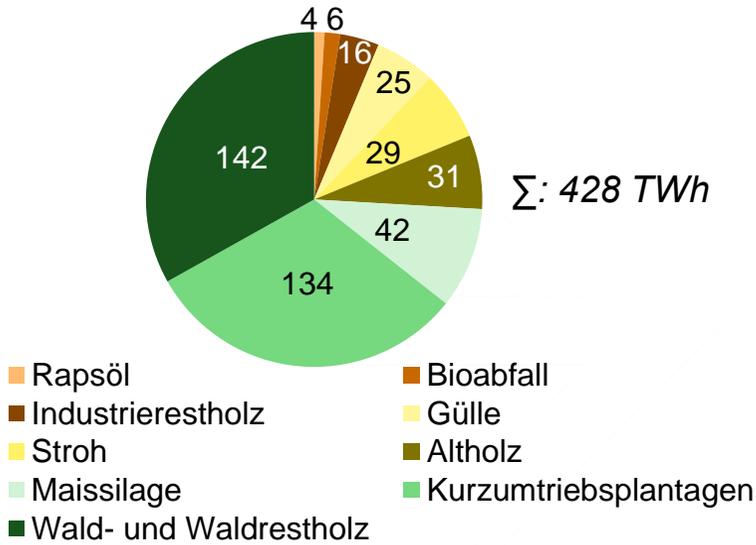
► Zusätzliche Flächen für Kurzumtriebsplantagen

100  
KSG2045

# 07

## Aufkommen und Nutzung von Bioenergie

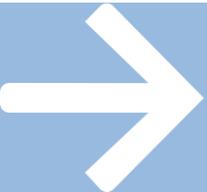
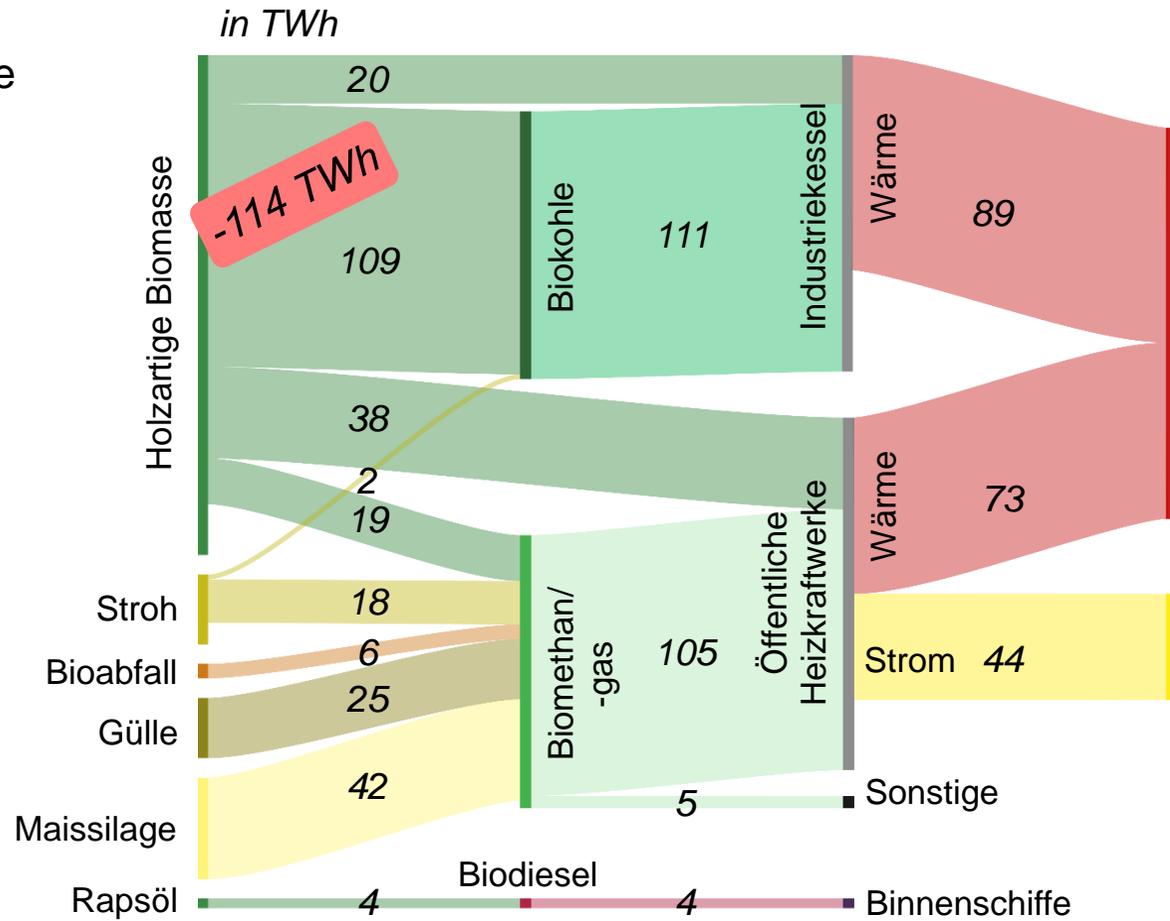
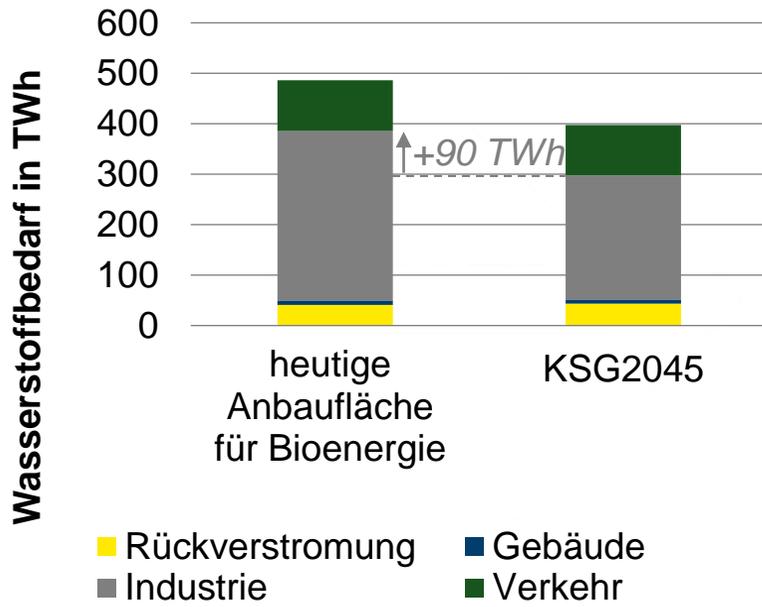
Bioenergieaufkommen im Jahr 2045



- ▶ Vergrößerung der Anbaufläche (Nutzung von Grünflächen) und höhere spezifische Erträge
- ▶ Erschließung neuartiger Bioenergieträger ist notwendig (z.B. Stroh)

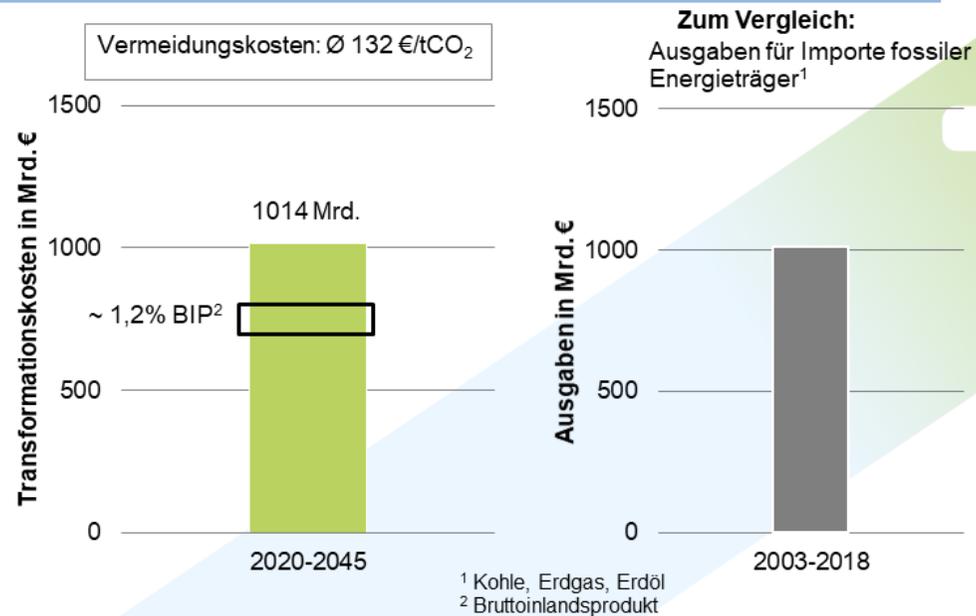
# 07

## Exkurs: Nur heutige Anbaufläche für Energiepflanzen verfügbar



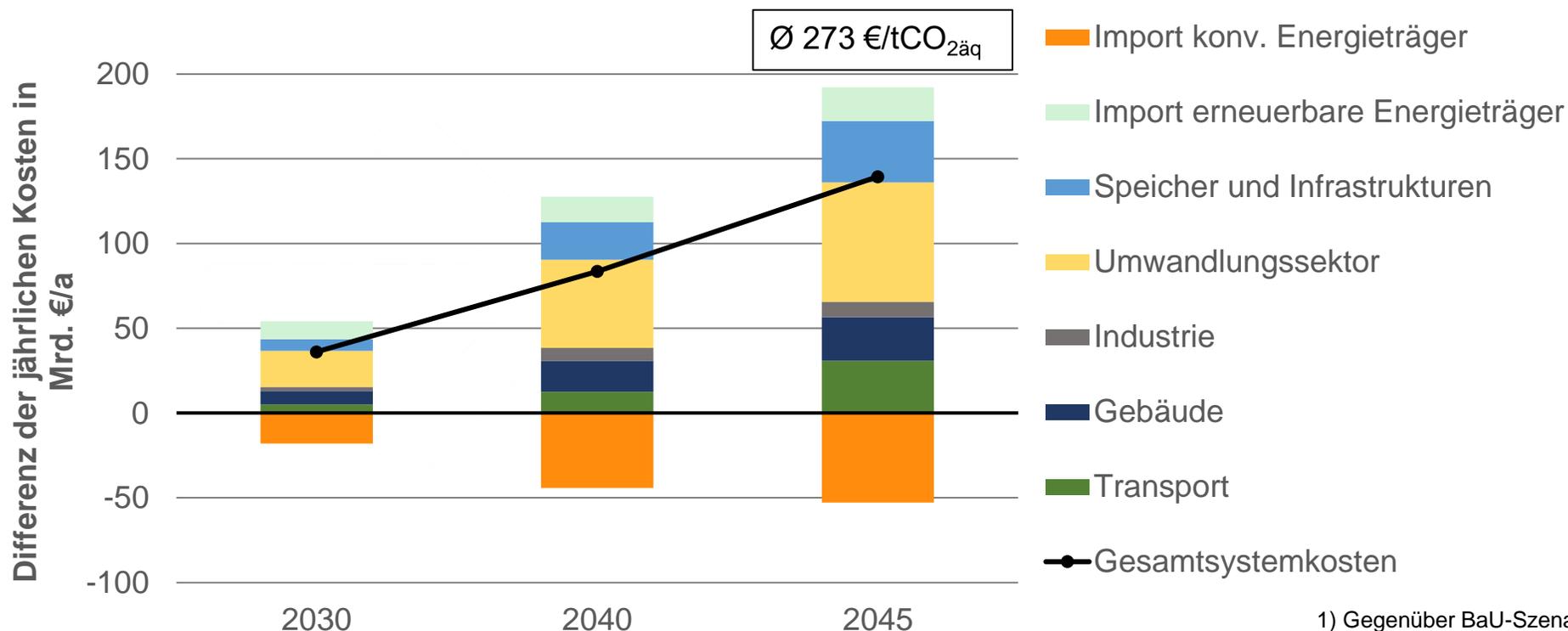
▶ Fehlende Biomasse zur Prozesswärmebereitstellung wird durch Wasserstoff substituiert

## Treibhausgasneutralität bis 2045 ist technisch und wirtschaftlich darstellbar



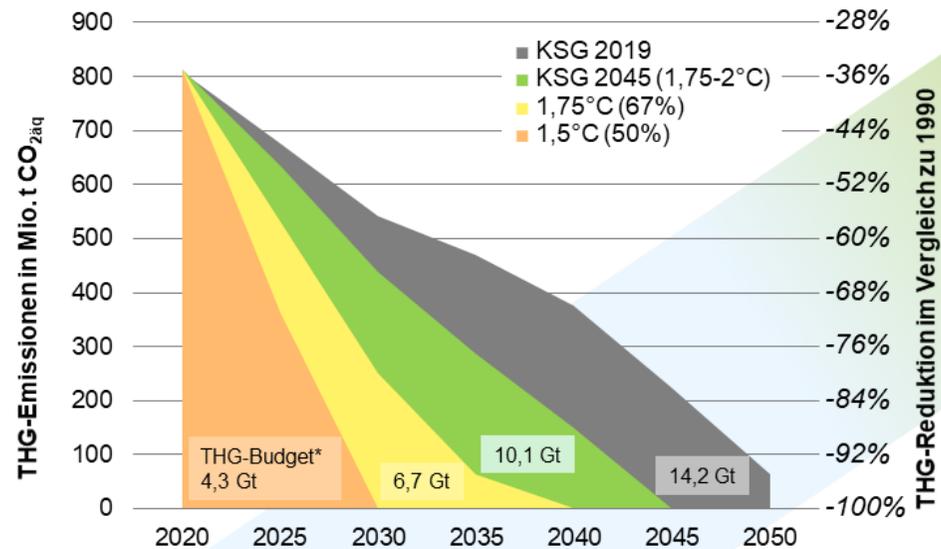
► Voraussetzung: Transformation wird in allen Sektoren zügig angegangen

## Jährliche Mehrkosten<sup>1)</sup> für Treibhausgasneutralität



- ▶ Starker Anstieg der Mehrkosten zum Ende des Zeitraums
- ▶ Größter Kostenanteil: Umwandlungssektor (EE-Ausbau, Elektrolyse, DAC etc.)

## Das KSG2045 entspricht einem Emissionspfad für 1,75 – 2°C globale Erwärmung

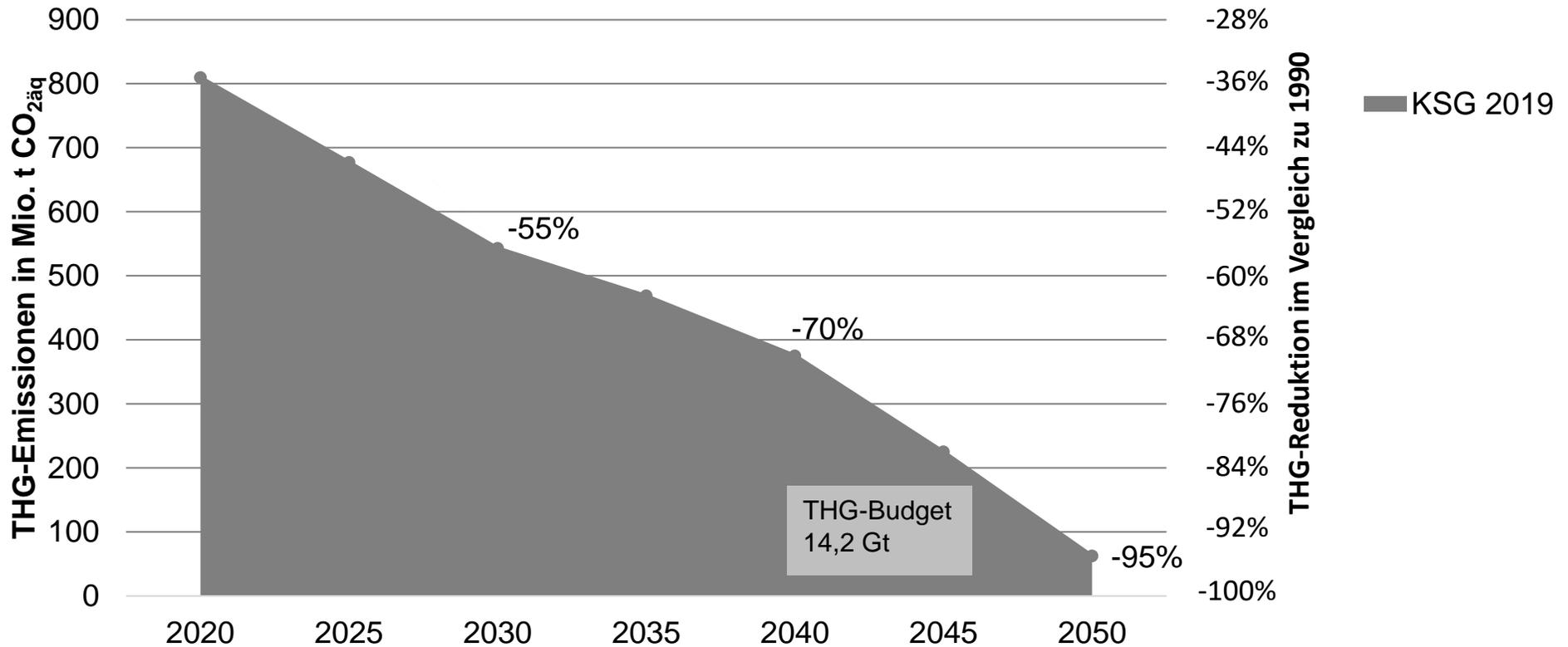


\* Deutsche CO<sub>2</sub> Budgets abgeleitet aus dem globalen Budget anhand des Anteils an der Weltbevölkerung

**100**  
KSG2045

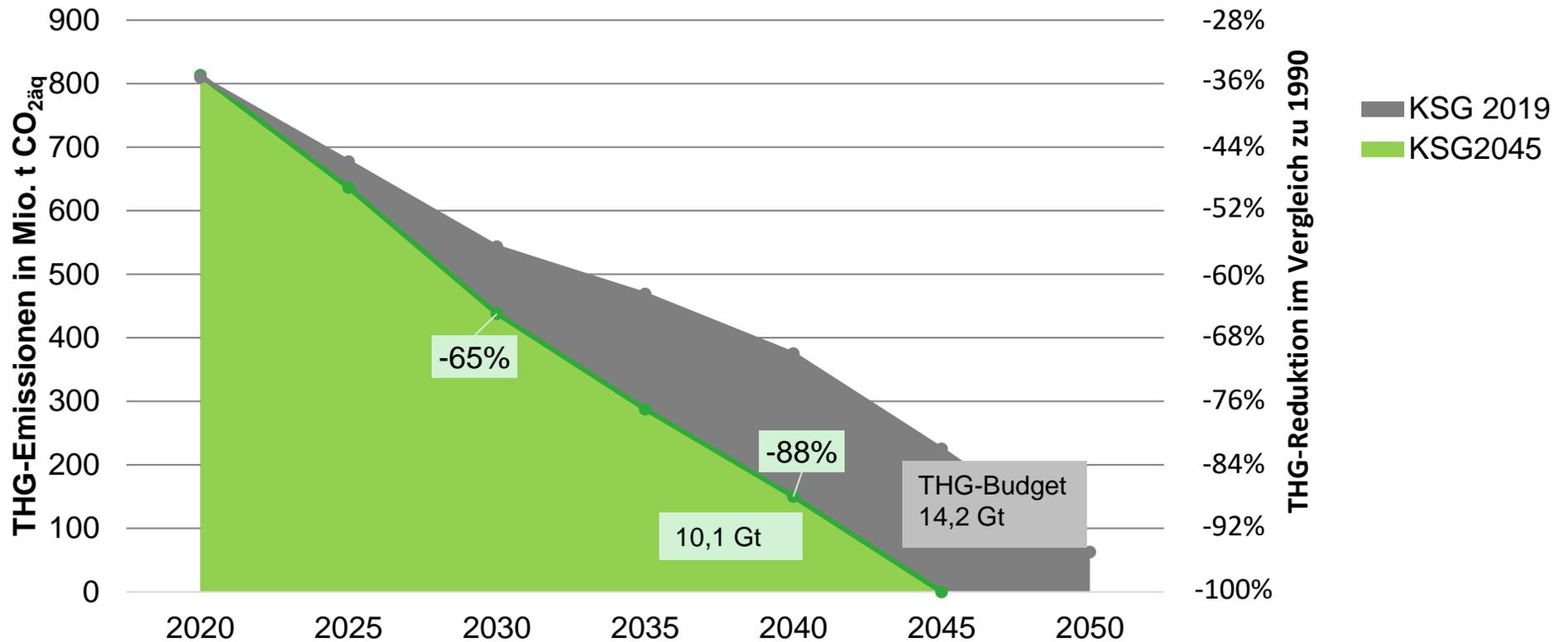
► 1,5°C Szenario erfordert Treibhausgasneutralität bis 2030

## Emissionsverläufe und Budgets im Vergleich



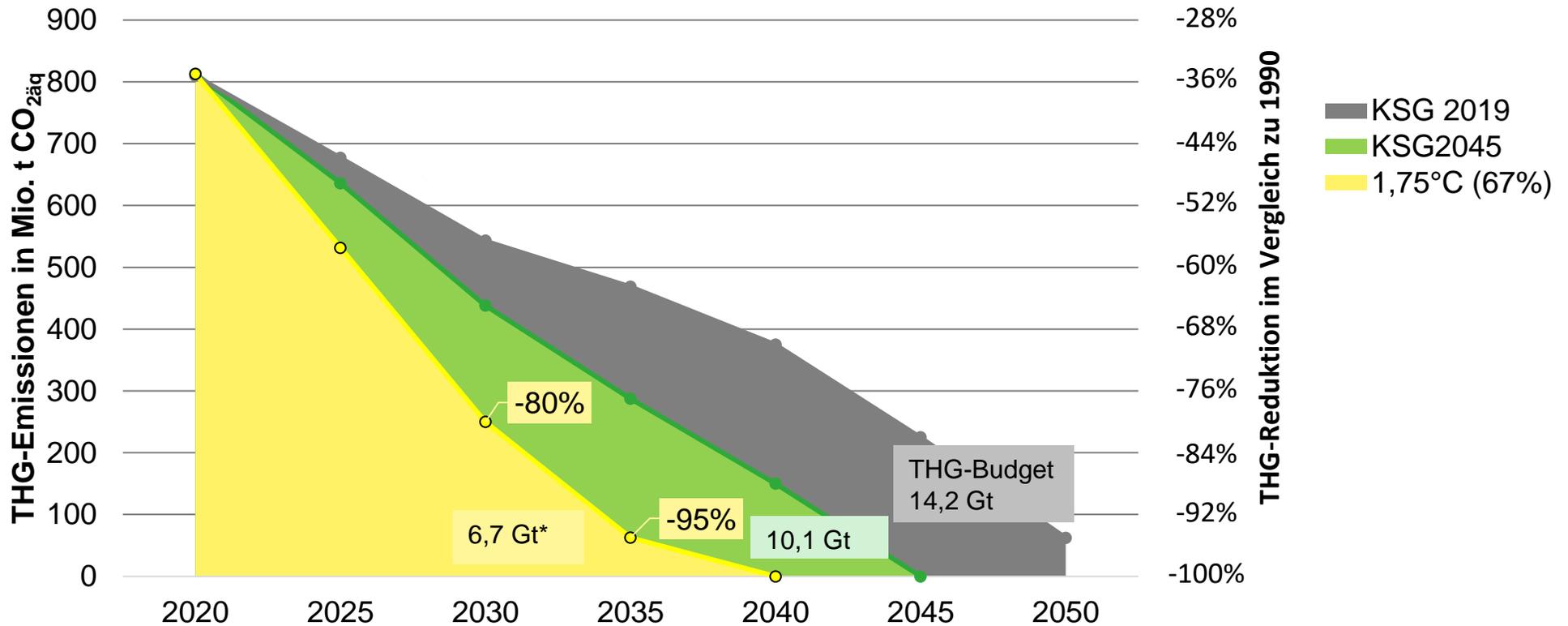
▶ THG Ziele des alten Klimaschutzgesetzes (inkl. Ziele Energiekonzept) entsprechen einem 2°(50%) - Szenario

## Emissionsverläufe und Budgets im Vergleich



- ▶ Neues KSG bewirkt eine Reduktion des Emissionsbudgets um ca. 29%
- ▶ THG Ziele des aktuellen Klimaschutzgesetzes entsprechen 1,75°(50%) - 2°(67%) Szenario

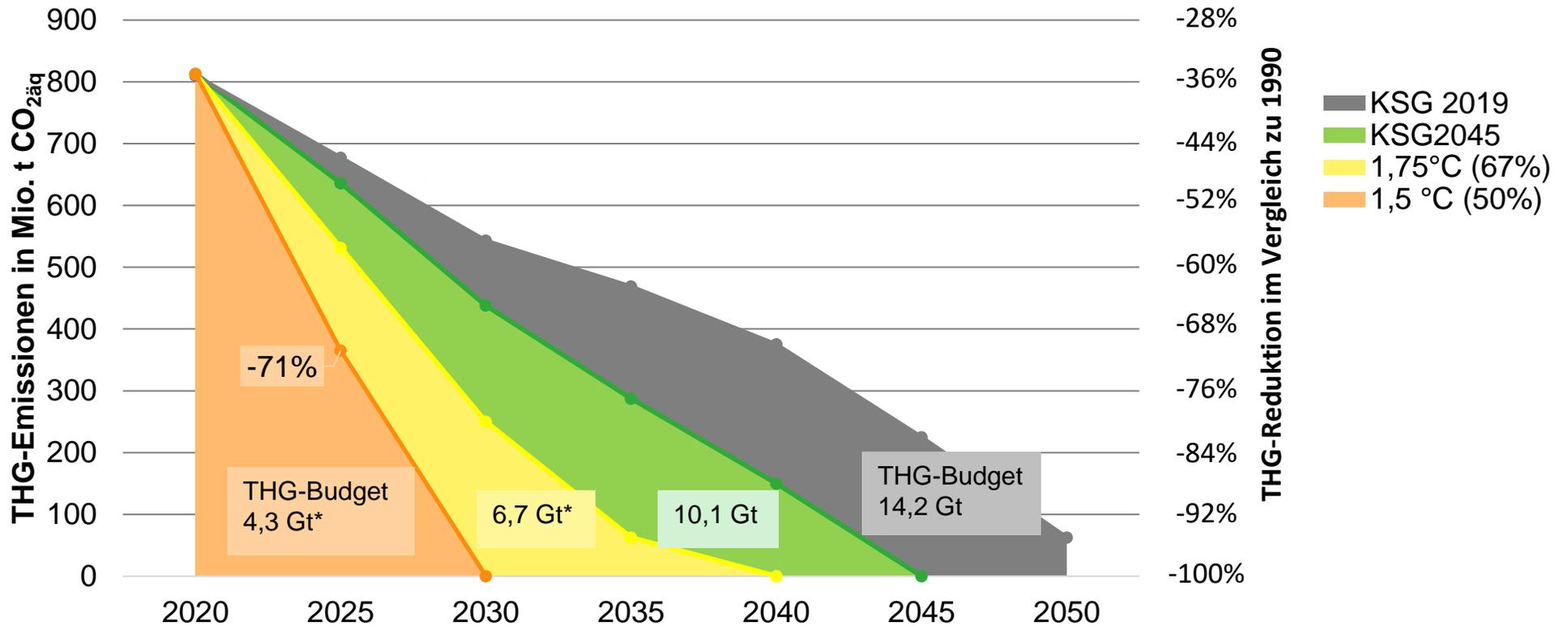
## Emissionsverläufe und Budgets im Vergleich



\* Deutsche CO<sub>2</sub> Budgets abgeleitet aus dem globalen Budget anhand des Anteils an der Weltbevölkerung

- ▶ Eine weitere Verkürzung des Transformationszeitraums um 5 Jahre ist notwendig, um das 1,75° C Ziel zu erreichen

## Emissionsverläufe und Budgets im Vergleich



\* Deutsche CO<sub>2</sub> Budgets abgeleitet aus dem globalen Budget anhand des Anteils an der Weltbevölkerung

▶ THG Budget (1,5°C) entspricht ungefähr der Anzahl von sechs heutigen THG-Jahresemissionen



➤ Transformation ist technisch und ökonomisch darstellbar  
 ➤ Handlungszeitraum: nur 25 Jahre – unverzügliches Handeln auf allen Ebenen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Auf dieser Seite finden Sie unsere  
Studie zum Download  
sowie weitere Informationen:



Institut für Energie- und Klimaforschung  
Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3)  
Forschungszentrum Jülich  
[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)

**Bei weiteren Fragen zur Studie wenden Sie sich bitte an:**

Prof. Dr. Detlef Stolten  
+49(0)2461 61 5147  
[d.stolten@fz-juelich.de](mailto:d.stolten@fz-juelich.de)

Dr. Peter Markewitz  
+49(0)2461 61 6119  
[p.markewitz@fz-juelich.de](mailto:p.markewitz@fz-juelich.de)

Dr. Leander Kotzur  
+49(0)2461 61 6689  
[l.kotzur@fz-juelich.de](mailto:l.kotzur@fz-juelich.de)