

An aerial photograph showing a large array of solar panels in the foreground, extending towards a green field. In the field, three white sheep are grazing. The text 'Energiewende - quo vadis' is overlaid in white on the solar panels.

# Energiewende - quo vadis

**KIT**

**21.6.2024**

Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke

- 
- 1. Wie viel Gewinn – nicht Umsatz – in US-Dollar wird seit 1970 im Durchschnitt pro Tag mit Öl und Gas gemacht?**
  - 2. Wie viele Subventionen flossen laut dem Internationalen Währungsfonds 2022 weltweit in fossile Brennstoffe?**
  - 3. Wie viel Prozent der 2022 weltweit zugebauten Kapazität zur Erzeugung von Strom waren erneuerbar?**

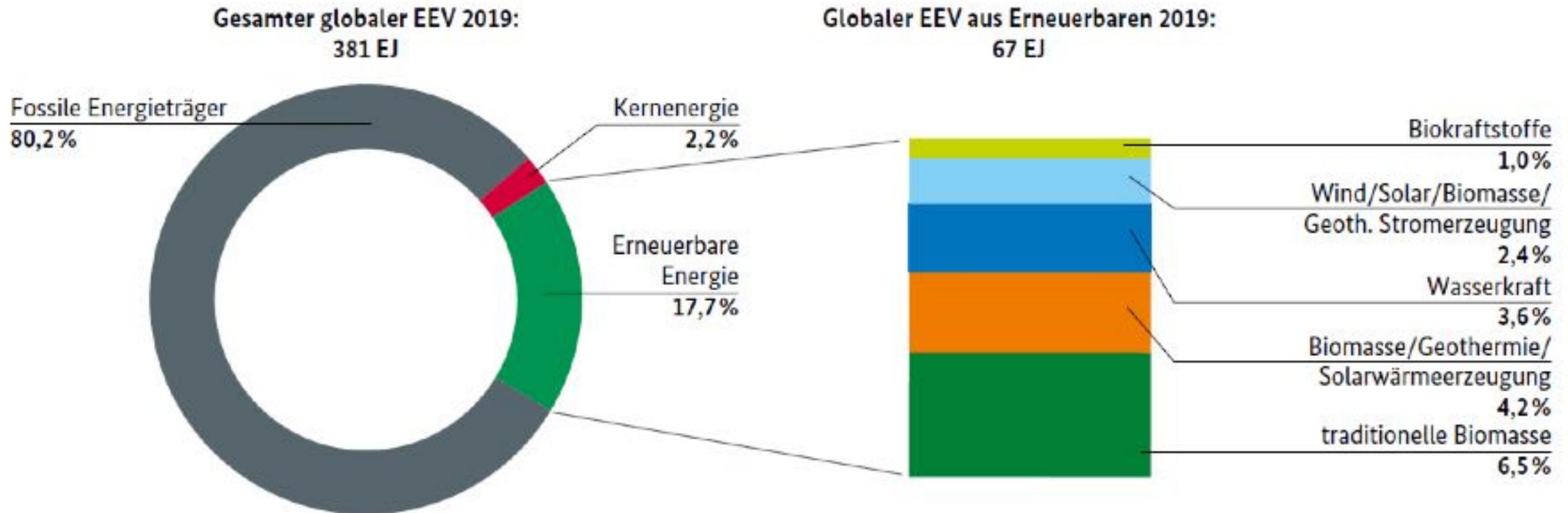
- 
- 1. Drei Milliarden Dollar Gewinn pro Tag wurden mit Öl und Gas erzielt, das sind 1 Billionen Dollar Gewinn – nicht Umsatz! – im Jahr.**
  - 2. Die expliziten Subventionen liegen laut IWF bei etwa 1,3 Billionen US-Dollar, die Umweltschäden bei mehr als 5,7 Billionen US-Dollar pro Jahr.**
  - 3. 80 Prozent der im Jahr 2022 weltweit neu zugebauten Kapazität zur Stromerzeugung war erneuerbar.**

# Gliederung

---

1. Ist-Situation
2. Wie bildet sich der Strompreis?
3. Wie könnten klimaneutrale Zukünfte aussehen?
4. Vor- und Nachteile einiger Technologien
5. Die wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen

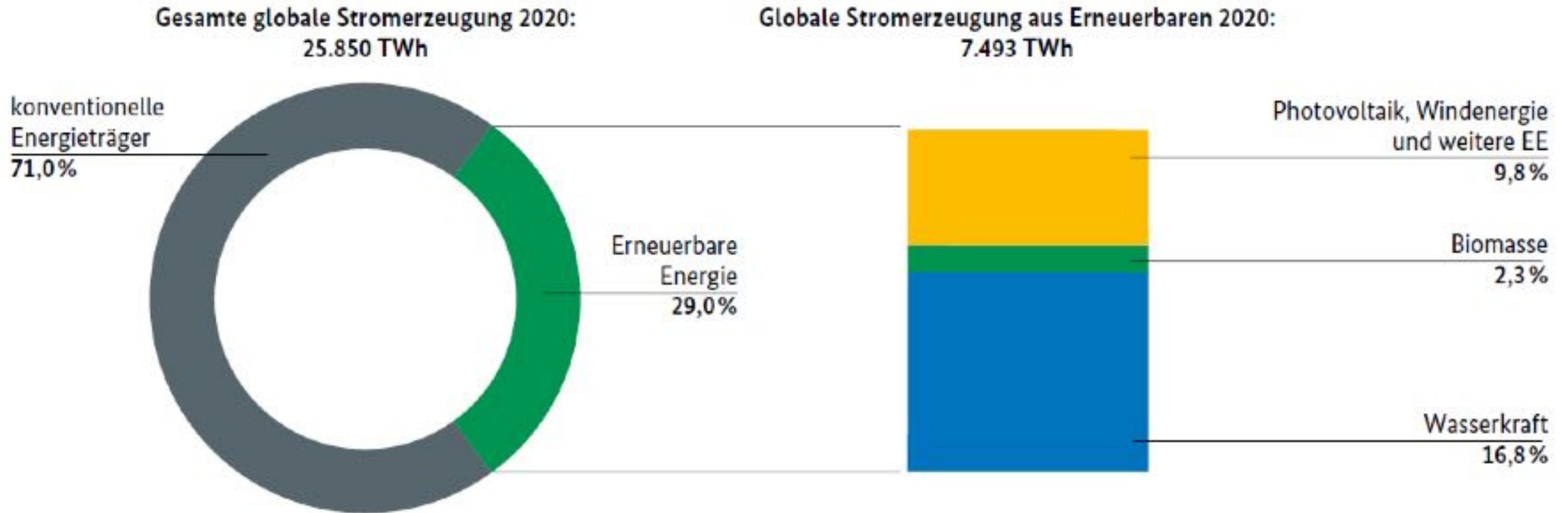
# Abbildung 61: Aufteilung des globalen Endenergieverbrauchs im Jahr 2019



1 EJ (Exajoule) = 1.000 PJ (Petajoule), siehe auch Umrechnungsfaktoren im Anhang

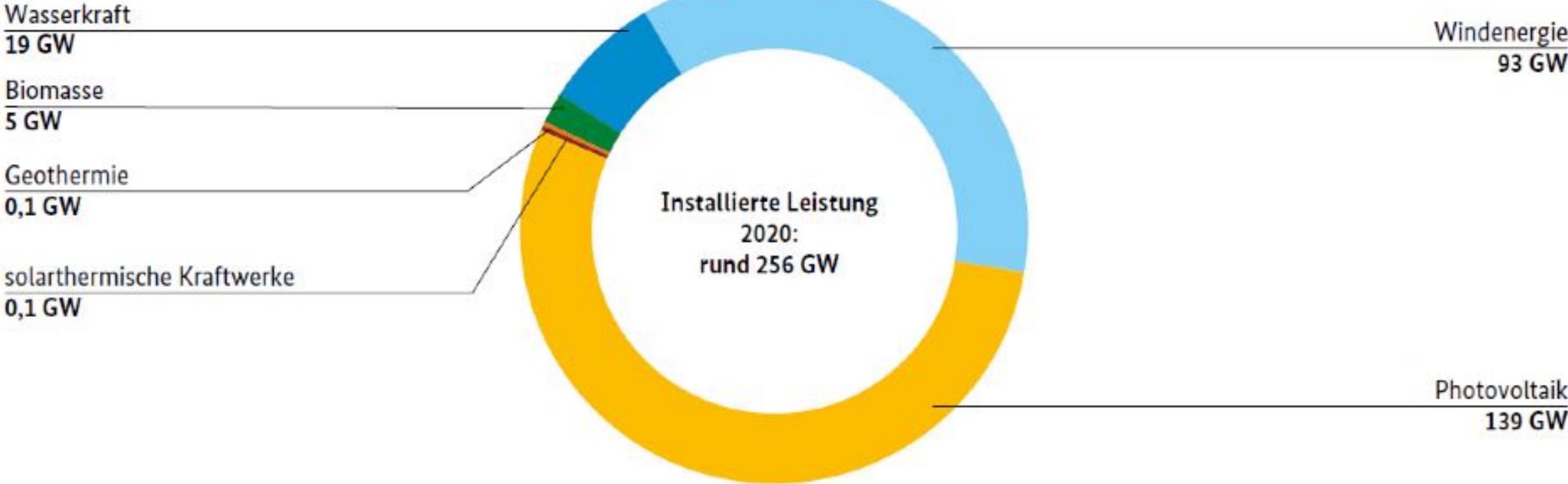
Quelle: REN21: Renewables 2021 Global Status Report [50]

Abbildung 62: Aufteilung der globalen Stromerzeugung im Jahr 2020



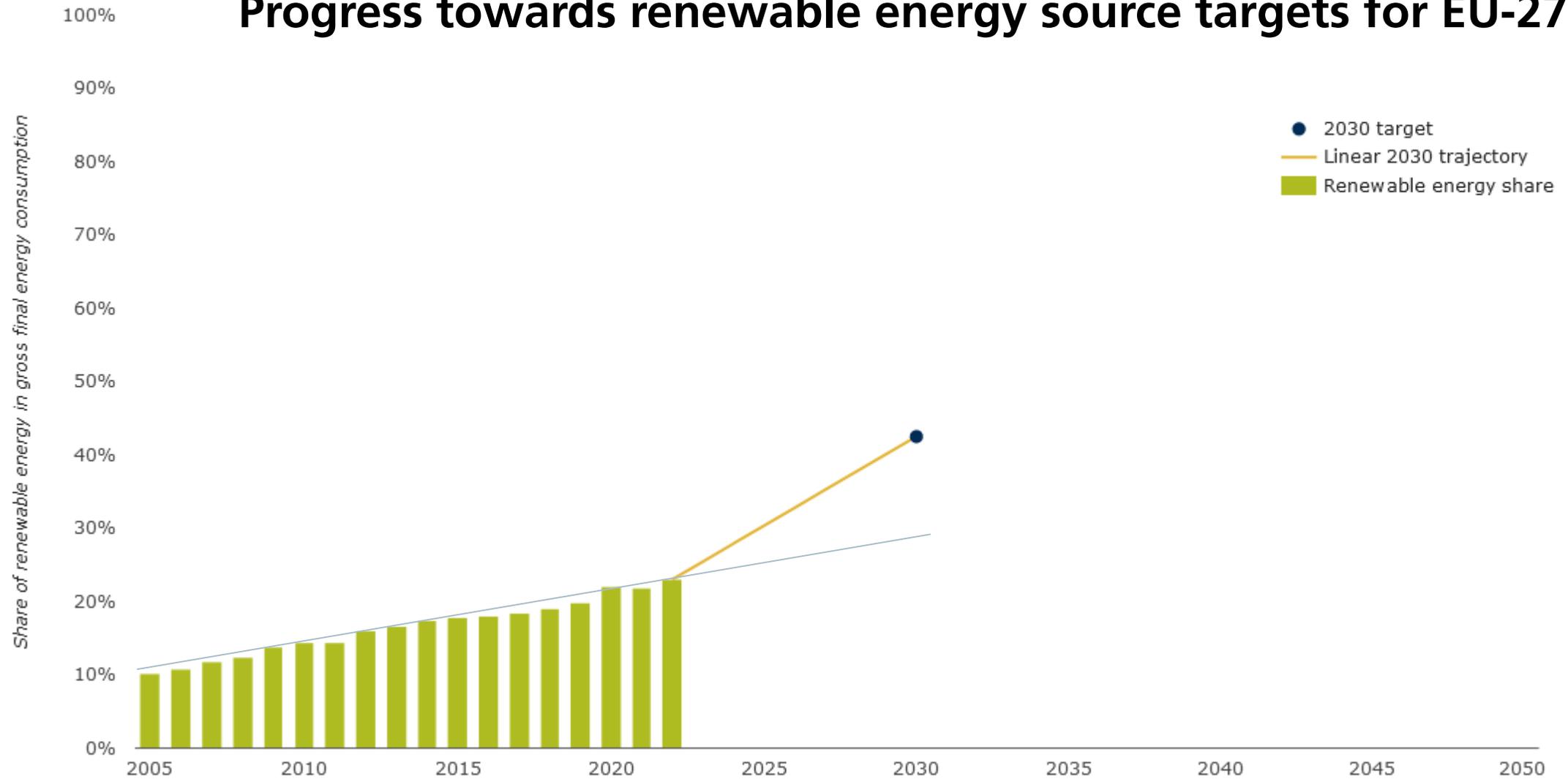
Quelle: REN21: Renewables 2021 Global Status Report [50]

# Abbildung 64: Weltweiter Zubau von Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2020

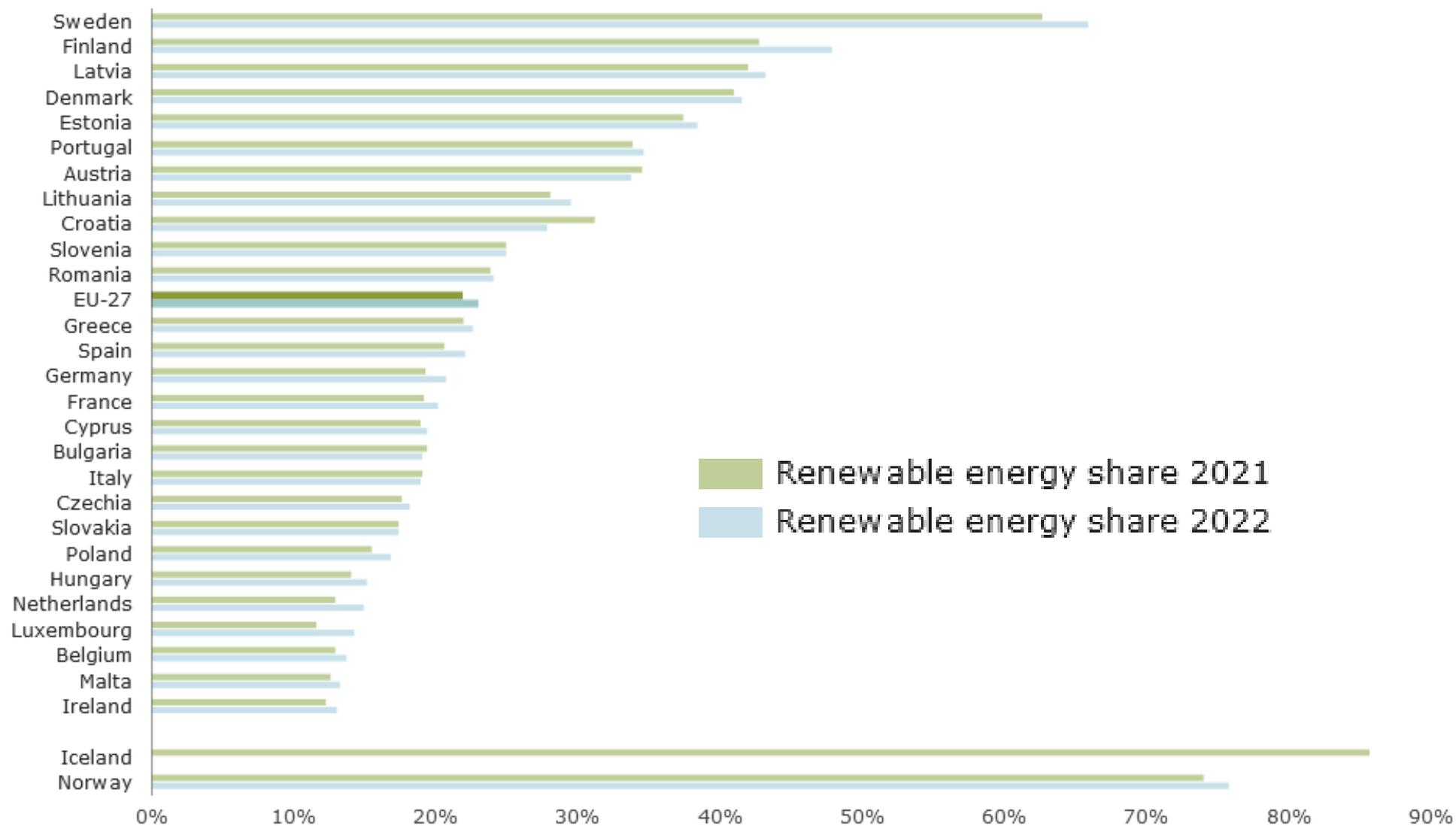


Quelle: Renewables 2021 Global Status Report [50]

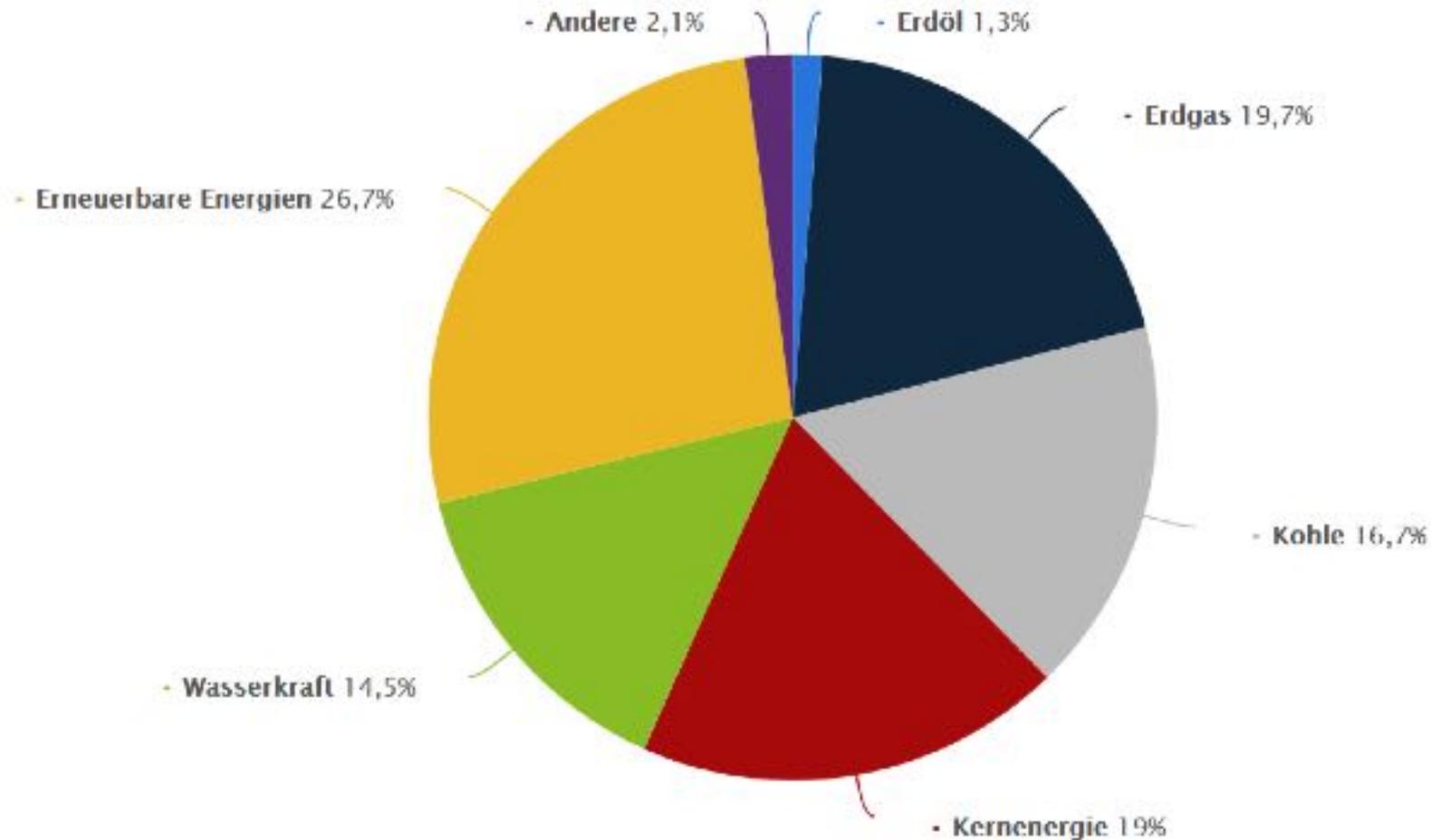
# Progress towards renewable energy source targets for EU-27



# Share of energy from renewable sources, by country



# Anteile ausgewählter Energieträger an der Stromerzeugung in Europa im Jahr 2022

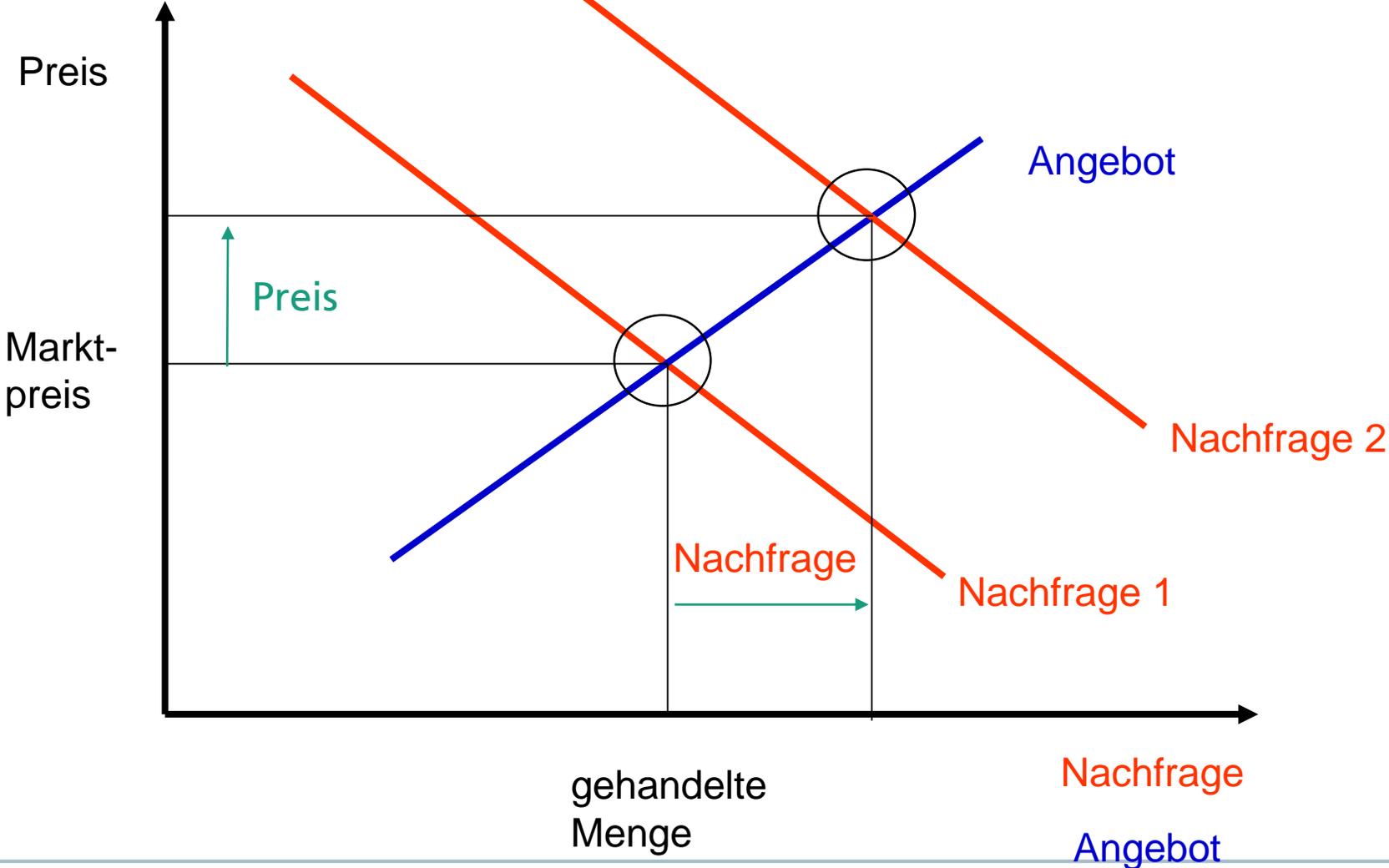


<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1374483/umfrage/struktur-der-stromerzeugung-in-europa-nach-energetraeger/>

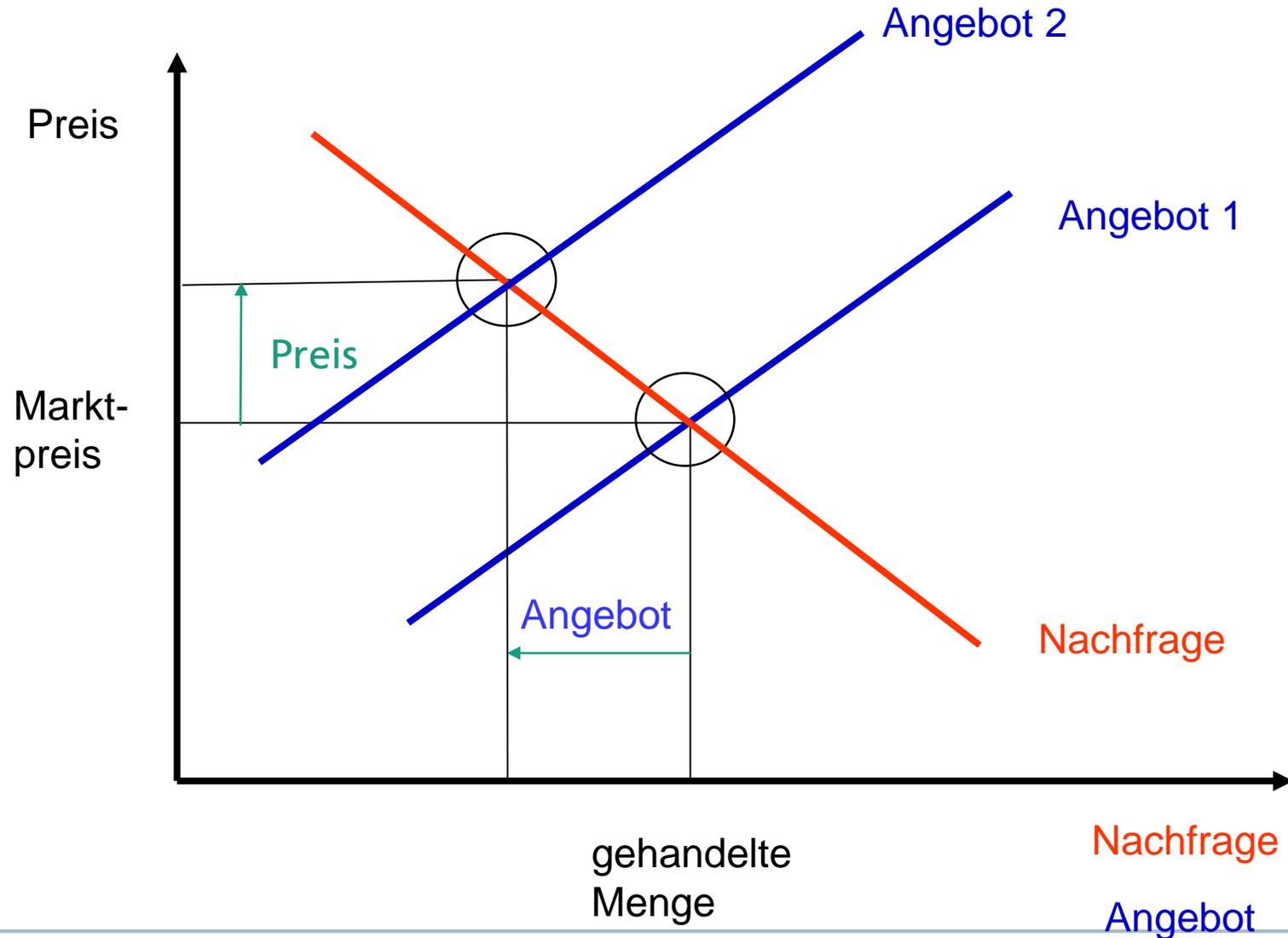


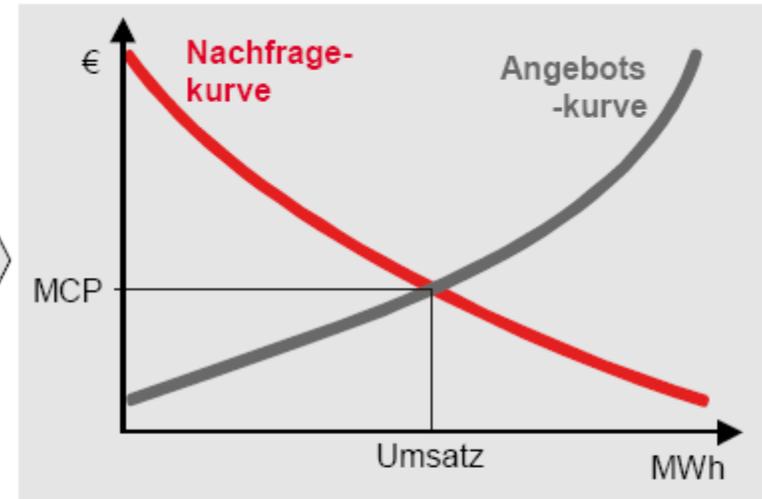
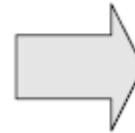
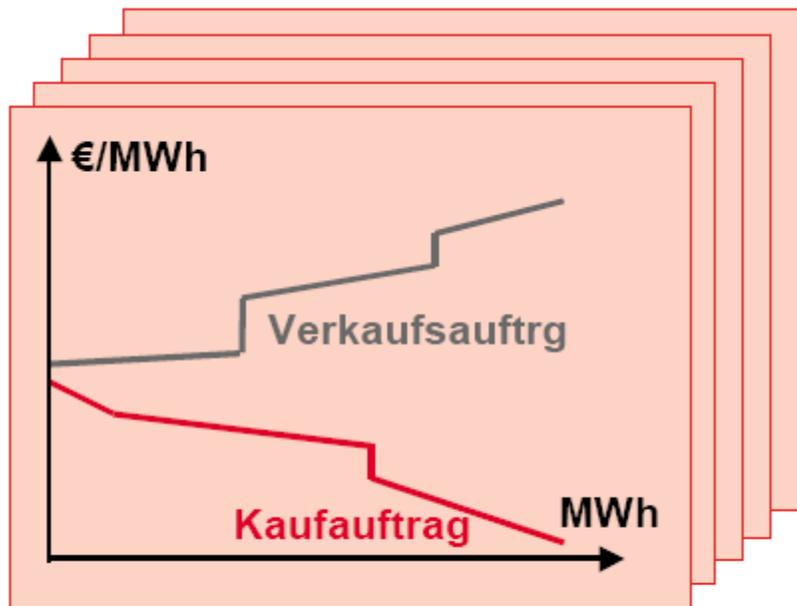
# Strompreisbildung – Der Energy-only-Markt

Steigende Nachfrage = Steigender Preis



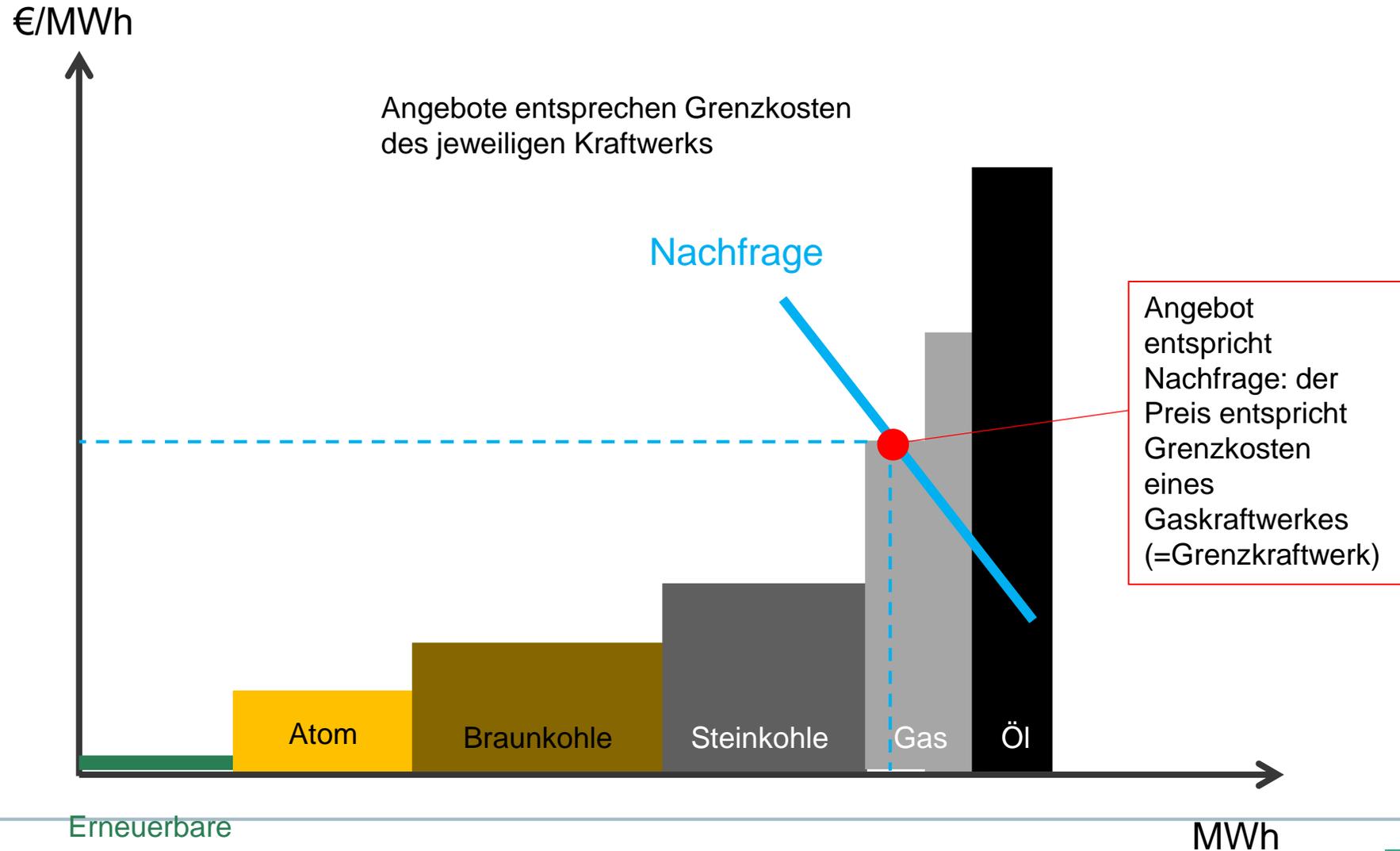
Sinkendes Angebot = Steigender Preis



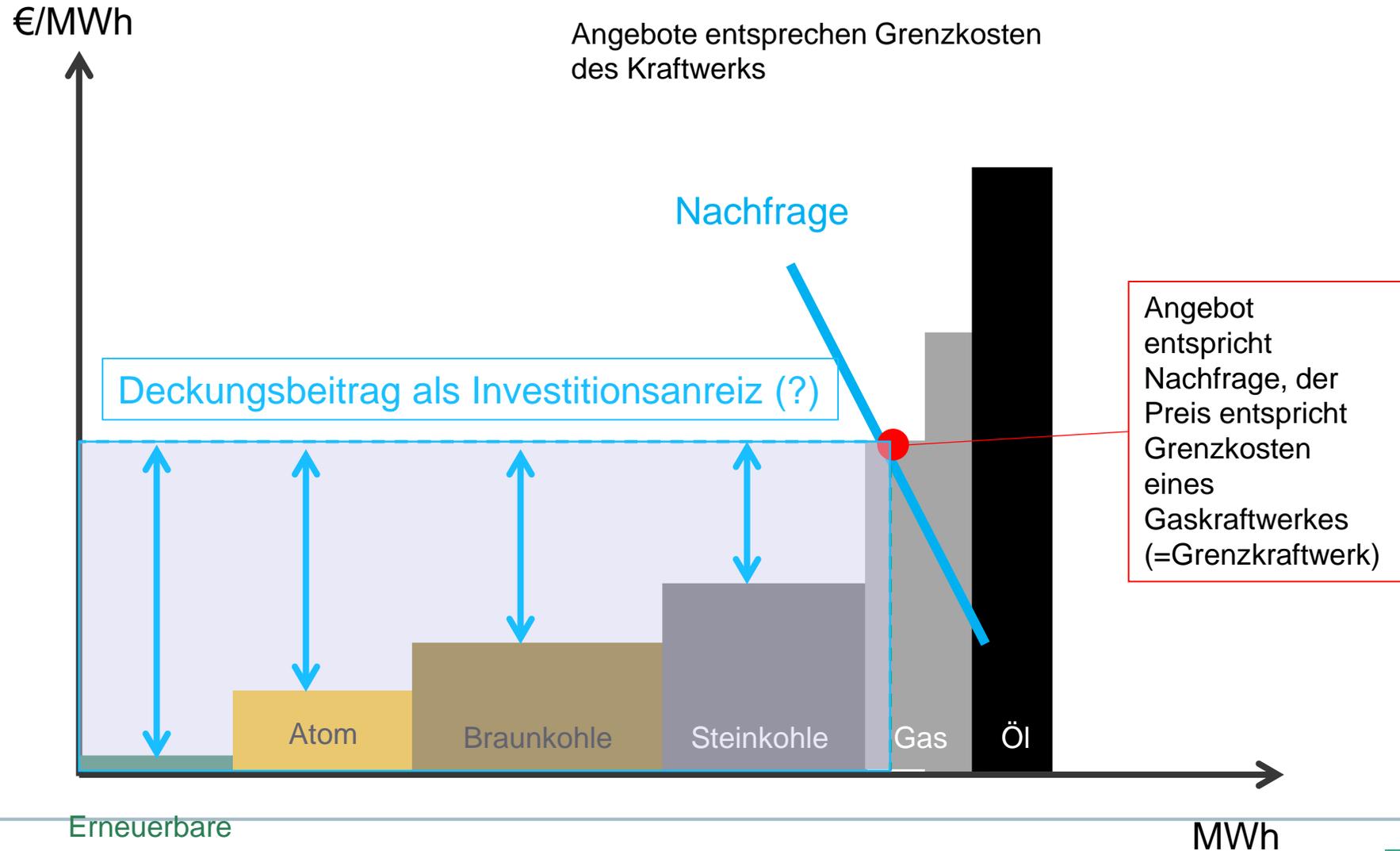


: Preisermittlung für unabhängiges Auftragsbuch

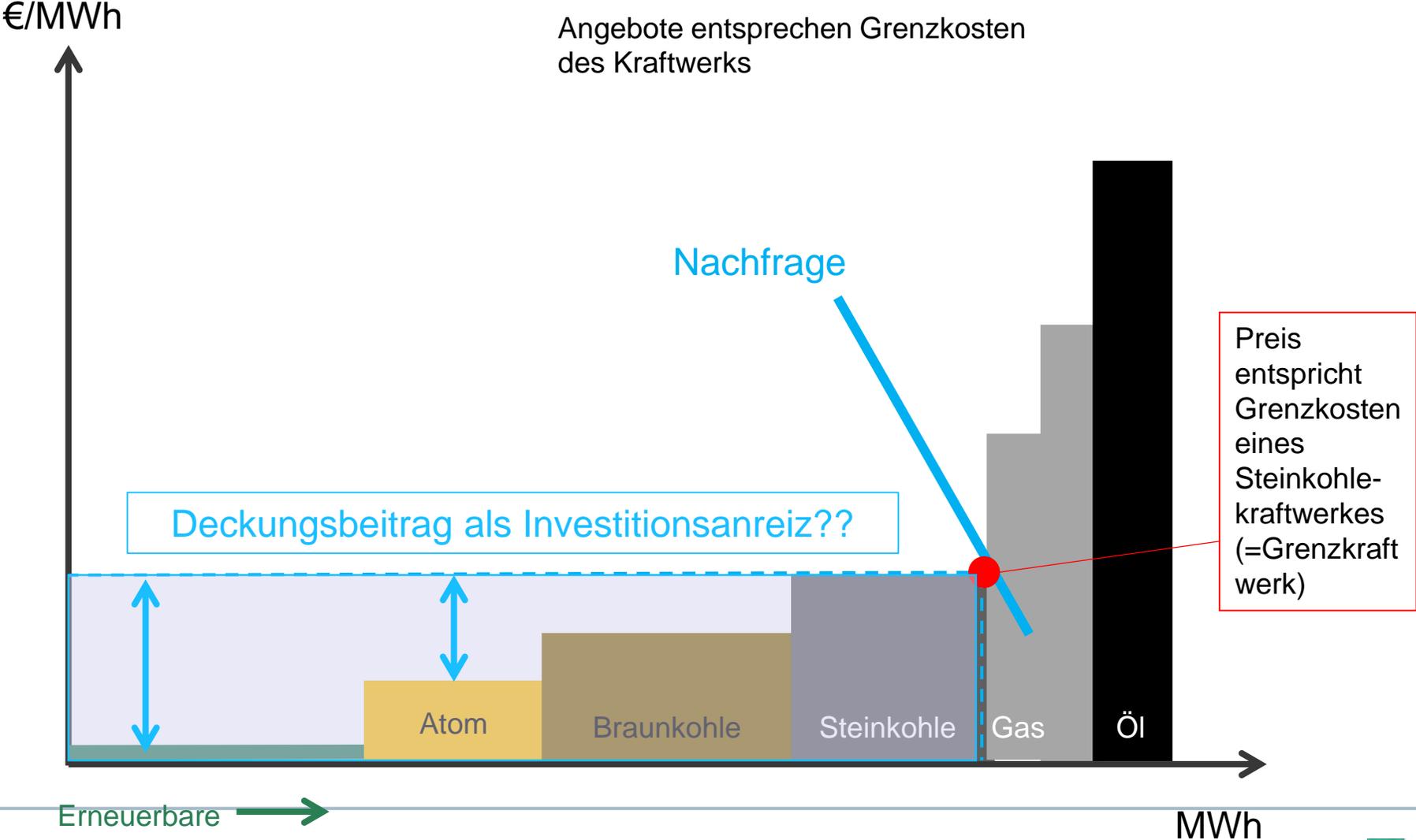
# Merit Order: Einsatzsteuerung & Finanzierung



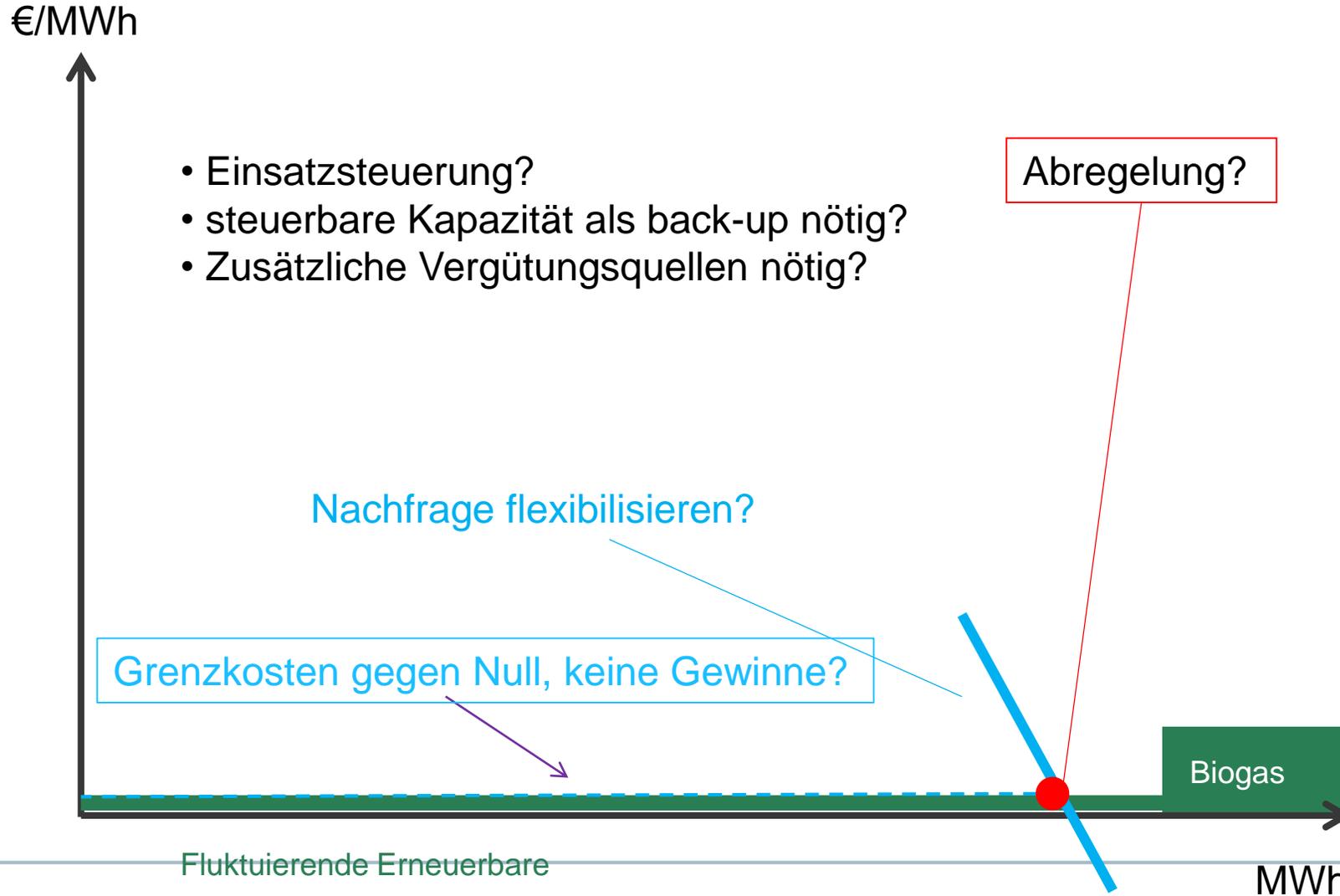
# Merit Order: Einsatzsteuerung & Finanzierung



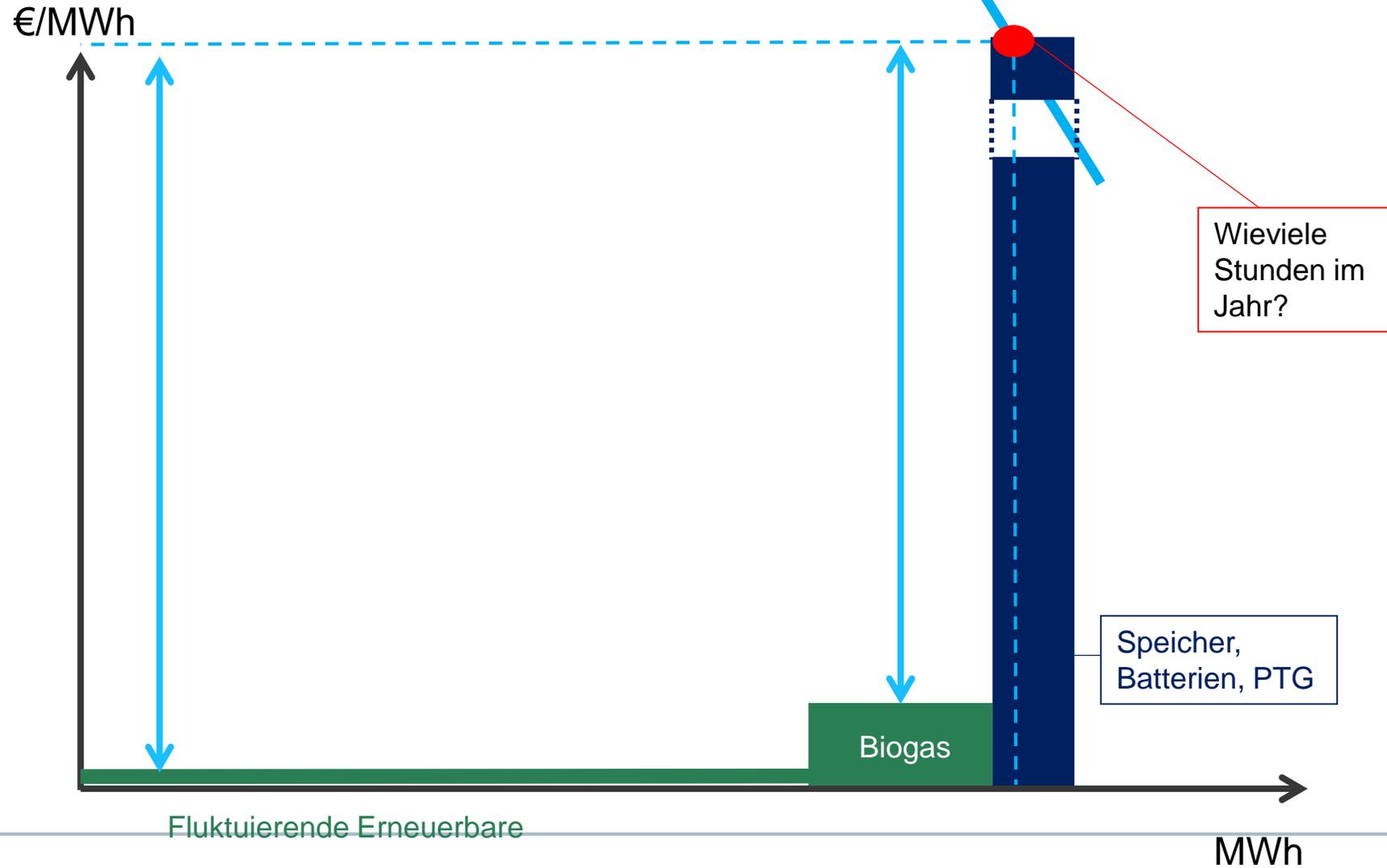
# Merit Order: Einsatzsteuerung & Finanzierung



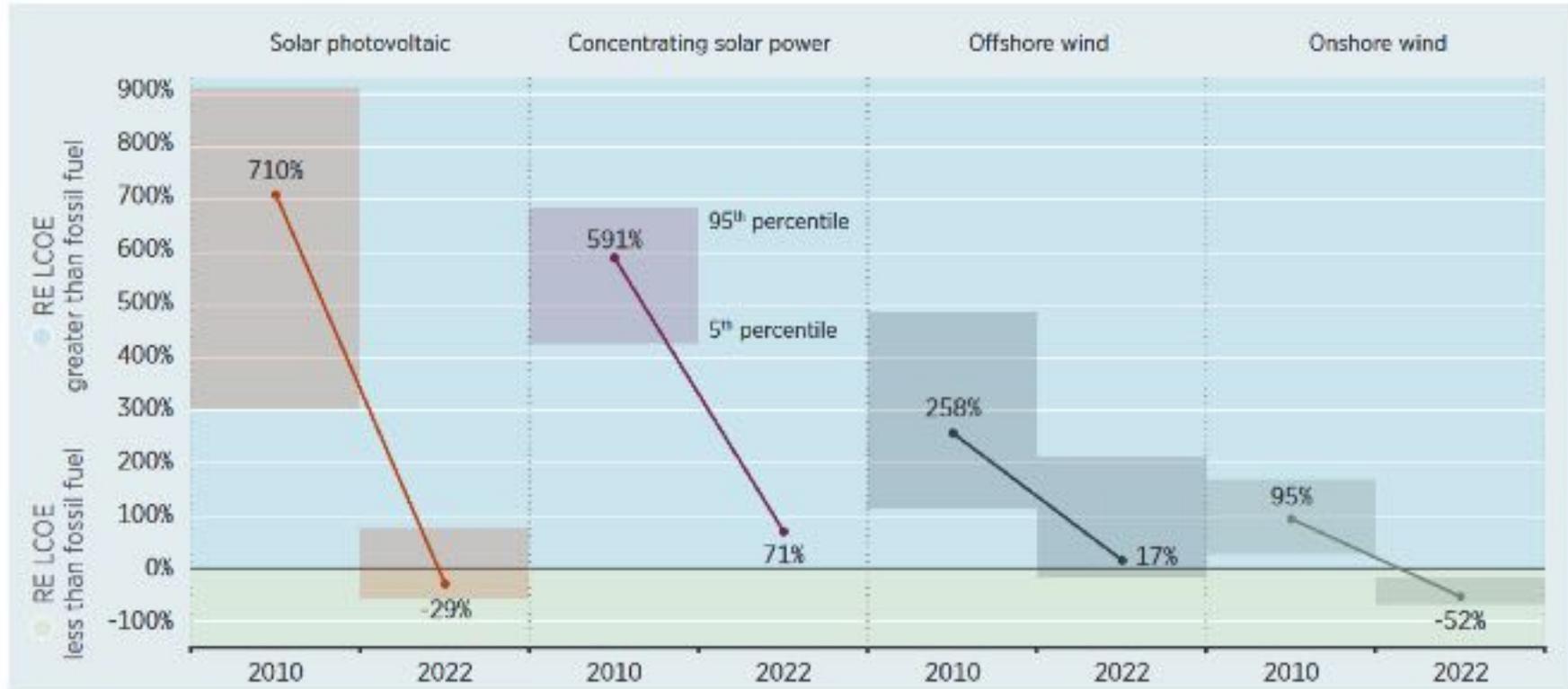
# Merit Order: Einsatzsteuerung & Finanzierung



# Merit Order: Einsatzsteuerung & Finanzierung

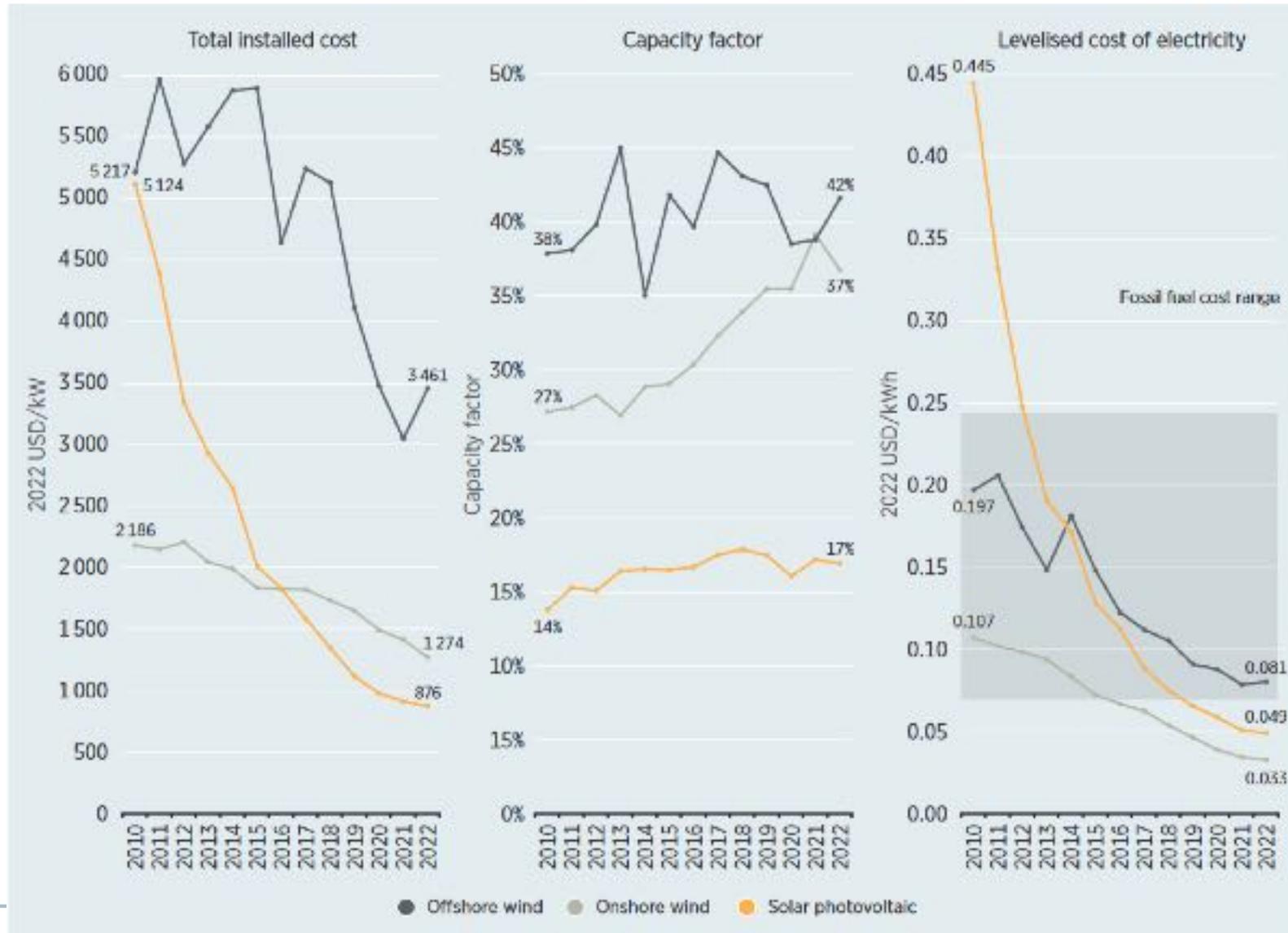


## Change in competitiveness of solar and wind by country based on global weighted average LCOE, 2010-2022

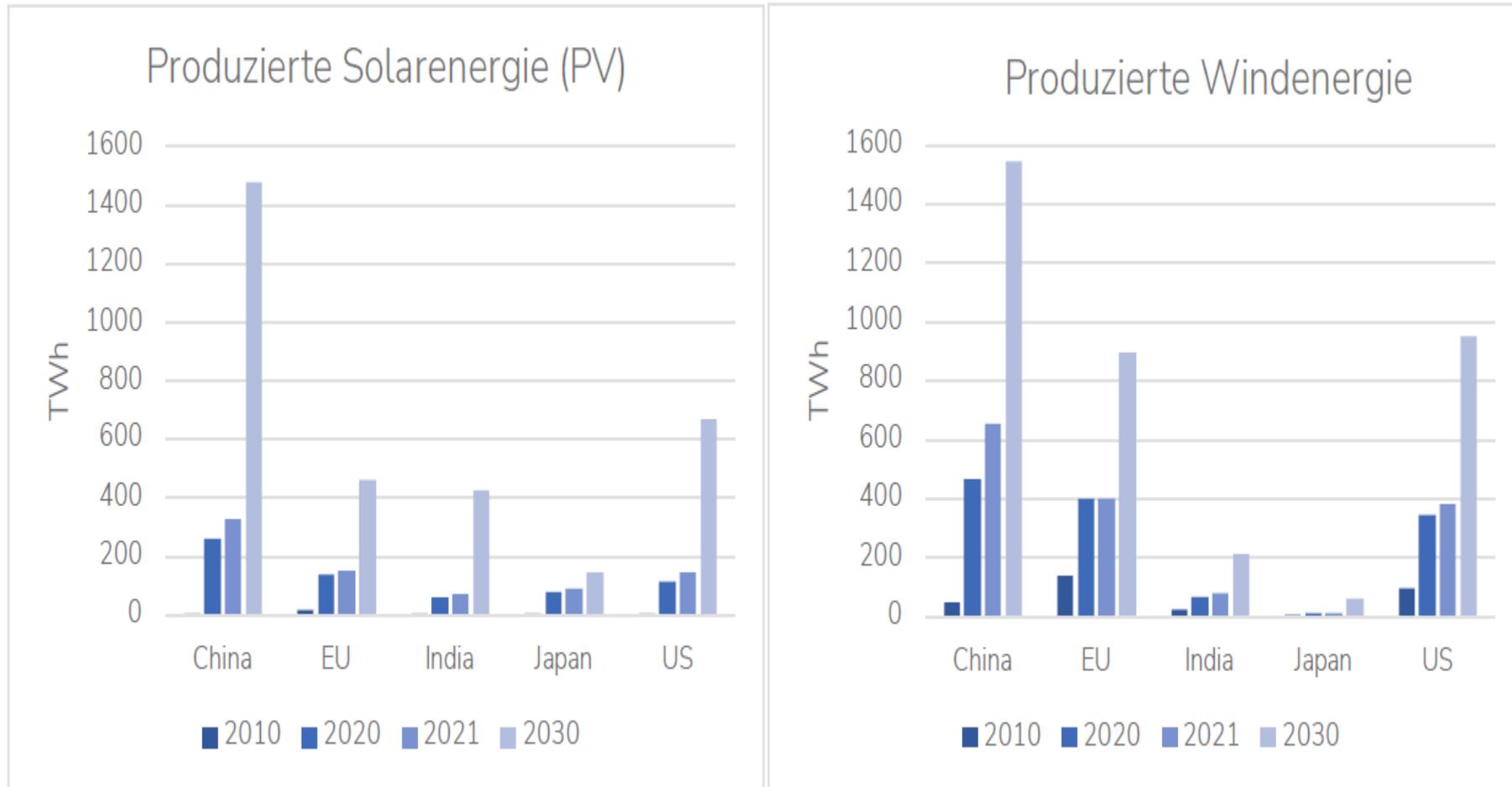


IRENA (2023), Renewable power generation costs in 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

# Global weighted average total installed costs, capacity factors and LCOE from newly commissioned solar PV, onshore wind power and offshore wind power, 2010-2022



# Produktion erneuerbarer Energien



Daten: IEA World Energy Outlook 2022,  
Daten für 2030 sind Prognose vor dem Hintergrund strategischer politischer Ziele

# Ziele für den Netzausbau in Deutschland weit verfehlt

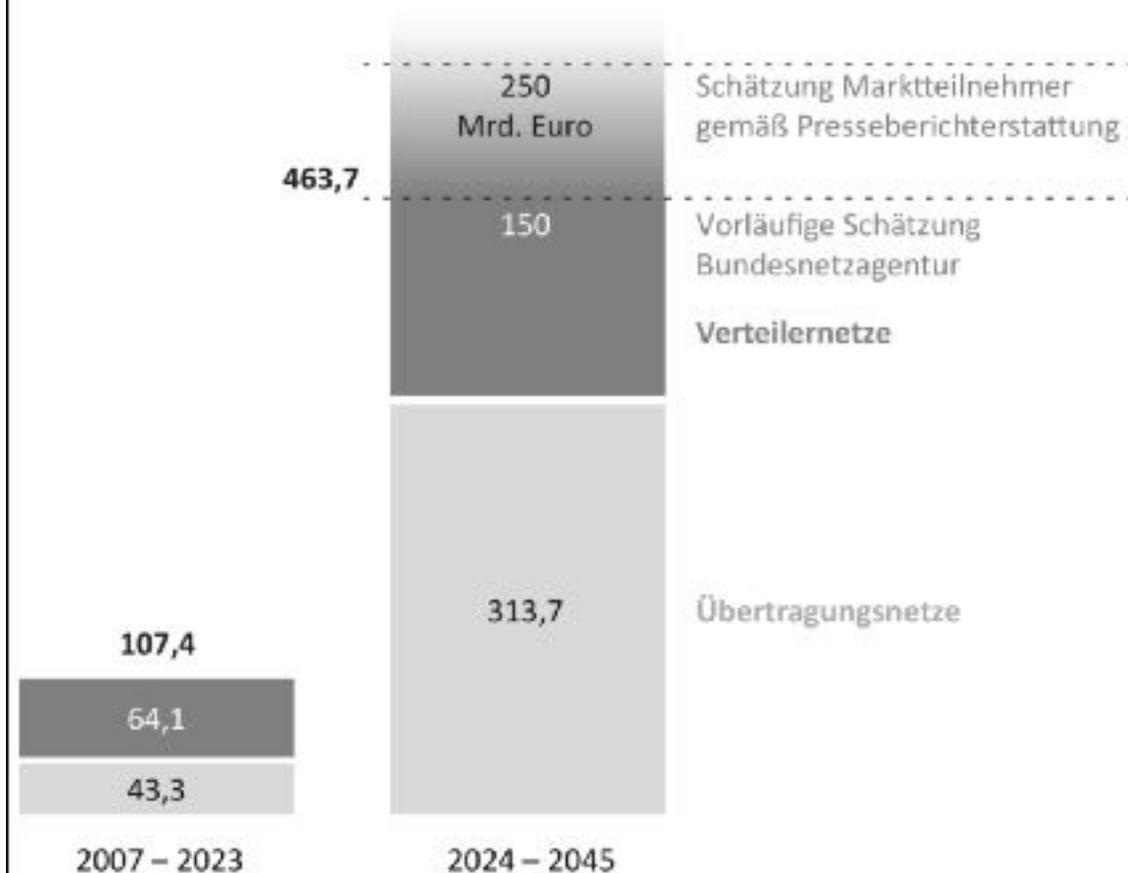
Ende September 2023 lag der Ausbau der Übertragungsnetze sieben Jahre und 6 000 km hinter dem Zeitplan.



Grafik: Bundesrechnungshof. Quelle: BNetzA: Monitoringbericht 2010, Netzausbaumonitoring 2013 – 2023.

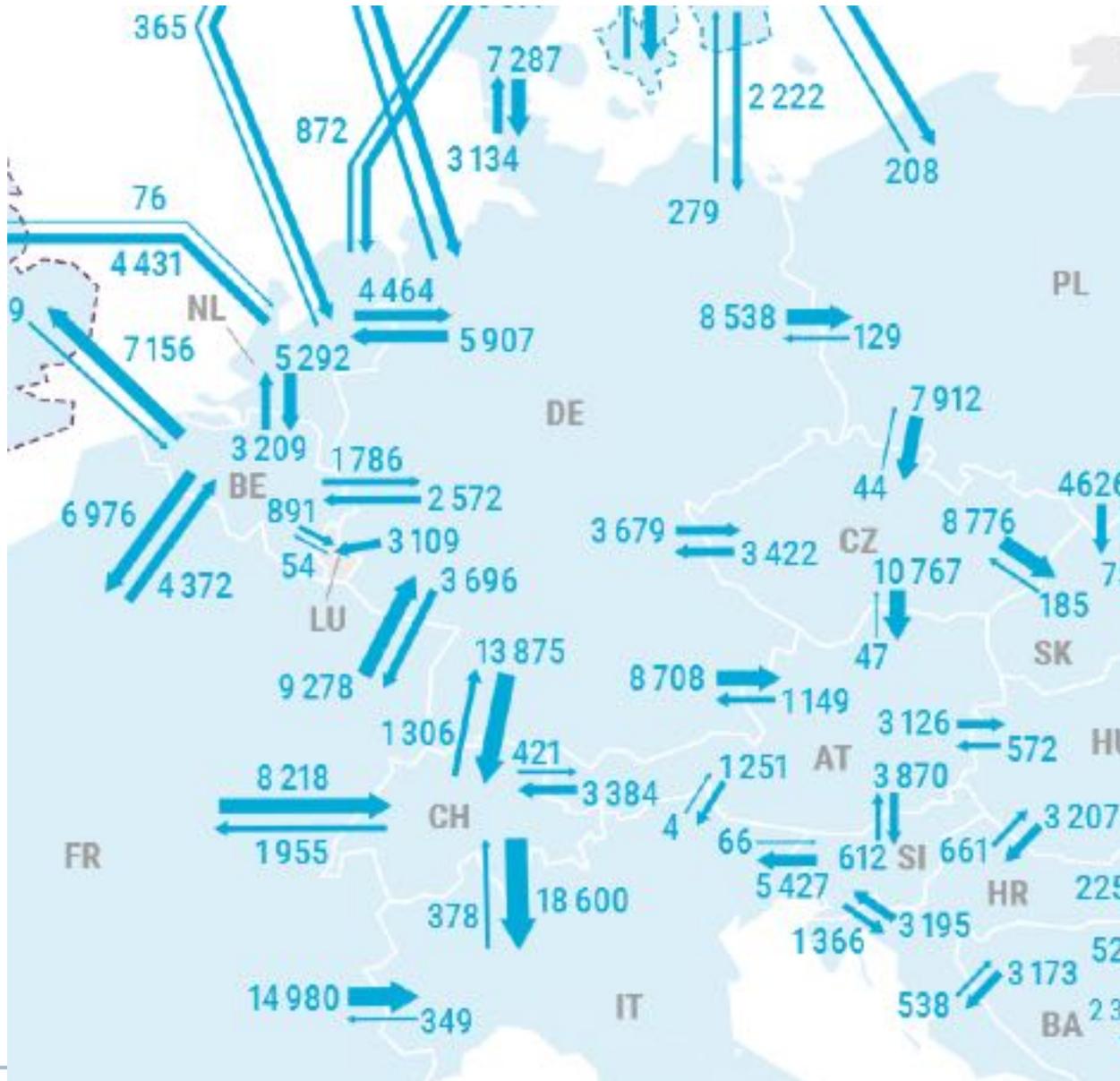
## Netzausbaukosten in Zukunft wesentlich höher als bisher

Die Kosten für den Netzausbau im Zeitraum 2024 bis 2045 betragen gemäß vorläufiger Schätzungen der Bundesnetzagentur mehr als 460 Mrd. Euro. Weitere Kostensteigerungen stehen im Raum.

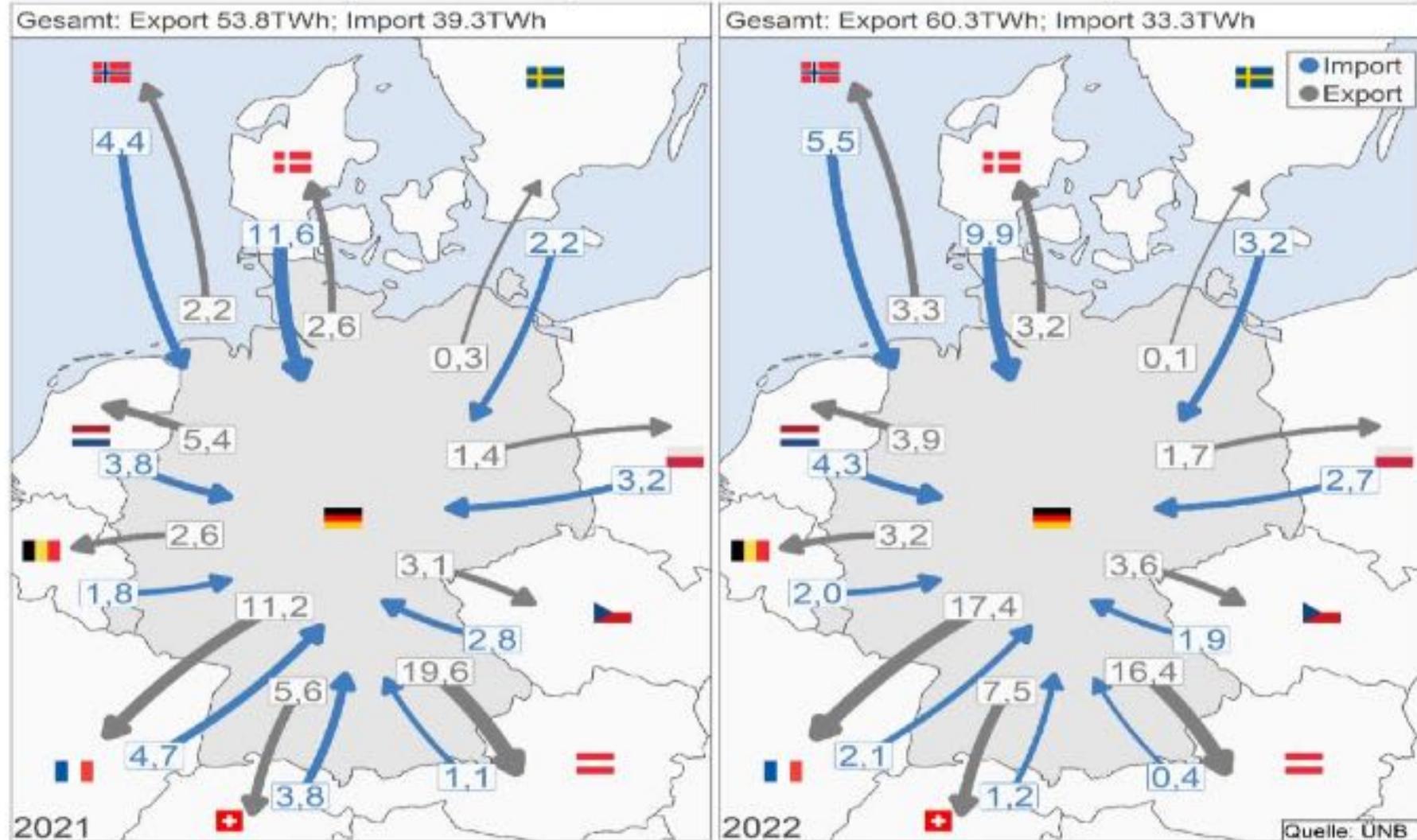


Grafik: Bundesrechnungshof. Quelle: BNetzA Monitoringberichte 2008 – 2023; NEP Strom 2037 mit Ausblick 2045; Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze 2022; Deutschlandfunk.

## Physical energy flows



## Verbundaustauschfahrpläne in TWh (Grenzüberschreitender Stromhandel)



**Strom: Erlöse und Kosten der deutschen Ex- und Importe**  
in Mio. Euro

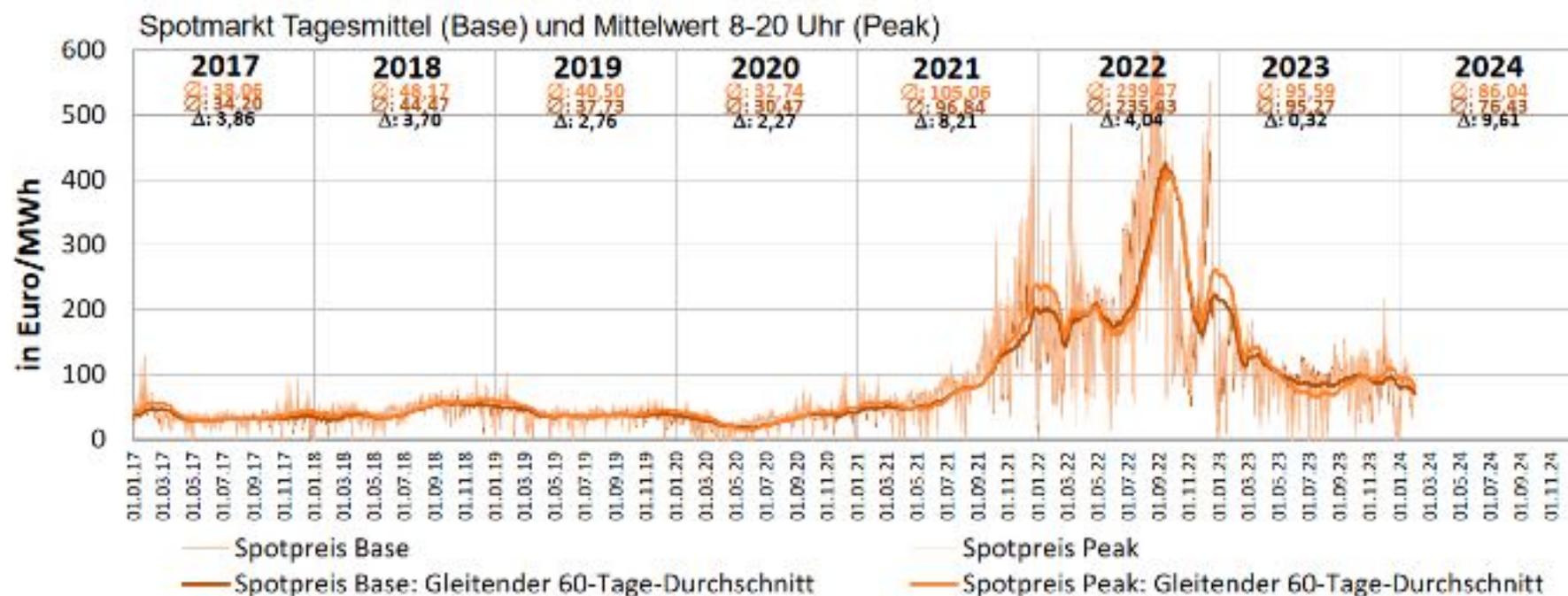
0,28 €/kWh für importierten Strom  
0,19 €/kWh für exportierten Strom



Bundesnetzagentur Monitoringbericht 2023

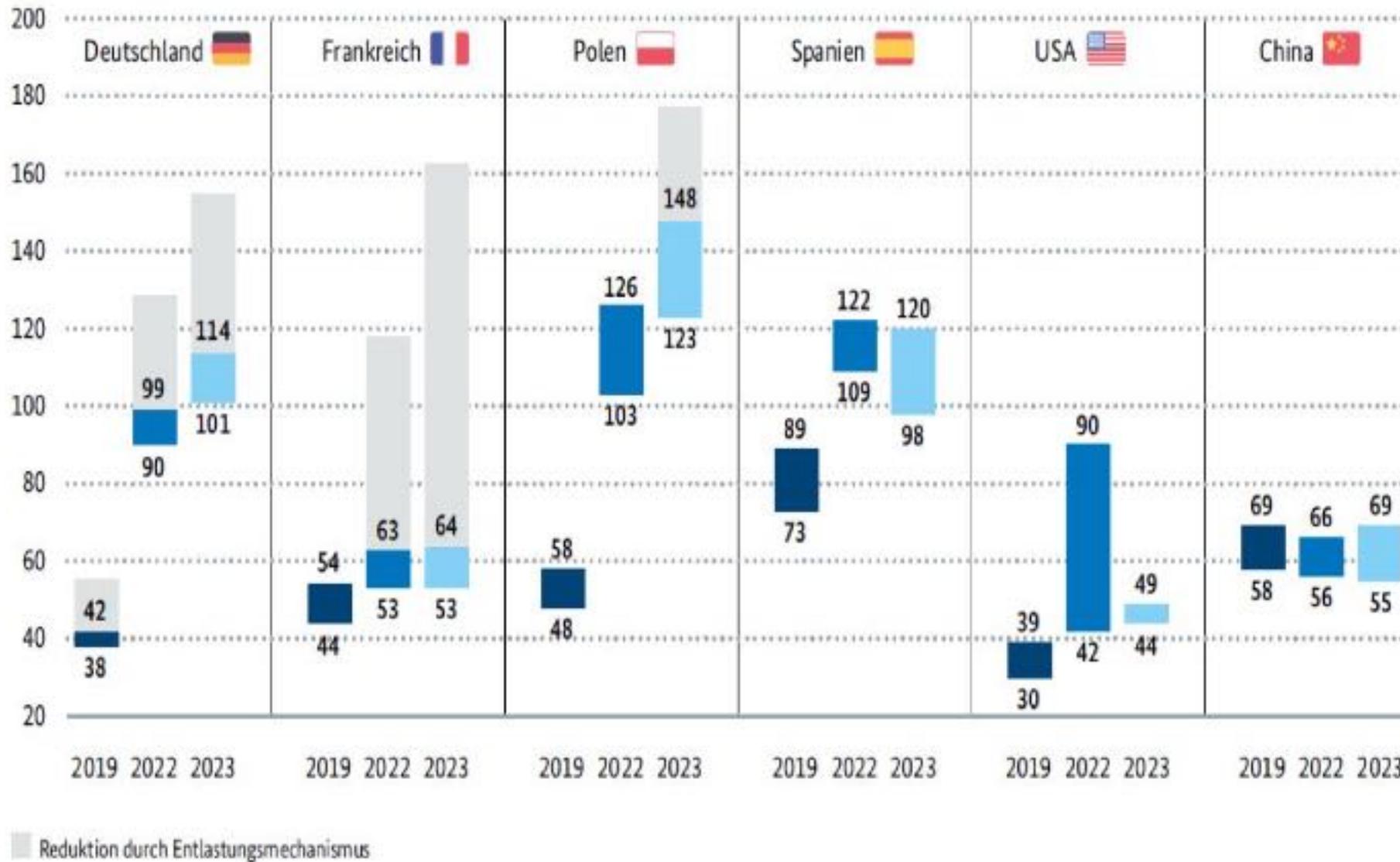
# Preisentwicklung Strombörse: Spotmarkt ab 2017

Spotmarkt Tagesmittel (01.01.2011 – 01.02.2024)

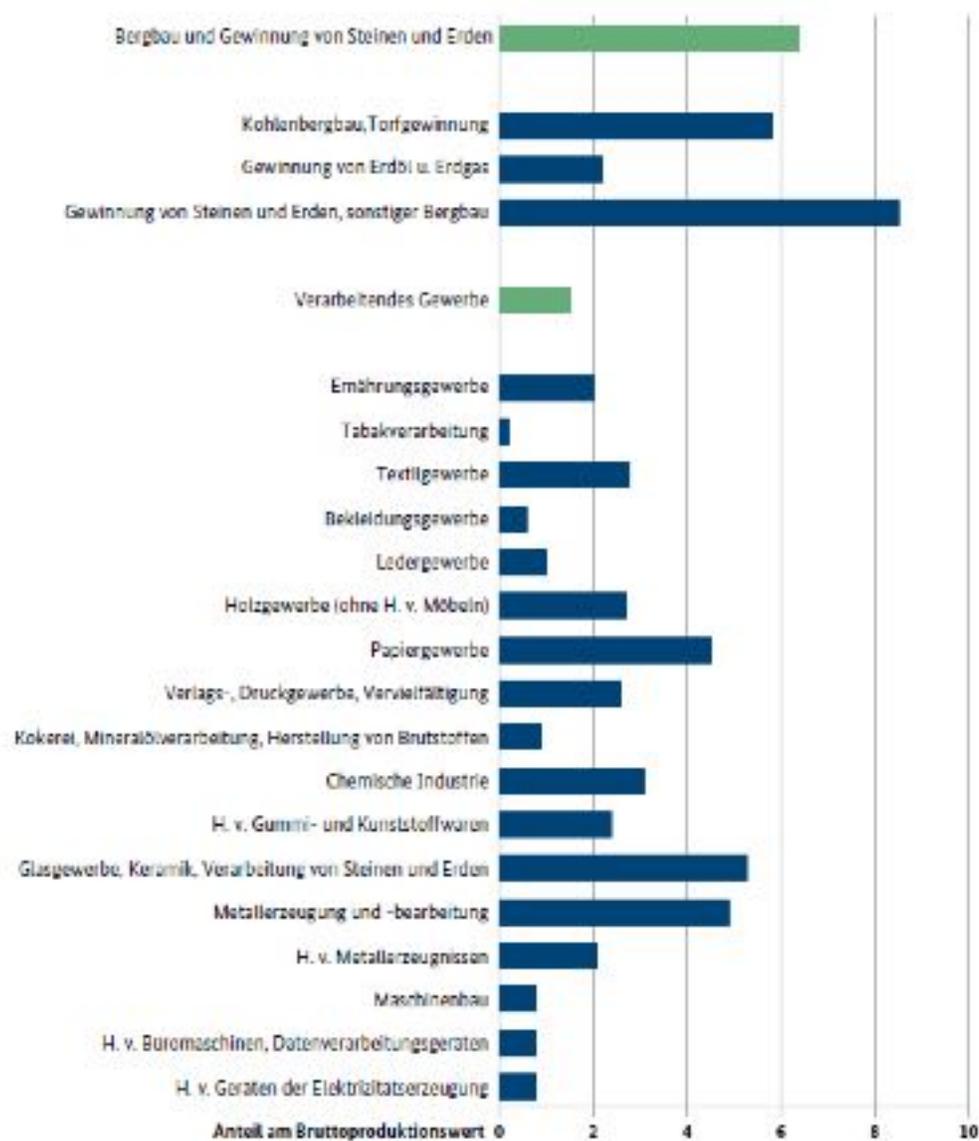


Quelle: EEX, entso-e

EUR/MWh, real 2022 **Bruttostrombezugskosten der Industrie in ausgewählten Ländern**



### 36. Energiekostenbelastung im Verarbeitenden Gewerbe und im Sektor Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (2017)



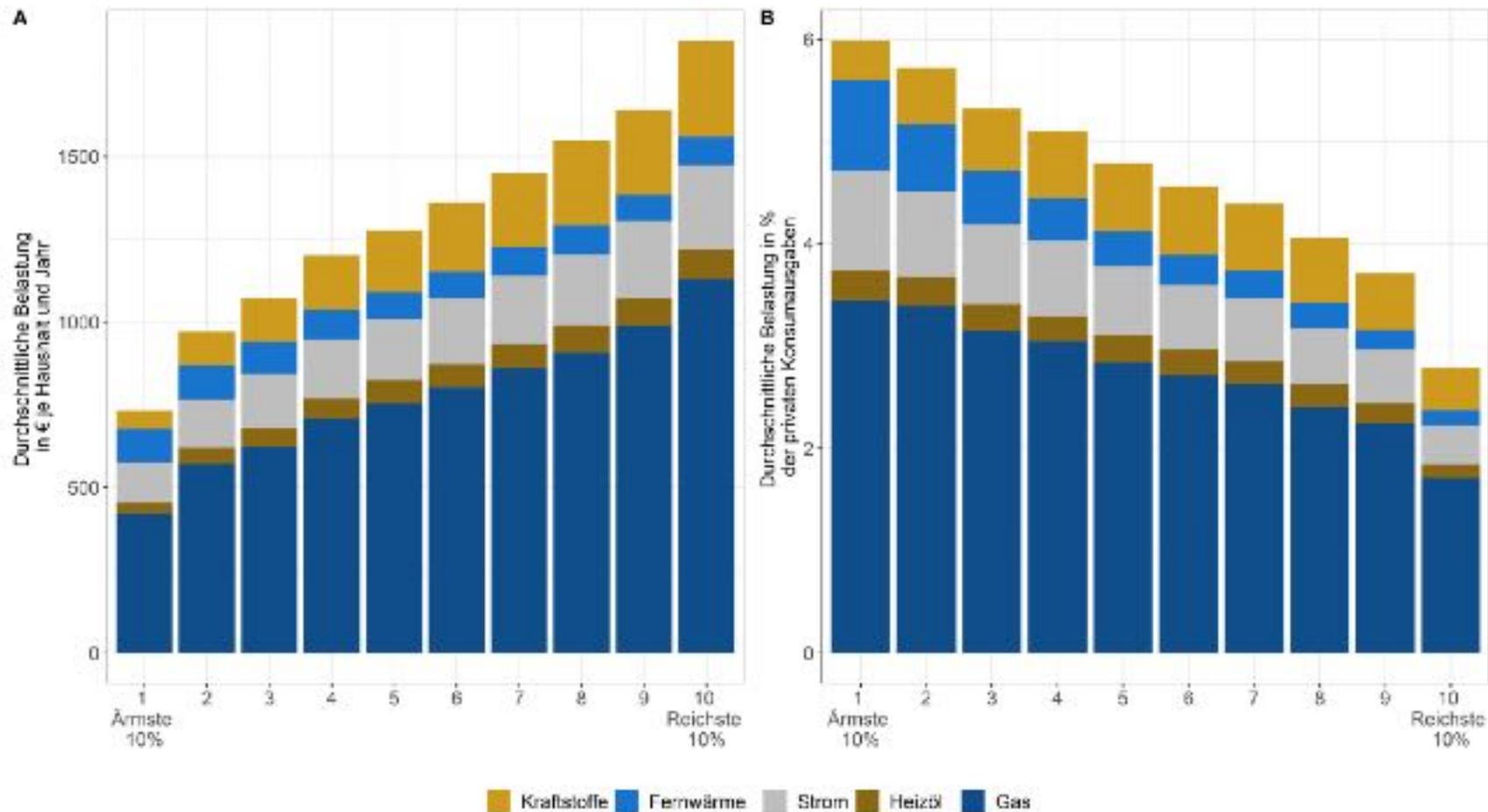
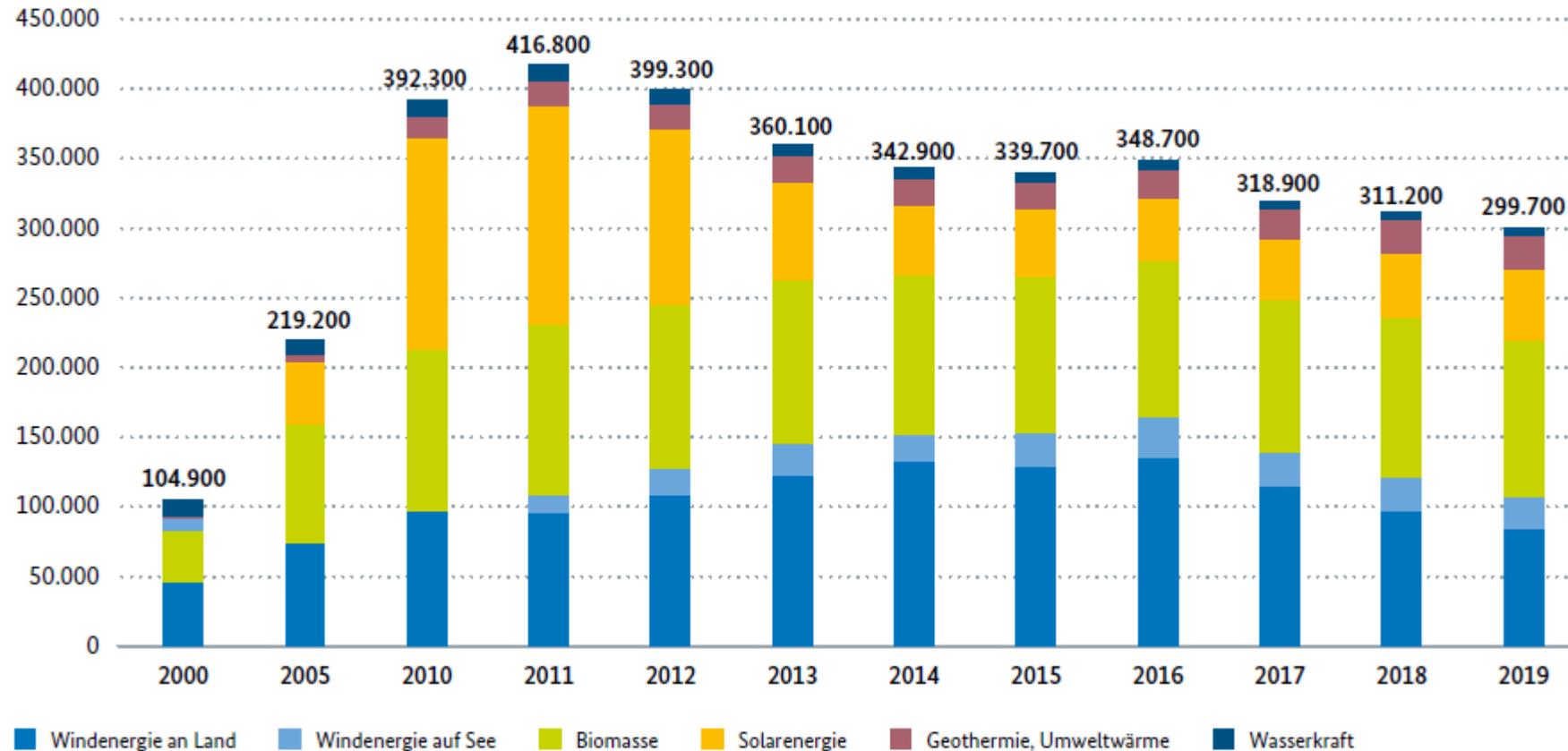


Abbildung 5: Beitrag verschiedener Energiearten zur durchschnittlichen Belastung absolut (Abbildung 5A) und relativ (Abbildung 5B), nach Einkommensdezilen. Quelle: Eigene Berechnung basierend auf EVS 2018.

[https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18\\_MCC\\_Publications/2022\\_MCC\\_Auswirkungen\\_der\\_Energiepreiskrise\\_auf\\_Haushalte.pdf](https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2022_MCC_Auswirkungen_der_Energiepreiskrise_auf_Haushalte.pdf)

## Abbildung 37: Entwicklung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland

Anzahl der Beschäftigten



Quelle: DIW, DLR, GWS [37]

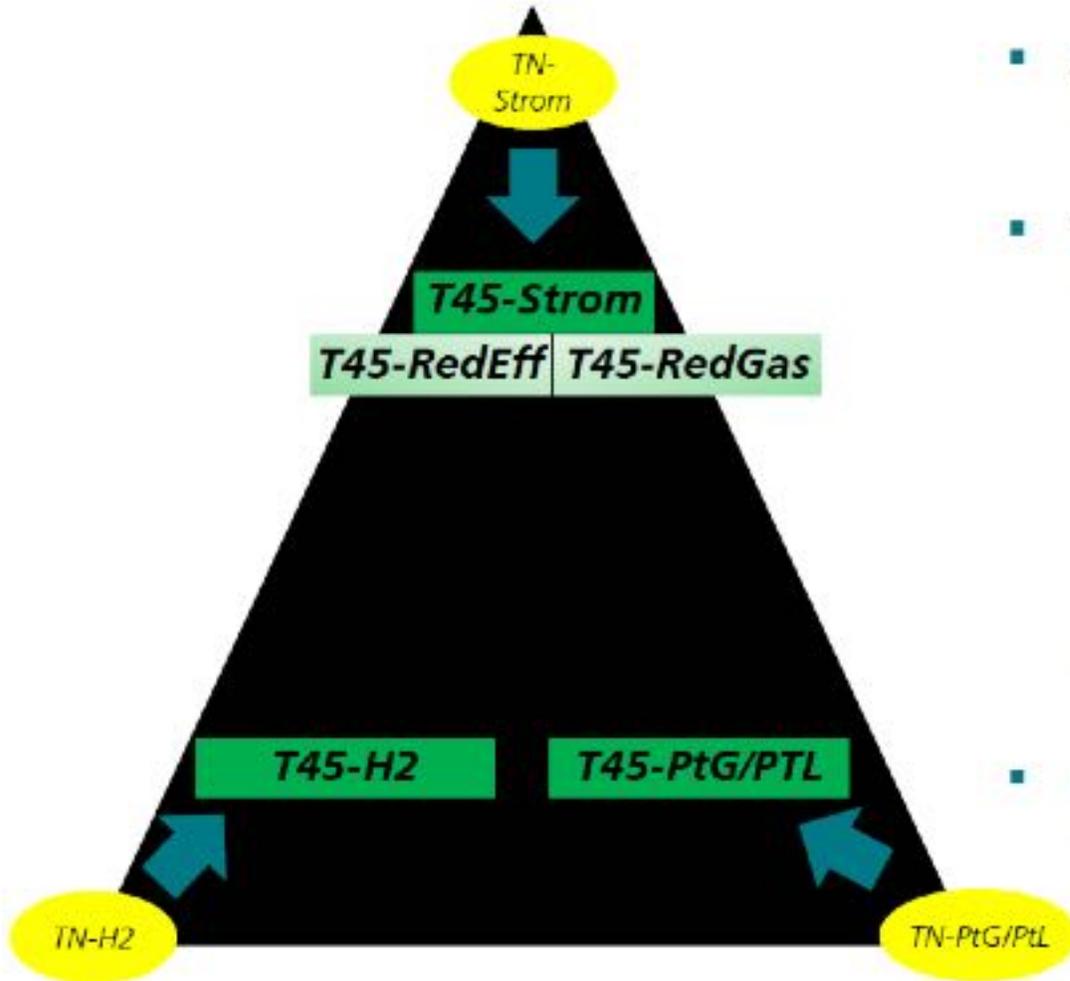
Quelle: BMWi (2021): **Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2020.**

	Rohstoffförderung	Rohstoffverarbeitung	(Teil-)Komponenten	Güter
Photovoltaik		☉ Polysilizium: China 79%	☉ Ingots/Wafer: China 97%	☉ Module: China 75%
			☉ Zellen: China 85%	
			☉ Solarglas	
Windkraft			☉ Viele Komponenten werden in China beschafft	☉ Derzeit ausreichende Kapazitäten in Europa, jedoch sinkende Wettbewerbsfähigkeit
Generatoren und Motoren (für Windkraft und Elektromobilität)	☉ Leichte Seltene Erden: China 50%	☉ Leichte Seltene Erden: China 87%	☉ Permanentmagnete: China: 94%	
	☉ Schwere Seltene Erden: China/ Myanmar: 100%	☉ Schwere Seltene Erden: China 100%		
Elektromobilität Lithium-Ionen-Batterie	📌 Lithium	📌 Lithium	☉ Kathodenmaterial: China 71%	📌 Batteriezellen
	📌 Kobalt: Kongo 72%	☉ Kobalt: China 75%		
	☉ Mangan: Südafrika 36%	☉ Mangan: China 95%		
	☉ Nickel: 📌 Indonesien 38%	☉ Nickel: China 55%		
	☉ Graphit: China 73%	☉ Graphit: China 100%	☉ Anodenmaterial: China 91%	
Elektrolyseure	☉ Iridium (PEMEL): ☉ Produktion kann nicht ausgeweitet werden. Südafrika 85%			
	☉ Scandium (HTEL, erst nach 2030/35)			

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2023):  
Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045  
Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität - Langfassung

# Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

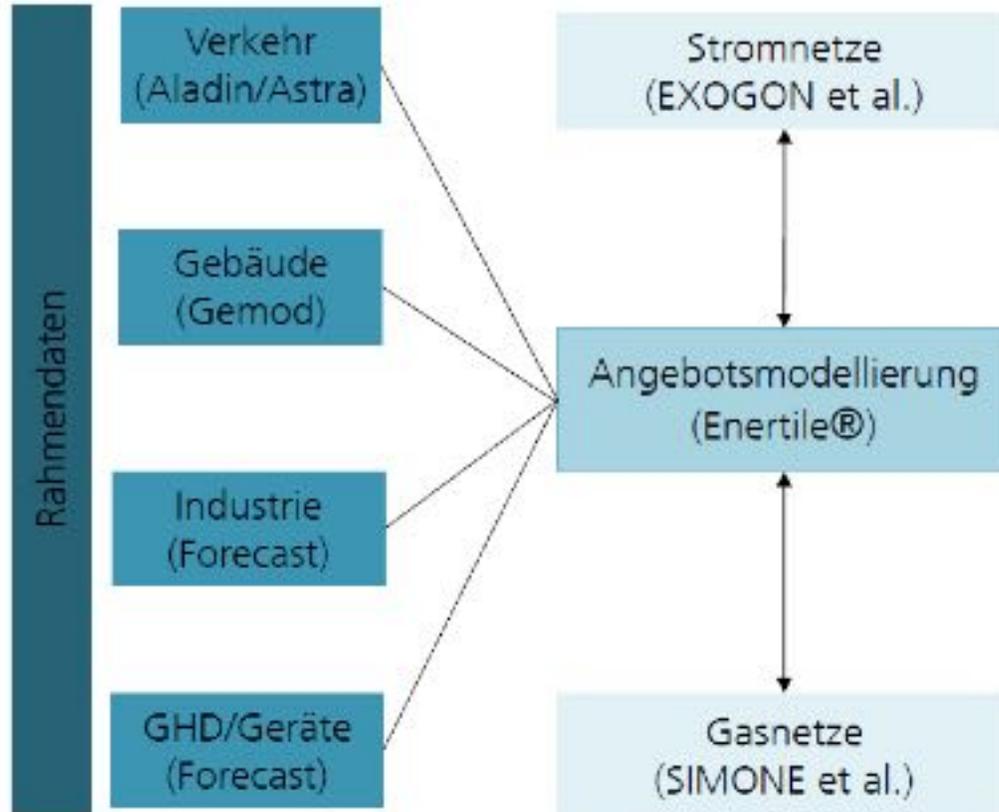
Treibhausgasneutrale Szenarien bis 2045



- **Zentrale Fragestellung:**
  - Welche techno-ökonomischen Wirkungen haben bestimmte Pfade zur Dekarbonisierung des Energiesystems?
- **Vorgehensweise:**
  - Vergleich der Dekarbonisierung des Energiesystems durch
    - starken Einsatz von Strom (*Szenario T45-Strom*)
    - starken Einsatz von Wasserstoff (*Szenario T45-H2*)
    - starken Einsatz von synthetischen Kohlenwasserstoffen (*T45-PtG/PtL*)
    - weniger Energieeffizienz (*Szenario T45-RedEff*)
    - weniger Gasverbrauch in der Transformation (*Szenario T45-RedGas*)
  - Modellierung des Transformationspfades bis 2045 mit detaillierten bottom-up Modellen
- **Mission der Langfristszenarien:**
  - Methodisch und inhaltlich lernender Prozess, um den Lösungsraum für ein treibhausgasneutrales Energiesystem immer besser „auszuleuchten“

# Modellsystem

Gekoppelte Modelle erlauben hoch aufgelöste Analysen



## ■ Vorgehensweise

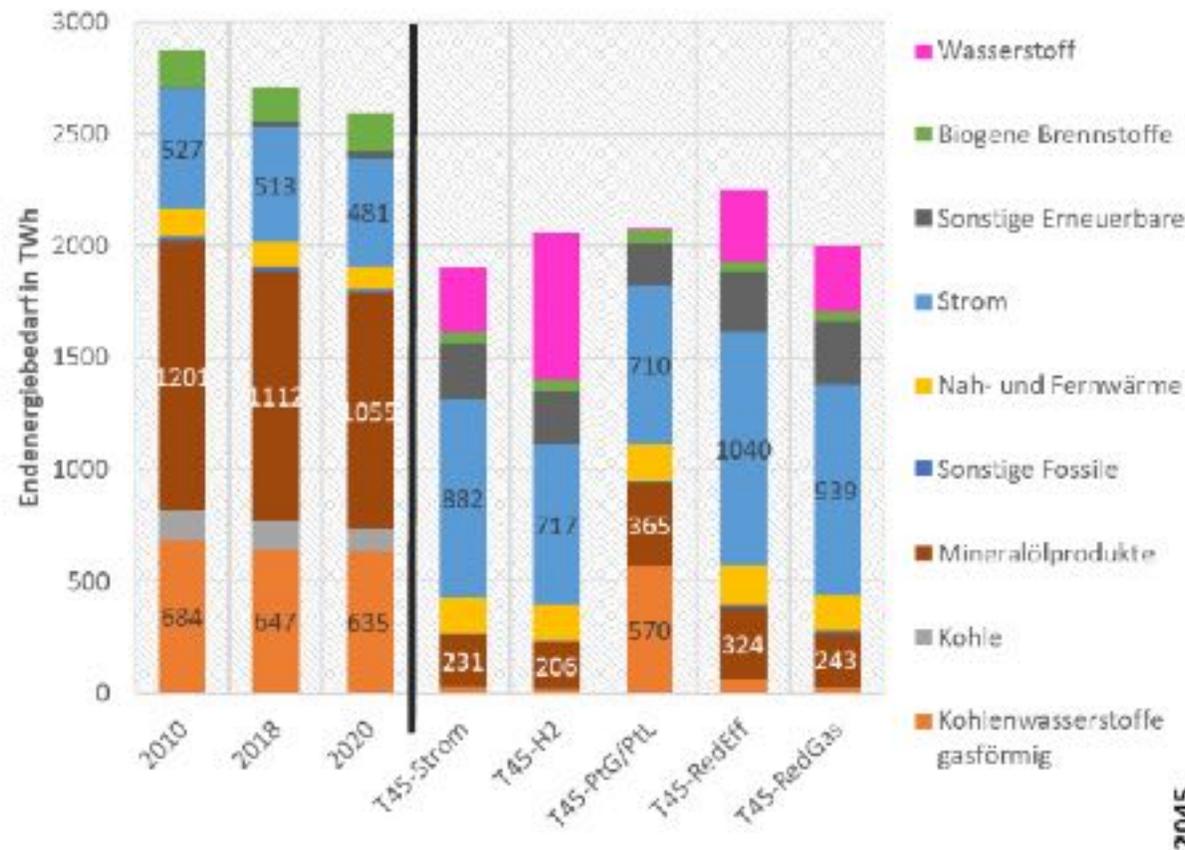
- Detaillierte Modelle berechnen Energienachfrage
- Energienachfrage wird **regionalisiert**
- Potentiale Erneuerbarer Energien werden in hoher räumlicher und **zeitlicher** (stundenscharf) Auflösung berechnet
- Bereitstellung der Energie wird optimiert und mit Netzmodellen iteriert
- Auslegung der **Netze** wird berechnet

## ■ Einordnung

- Sehr hohe Auflösung des Energiesystems
  - Beispiel Enertile (Optimierung Angebot)
    - > 188 Millionen Erzeugungsvariablen
    - Größe des Gleichungssystems > 6,8 Mio. Schreibmaschinenseiten
- Modellkette sehr rechenintensiv und aufwändig

# Endenergienachfrage inkl. stofflicher Nutzung

Strom in allen Szenarien zentraler Energieträger



## Ergebnis

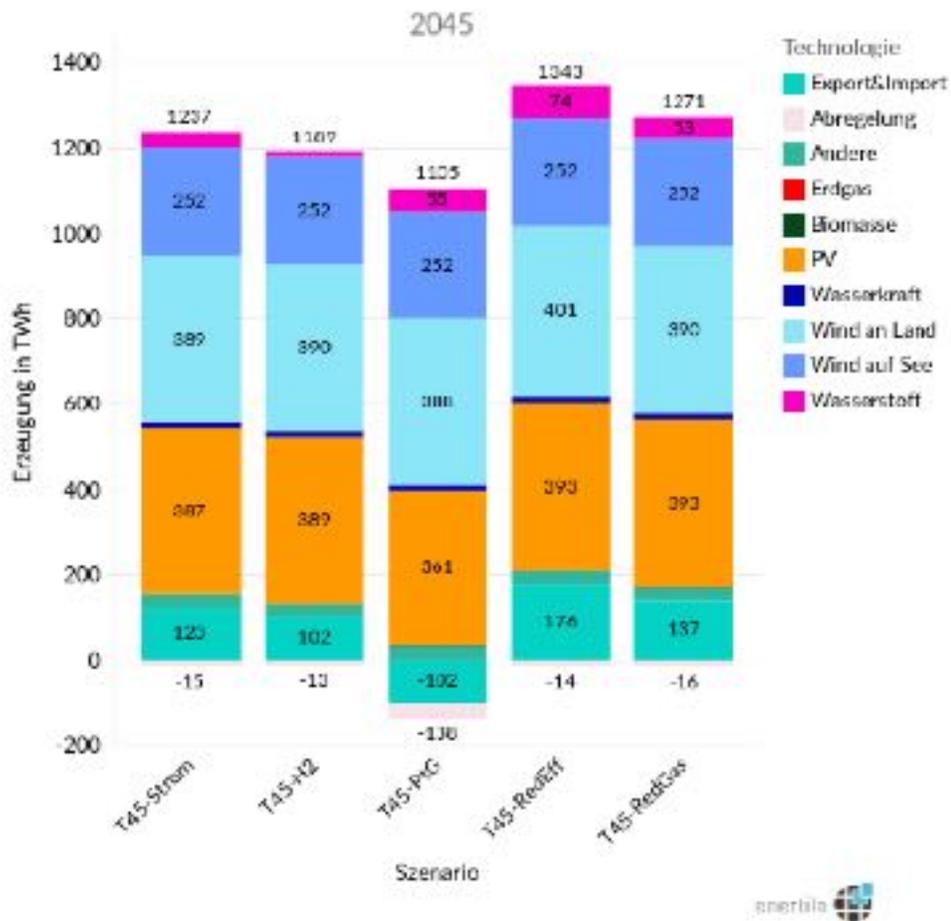
- Strombedarf 2045 zwischen 710-1040 TWh
- Wasserstoffbedarf 2045 zwischen 1 (289)-655 TWh
- Deutlicher Rückgang Kohlenwasserstoffe in allen Szenarien

## Einordnung

- Korridore der Szenarien werden kleiner
- Nah- und Fernwärme in allen Szenarien mit Aufwuchs
- Hoher Strom- und Wasserstoffbedarf in allen Szenarien (außer T45-PtG/PTL)
- Wasserstoffbedarf erhöht den Strombedarf auf der Erzeugungsseite zusätzlich
- Die Versorgungsaufgabe auf der Angebotsseite wird herausfordernder

# Stromerzeugung Deutschland 2045: Szenariovergleich

Ausbauziele für Erneuerbare dominieren das System



## Ergebnisse

- Im Grundsatz sehen die Stromsysteme in allen Szenarien strukturell gleich aus; im Detail gibt es jedoch Abweichungen
- Die Stromerzeugung in 2045 variiert zwischen ca. 1100 und 1340 TWh (höchste Werte im Szenario *T45-RedGas* und *T45-Strom*, niedrigste im Szenario *T45-PtG*)
- Deutschland importiert im Jahr 2045 nennenswert Strom in allen Szenarien mit Ausnahme des *T45-PtG* (hier Export)
- Wasserstoffrückverstromung stabilisiert das Stromsystem in allen Szenarien

## Einordnung

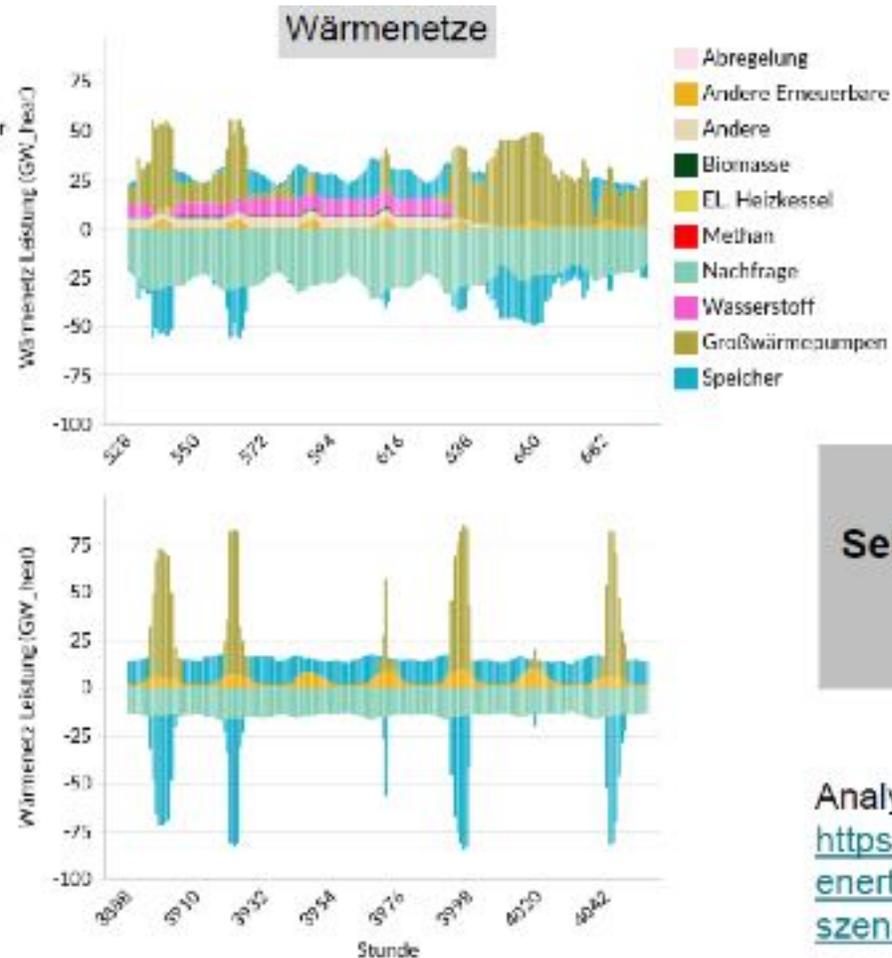
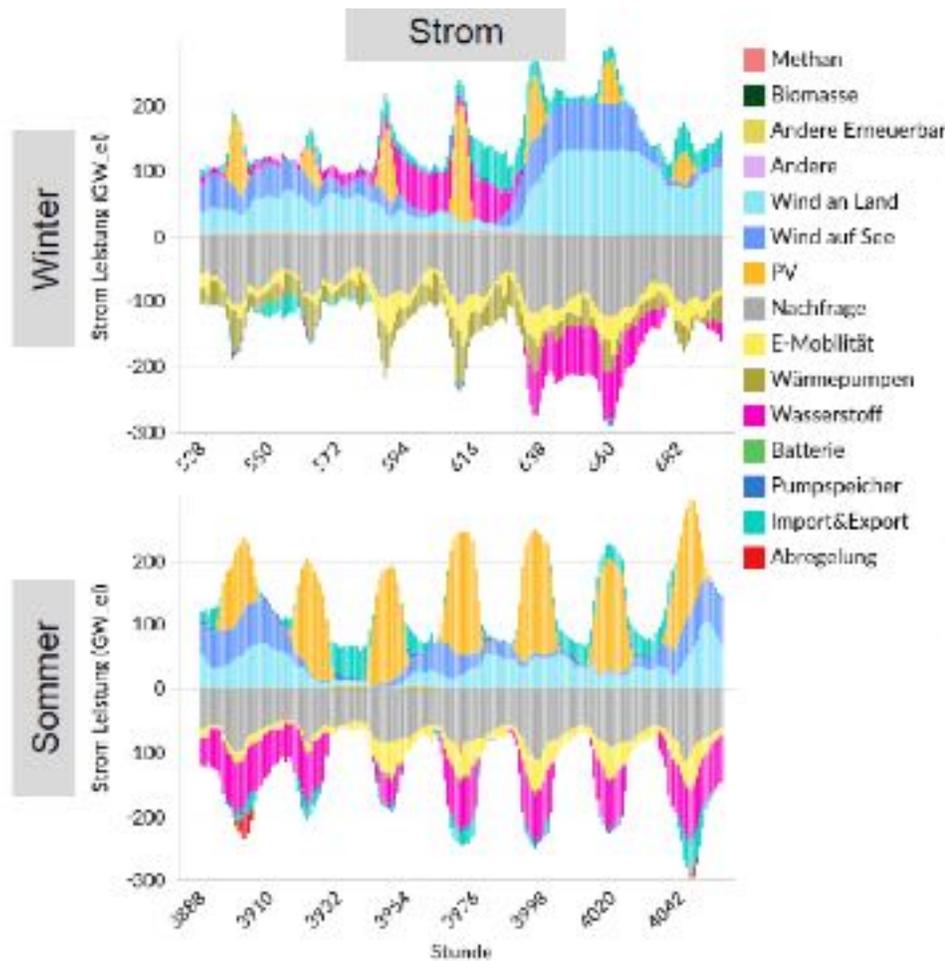
- Politische Ziele definieren den Stromerzeugungsmix in Deutschland
- Wasserstoff hat eine Rolle im Stromsystem
- Deutschland ist weiterhin ein Stromimporteur (mit Ausnahme des *T45-PtG*)

## Schlussfolgerungen

- Verbindungen des deutschen Stromnetzes ins europäische Ausland sind essentiell
- Das Stromsystem wäre für das Szenario *T45-PtG* überdimensioniert

# Sektorenkopplung – Dispatch Winter und Sommer 2045

Flexibilität im Energiesystem ist zentral



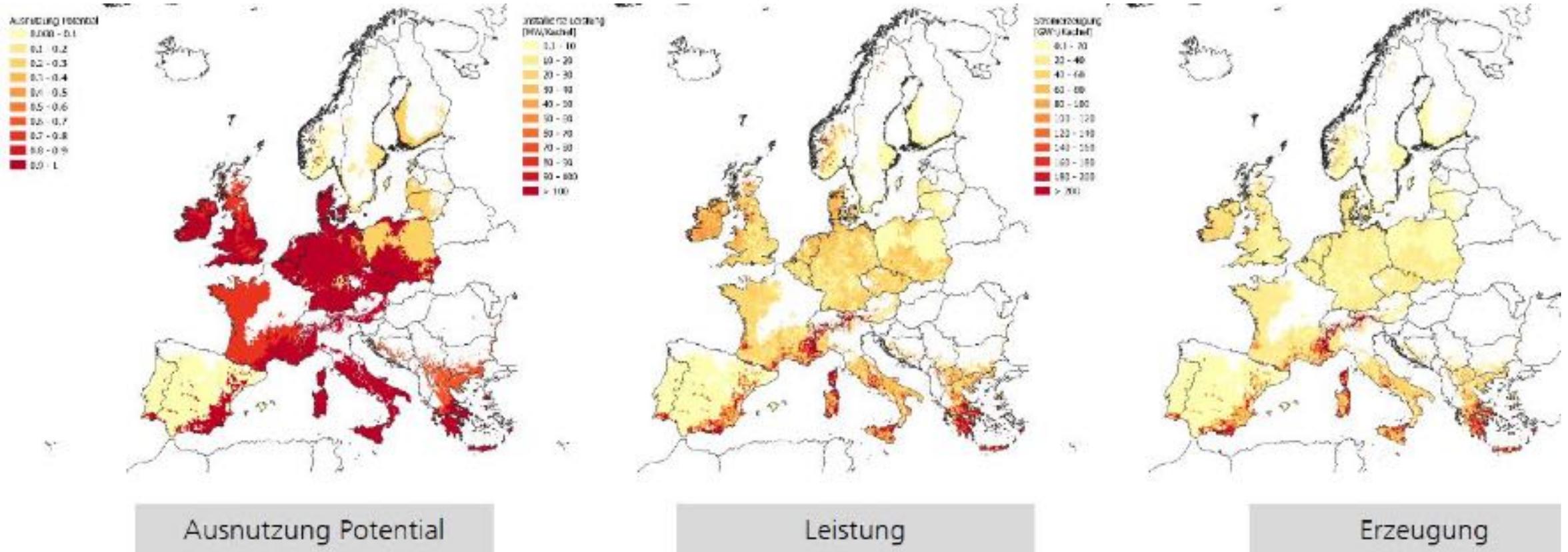
Beispiel Dispatch in (Winterwoche) und (Sommerwoche)

**Sektorkopplung schafft Flexibilität**

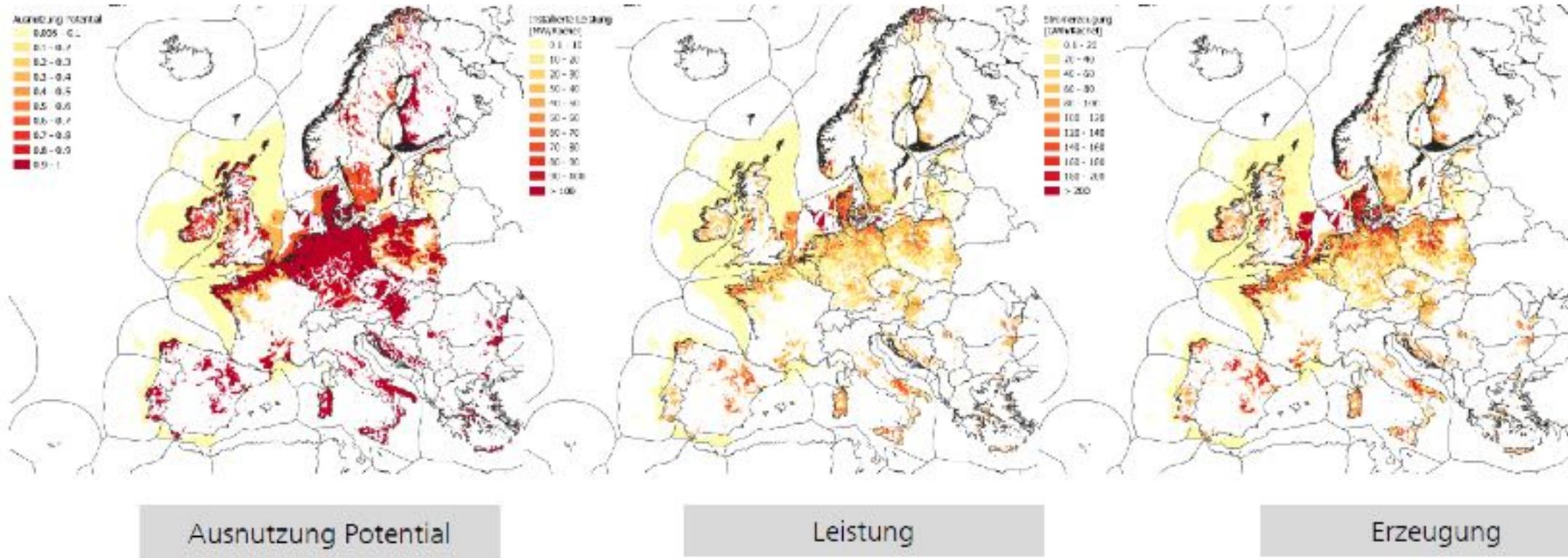
Analysieren Sie die Daten unter:  
<https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/szenario-explorer/angebot.php>

# Potentialausnutzung PV-Freifläche 2045:Szenario *T45-Strom*

Starker PV-Ausbau in Europa



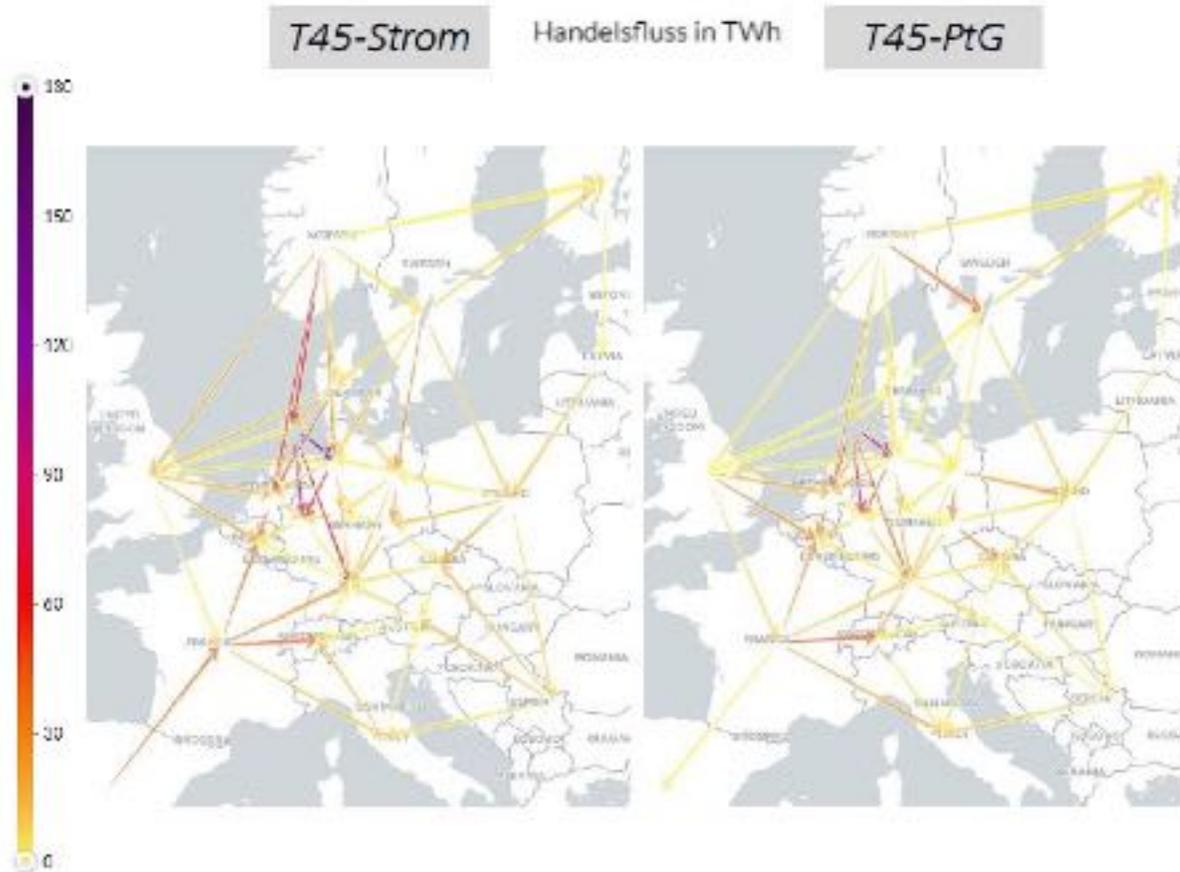
# Potentialausnutzung Wind 2045: T45-Strom



Onshore: FR: Max 70 GW; NO: Max 65 GW; UK & IE: Max 70 GW  
Offshore: FR: Min 25 GW; UK & IE: Min 85 GW

# Stromhandel 2045

Stromhandel bedeutend für den Ausgleich der Erneuerbaren



## Ergebnisse

- Starke Transportachsen von Nord nach Süd in Deutschland
- Starke Transportachsen in Richtung Zentraleuropa

## Einordnung

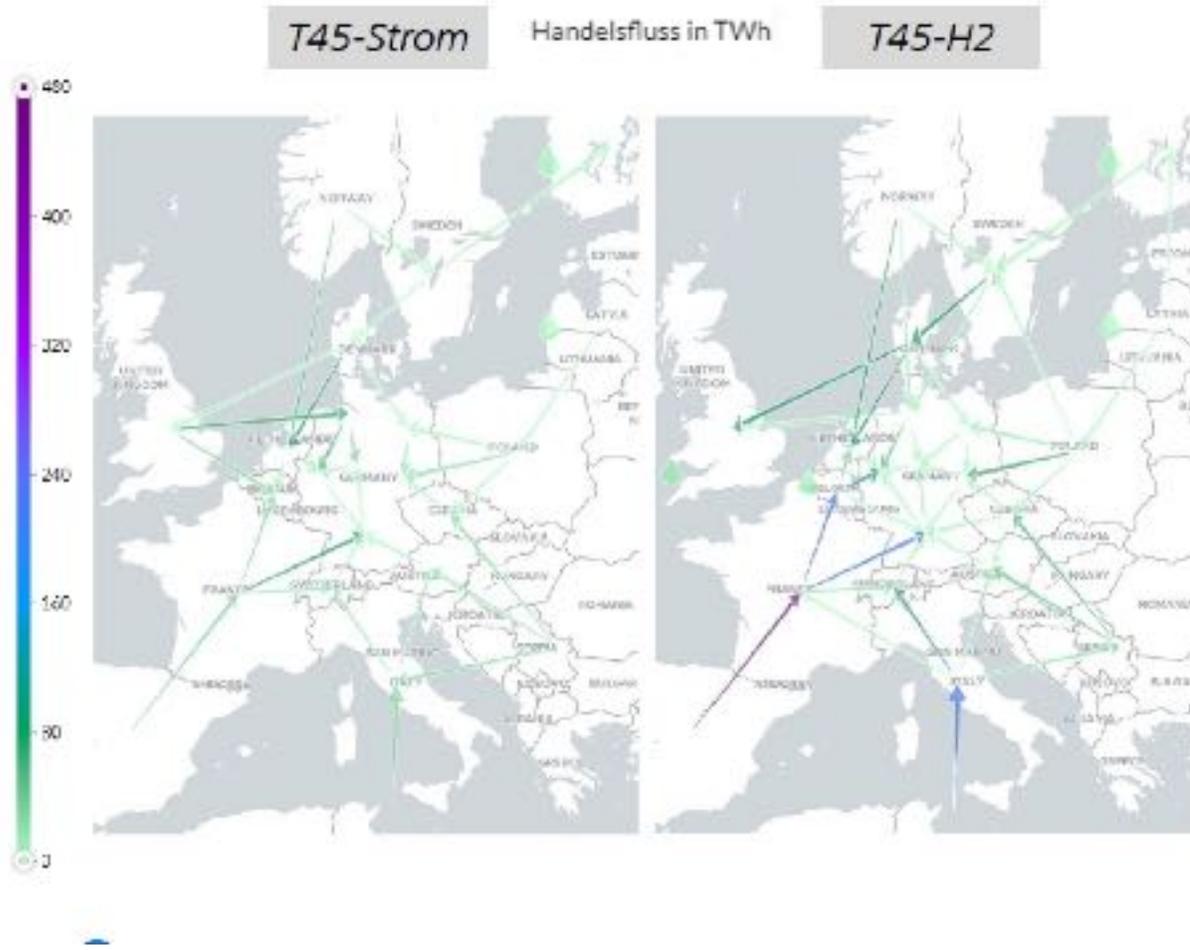
- Die Größe der Transportachsen wird stark durch die nationalen Ausbauten der Erneuerbaren Energien geprägt
- Dieser Ausbau der Erneuerbaren und der Transportachsen ist für Deutschland nur begrenzt beeinflussbar

## Schlussfolgerung

- Ausbau der europäischen Transportachsen ist zentral für die Energiewende

# H2-Handel 2025

Ein robustes H2-Netz in Europa ist zentral



## Ergebnisse

- In allen Szenarien entsteht in Europa ein europäisches Wasserstoffnetz
  - Starke Netzanbindungen aus den Rändern nach Zentraleuropa
  - Nord-Süd Achse in Deutschland
  - Sehr ähnliche Wasserstoffnetzstruktur, Unterschiede nur beim Handelsvolumen
  - Italien bezieht Wasserstoff aus MENA Region: nur sehr geringe Schiffsimporte von reinem Wasserstoff in Europa
  - Derivate kommen überwiegend aus anderen Regionen der Welt

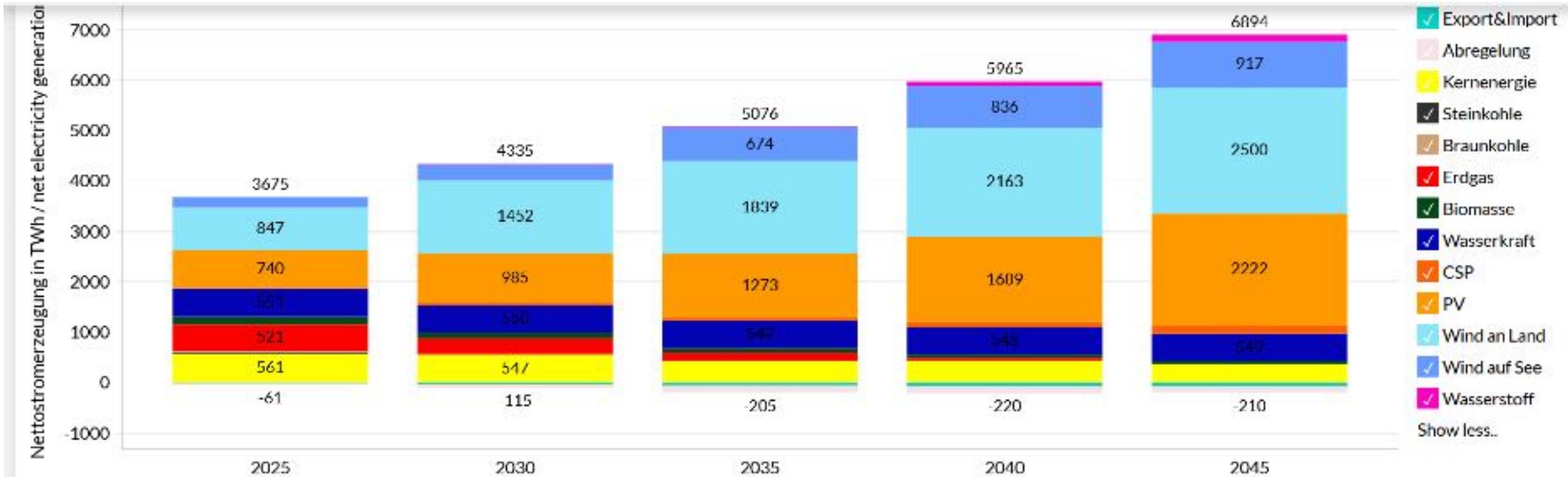
## Einordnung

- Der Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Transportachsen ist zentral für die Entwicklung der H<sub>2</sub>-Exportregionen

## Schlussfolgerung

- Eine europäische Wasserstoffinfrastruktur ist zentral und sollte auf verschiedene „Exportregionen“ ausgelegt werden

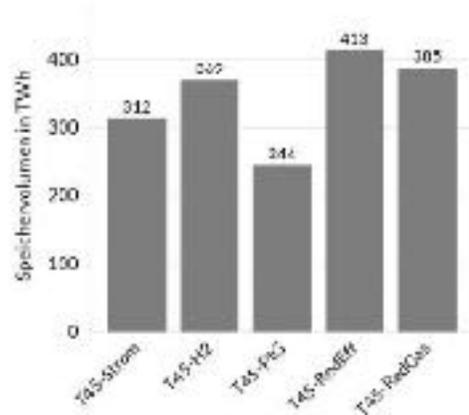
# Bruttostromerzeugung Europa T45



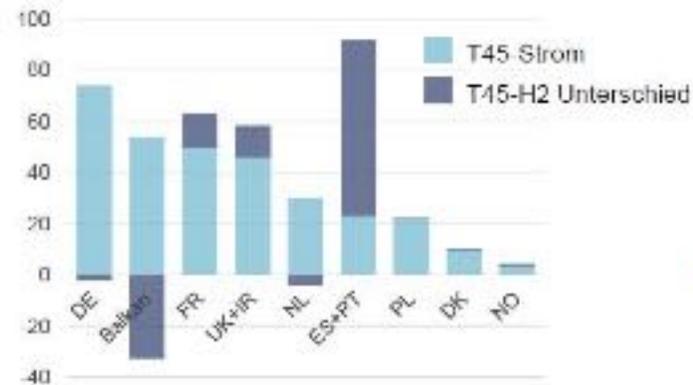
# Wasserstoff-Speicherung in Europa in 2045



H2-Speichervolumen (TWh) In Europa



H2-Speichervolumen (TWh) nach Standorten



## Ergebnisse

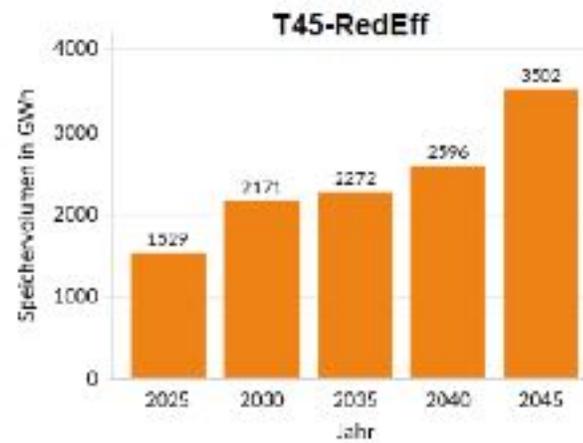
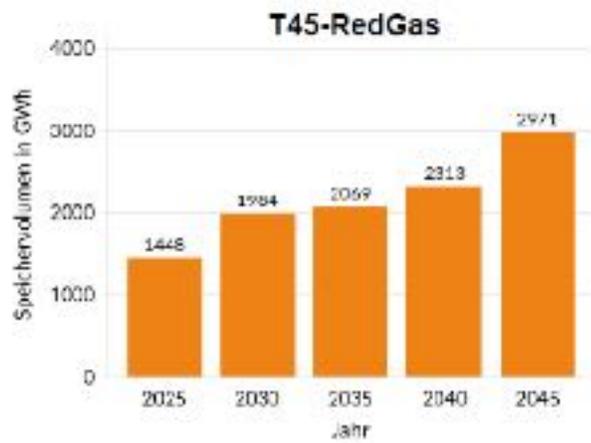
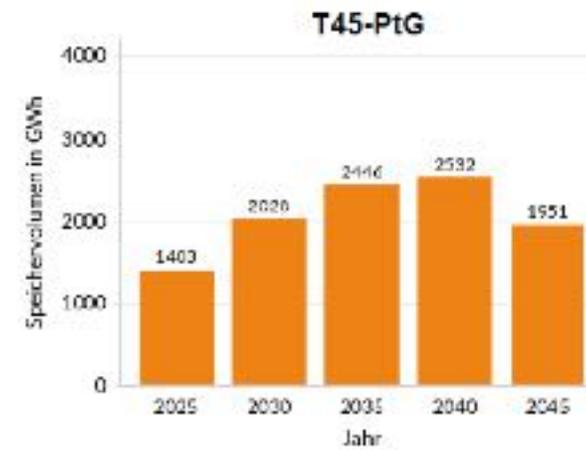
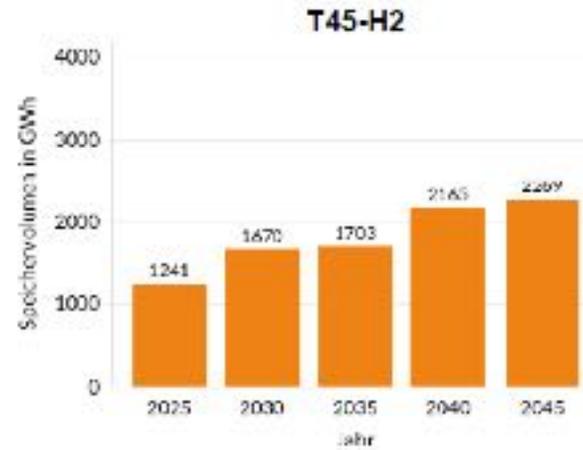
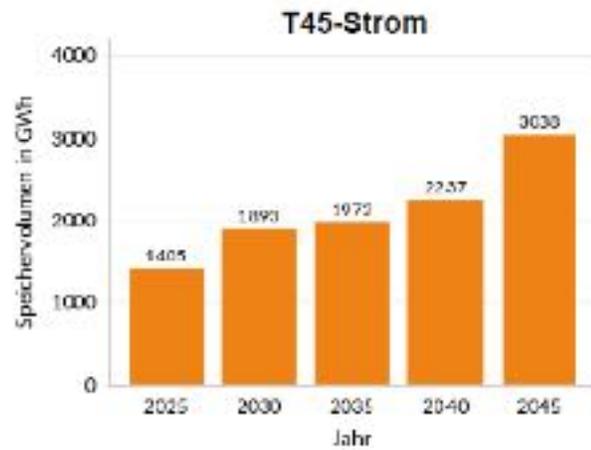
- Speicher sind in Deutschland im Norden konzentriert
- T45-Strom: Deutschland mit größtem H<sub>2</sub>-Speicherbedarf in Europa
- insgesamt folgt Speicherallokation der H<sub>2</sub>-Erzeugung

## Schlussfolgerung

- Neue H<sub>2</sub>-Kavernen benötigt

# Wärme-Speicher Europa

## Szenariovergleich

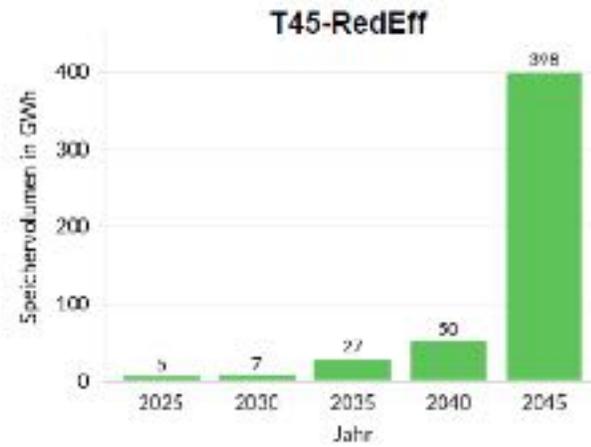
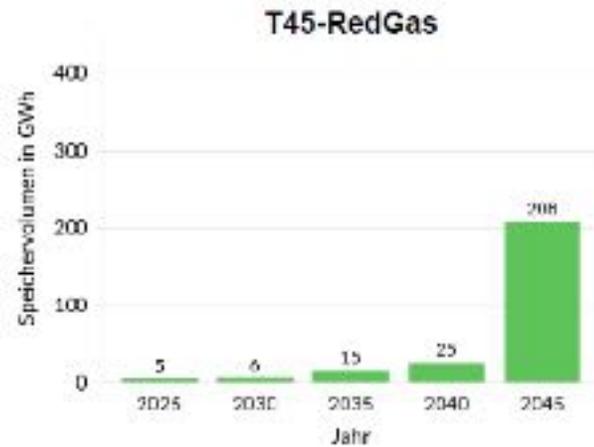
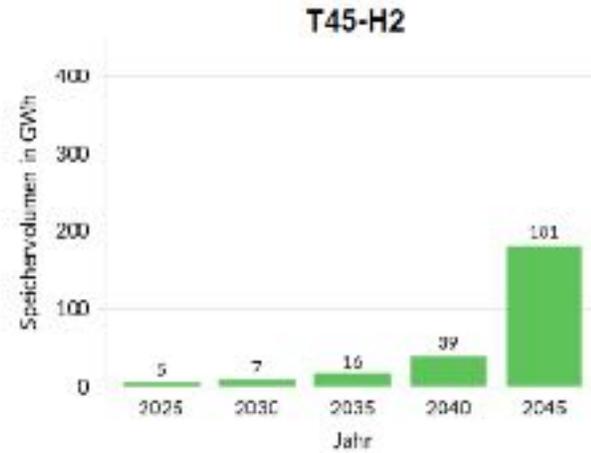
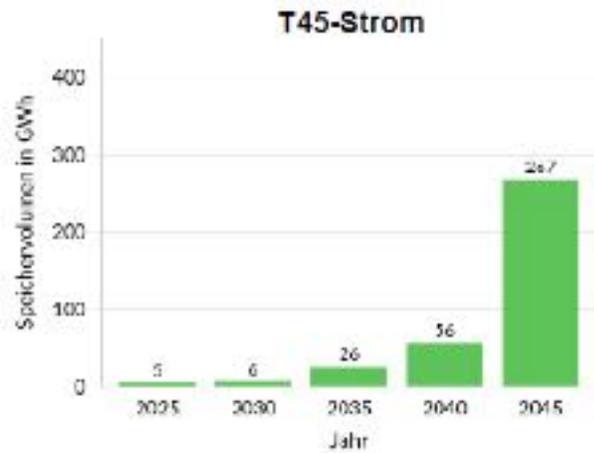


### Ergebnisse

- Die Wärmespeicher wachsen im Laufe der Zeit an; Verdoppelung des Volumens zw. 2025 und 2045
- Im Szenario T45-H2 ist der Bedarf am geringsten, im Szenario T45-RedEff am höchsten

# Batterie-Speicher Europa

## Szenariovergleich



### Ergebnisse

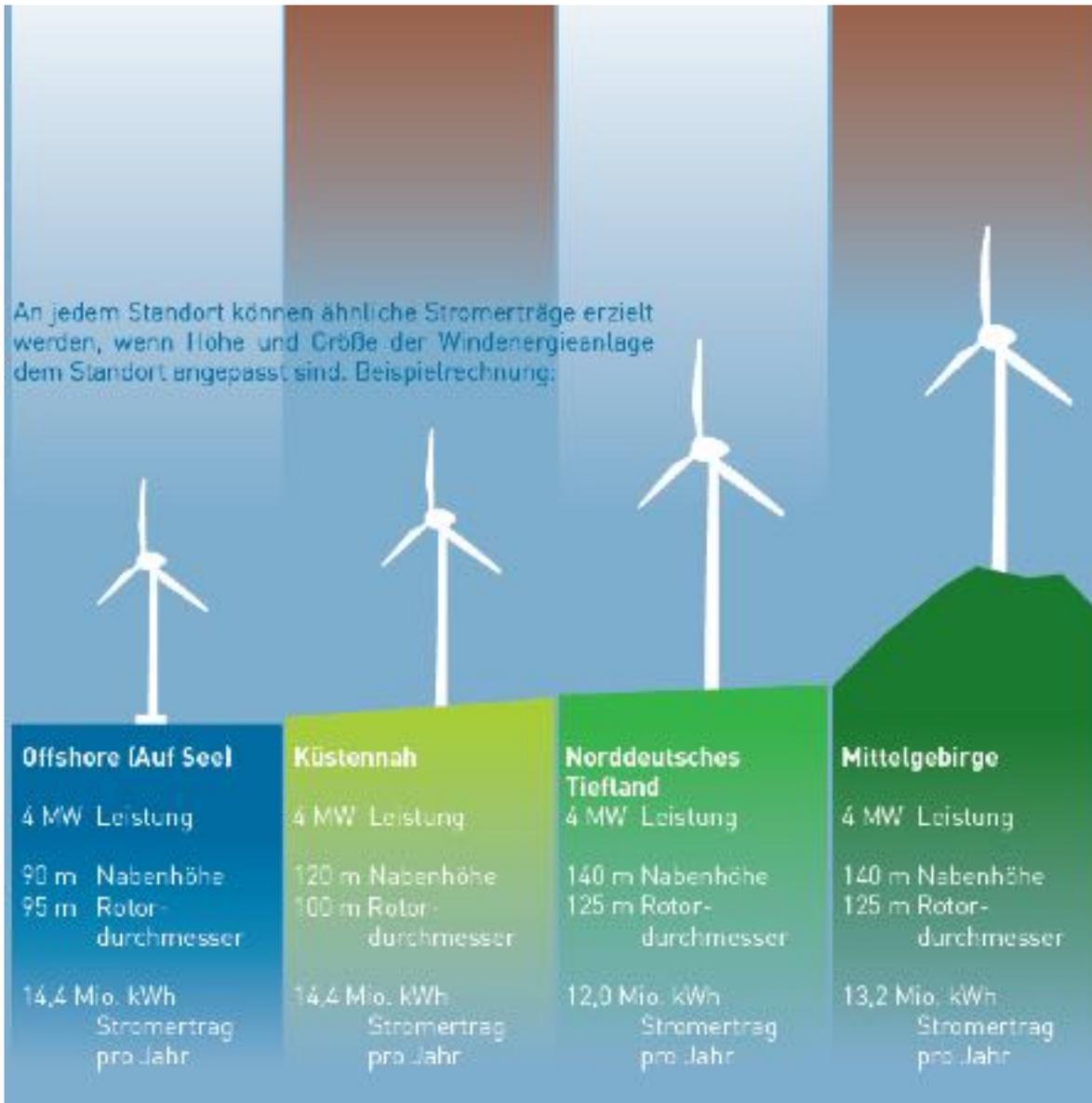
- Begrenzter Bedarf an Batteriespeichern als Flex-Option
- Dennoch exponentieller Anstieg nach 2030
- Batteriespeicher-Ausbau vor allem in Italien
- In Deutschland verbleibt das Speichervolumen annahmegetrieben bei 5 GWh

# Unabhängig von Ergebnissen energiewirtschaftlicher Systemanalysen werden Speicher benötigt

- für mobile Anwendungen
- für Frequenz- und Spannungshaltung
- in schwachen Verteilnetzen
- bei zu schwachen Ausbau der Übertragungsnetze national wie international
- bei dem Wunsch nach mehr Energieautarkie
- bei weniger flexiblen Lasten im Netz (z.B. E-Mobilität, H<sub>2</sub>-Elektrolyse)
- bei deutlichen Veränderungen des Wetters auf Grund der Klimaänderung



An jedem Standort können ähnliche Stromerträge erzielt werden, wenn Höhe und Größe der Windenergieanlage dem Standort angepasst sind. Beispielrechnung:



Quelle: Agentur für erneuerbare Energien  
([http://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/42.aee\\_Durchblick\\_EE\\_2013\\_web.pdf](http://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/42.aee_Durchblick_EE_2013_web.pdf))

## Monatliche Stromerzeugung aus Windenergie auf See

Bruttostromerzeugung 2022 bisher: 17 Mrd. kWh\*

(Veränderung zum Vorjahreszeitraum insgesamt: +4,9 %)



Quellen: ZSW, BDEW; Stand 10/2022

\* vorläufig

[https://www.bdew.de/media/documents/Stromerz\\_Windenergie\\_auf\\_See\\_Vgl\\_VJ\\_monatlich\\_online\\_o\\_quartalsweise\\_Ba\\_27102022.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Stromerz_Windenergie_auf_See_Vgl_VJ_monatlich_online_o_quartalsweise_Ba_27102022.pdf)

# Windkraftwerke

---

## Vorteile (allgemein)

- unabhängig von der Tageszeit
- höhere Erträge im Winterhalbjahr (Wärmepumpe)

## Nachteile (allgemein)

- Flauten
- Gefährdung von Vögeln

## Nachteile (Onshore)

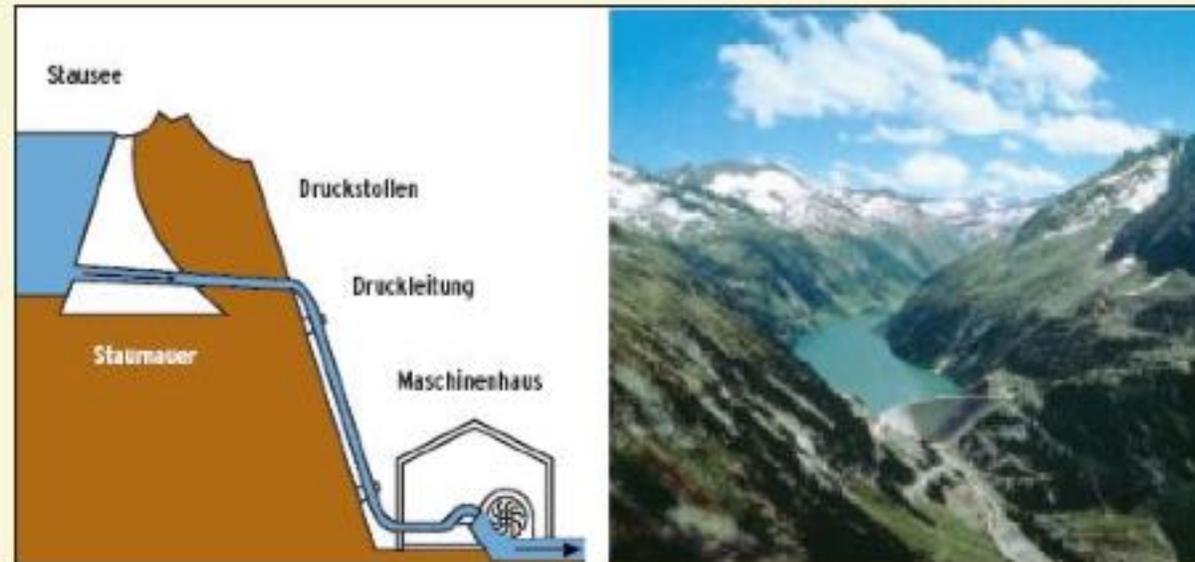
- Beeinträchtigung des Landschaftsbilds
- Schall / Reflexionen / Schattenwurf
- Gefährdung von Fledermäusen möglich
- Landschaftsverbrauch/Bodenverdichtung (Bauphase)

## Nachteile (offshore)

- Beeinträchtigung der Seefahrt und Fischerei
- Beeinträchtigung von Meerestieren während der Bauzeit
- Stromleitungen erforderlich

→ Prinzip eines Speicherkraftwerks

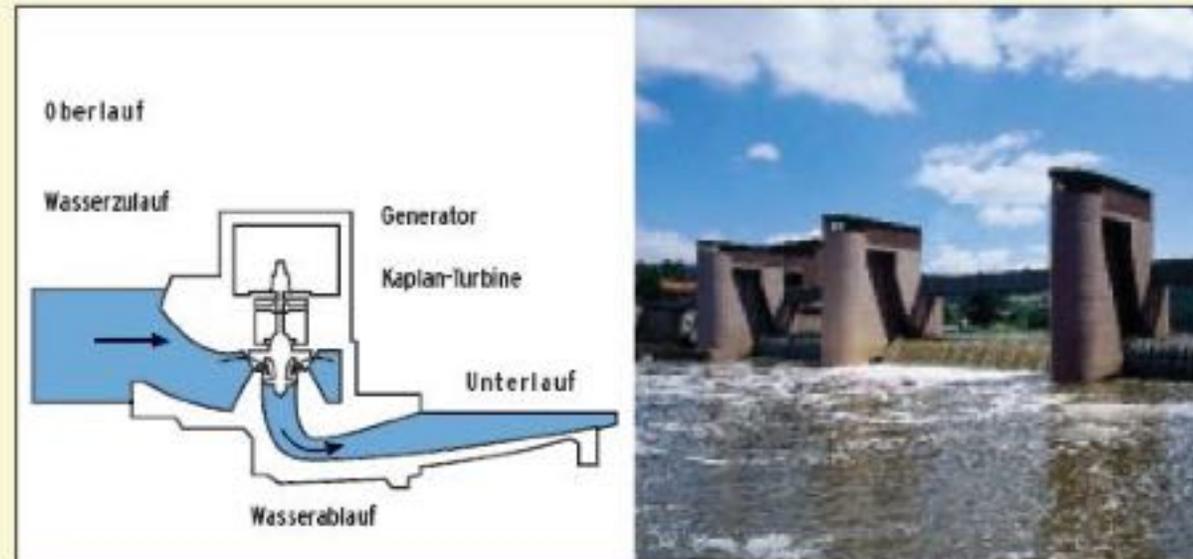
Quelle: Werksfoto Tauernkraft/Verbund



Beispiel und Prinzip eines Talsperren-Speicherkraftwerks

→ Prinzip eines Laufwasserkraftwerks

Quelle: ExpoStadt



Beispiel und Prinzip eines Laufwasserkraftwerks

# Wasserkraftwerke

## Vorteile (allgemein)

- Grundlastfähig/regelbar
- Ausgereifte Technik

## Nachteile (allgemein)

- nicht überall verfügbar

## Nachteile (Laufwasserkraftwerke)

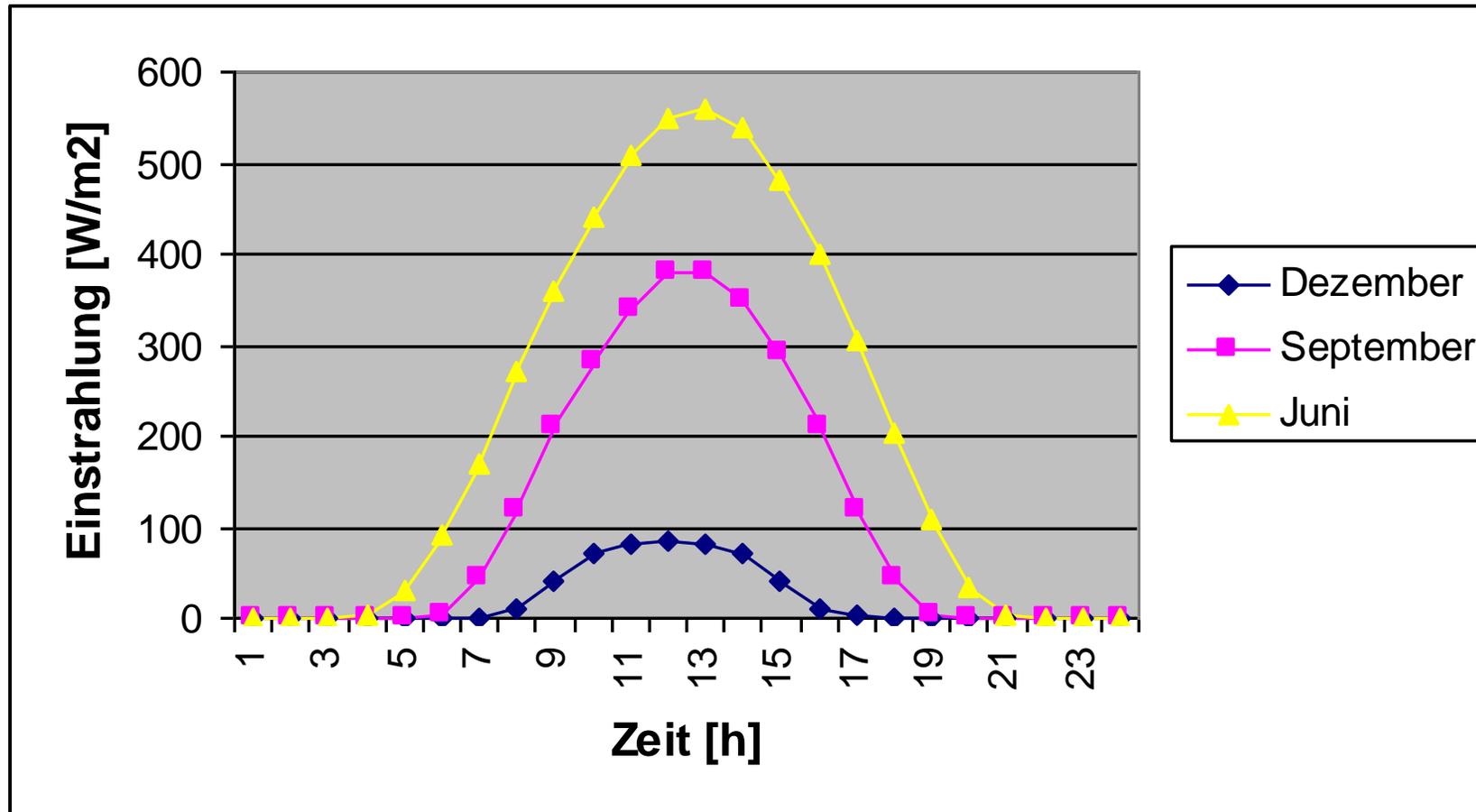
- Behinderung der Schifffahrt
- Behinderung der Fischwanderung möglich
- Sedimentverlagerungen gestört
- Abschaltung bei Hoch- und Niedrigwasser

## Nachteile (Speicher-/Pumpspeicherkraftwerke)

- Beeinträchtigung von Natur- und Kulturräumen



# Tagesgang PV



Quelle: Kaltschmitt, Wiese

# — Photovoltaik

## **Vorteile (allgemein)**

- Ausgereifte Technik

## **Vorteile (Aufdachanlagen)**

- Kein Flächenverbrauch
- Auch kleine Anlagen privat möglich

## **Vorteile (Freiflächenanlagen)**

- Kostengünstige Aufstellung
- Große geeignete Flächen vorhanden
- Erforderlich für Energiewende

## **Nachteile (allgemein)**

- Tageszeit-, Jahreszeit- und Wetterabhängig

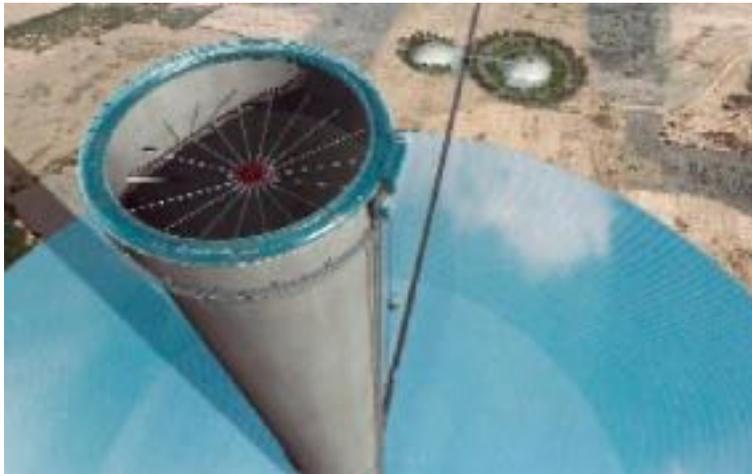
## **Nachteile (Aufdachanlagen)**

- Behinderung weiterer Dachflächennutzung möglich
- Behinderung der Feuerwehr im Brandfall möglich

## **Nachteile (Freiflächenanlagen)**

- Beeinträchtigung von Naturräumen möglich
- Flächenkonkurrenz zu Landwirtschaft

# Konzentrierende solarthermische Anlagen zur Stromerzeugung und Prozesswärmeerzeugung



# — Biomasse

## Vorteile

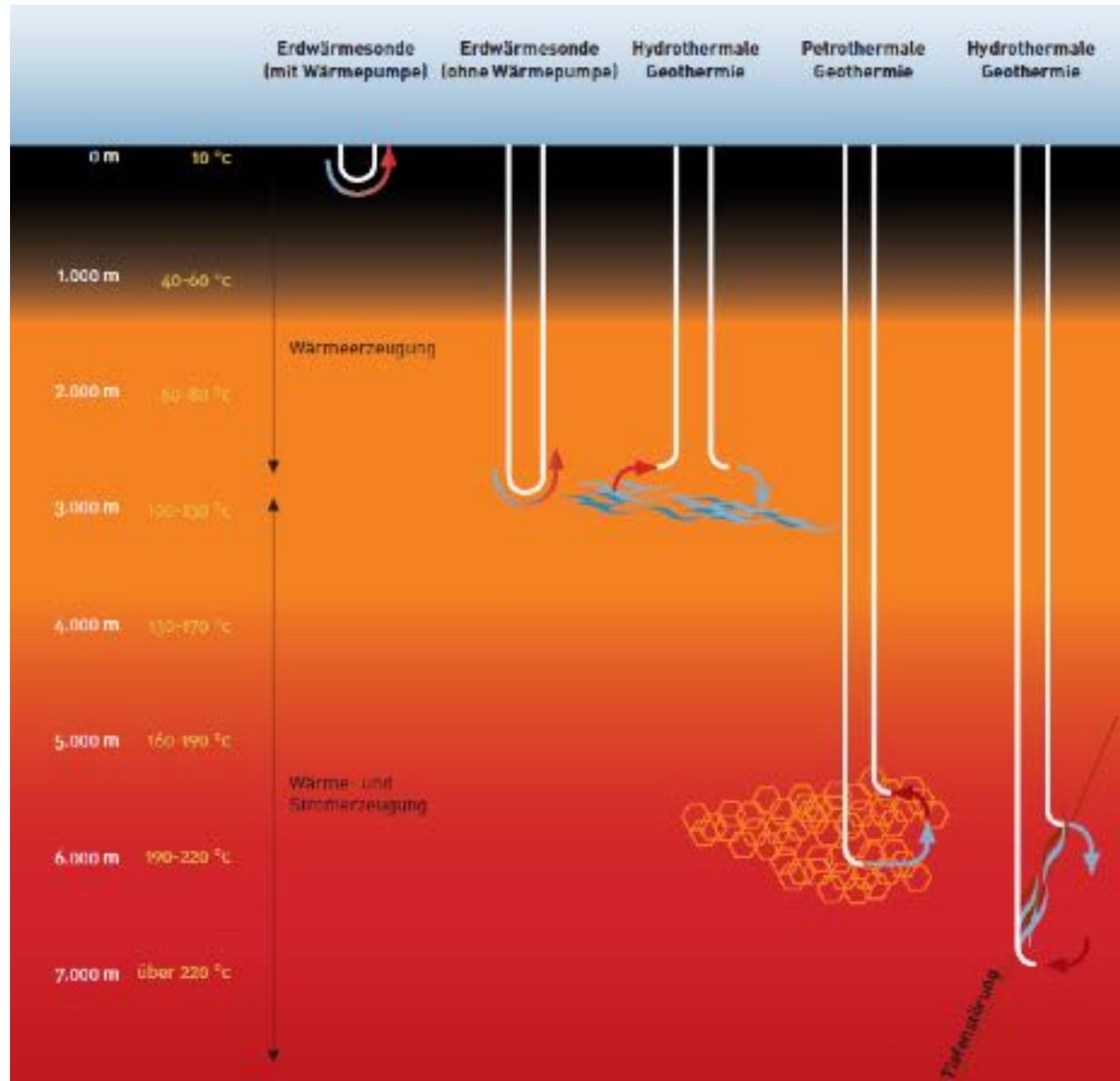
- Ganzjährig verfügbar
- Speicherbar
- Grundlastfähig
- Vielseitig anwendbar  
(Wärme, Strom, Treibstoff)

## Nachteile

- Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion
- Geringere Flächenerträge als PV und Wind

## → Ökologische Vor- und Nachteile von Biokraftstoffen

Vergleichsparameter	Vorteile für Bioenergieträger	Nachteile für Bioenergieträger
Ressourcenverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsparung fossiler Energien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbrauch mineralischer Ressourcen</li> </ul>
Treibhauseffekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringere Emission von Treibhausgasen</li> </ul>	
Stratosphärischer Ozonabbau		<ul style="list-style-type: none"> <li>• höhere N<sub>2</sub>O-Emissionen</li> </ul>
Versauerung		<ul style="list-style-type: none"> <li>• stärkere Versauerung</li> </ul>
Fotosmog		<ul style="list-style-type: none"> <li>• höheres Ozonbildungspotenzial</li> </ul>
Eutrophierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>• höhere NO<sub>x</sub>- und NH<sub>3</sub>-Emissionen</li> <li>• mögliche Gefährdung der Oberflächengewässer</li> </ul>
Human- und Ökotoxizität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringere SO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>• geringere Meeresverschmutzung - Exploration und Transport von Rohöl werden vermieden</li> <li>• geringere Verschmutzung durch Leckagen nach Unfällen</li> <li>• geringere Toxizität / bessere Bioabbaubarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mögliche Belastung von Oberflächengewässern durch Pestizide</li> <li>• mögliche Belastung des Grundwassers durch Nitrat</li> </ul>



# — Geothermie

## Vorteile

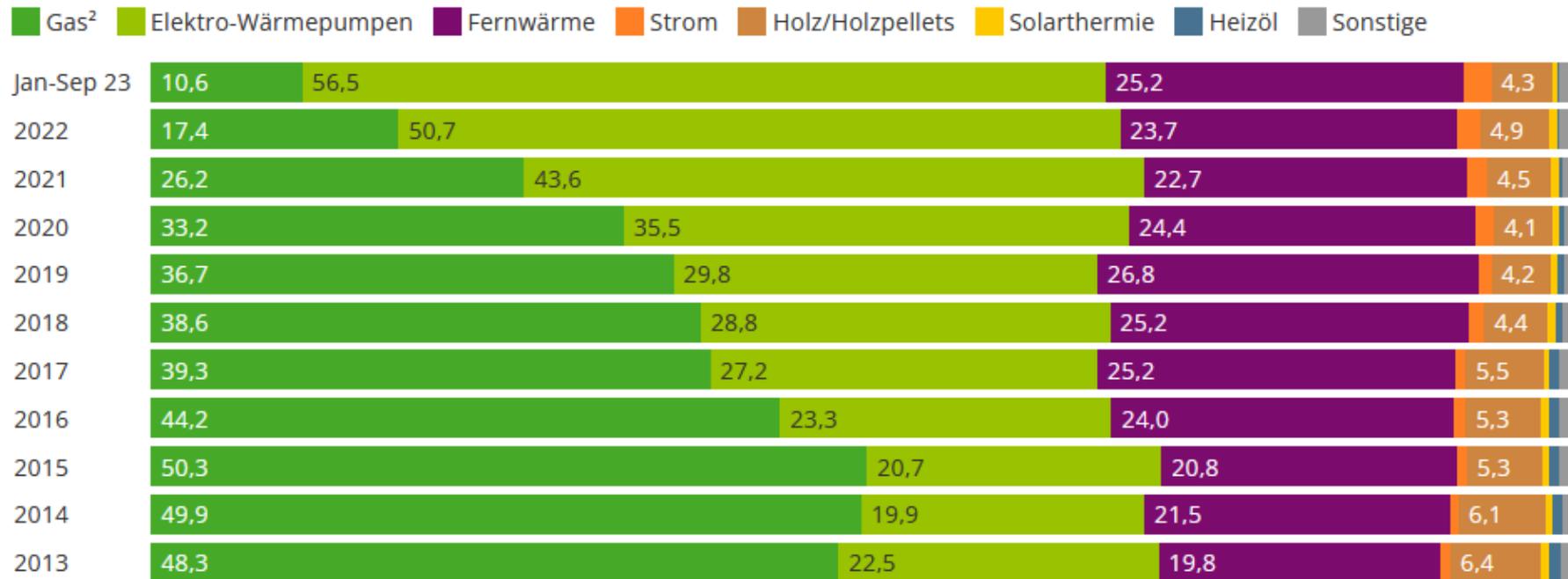
Ganzjährig verfügbar

## Nachteile

- nicht überall (wirtschaftlich) verfügbar
- hohe Kosten für Bohrung
- hohes Fündigkeitsrisiko
- Risiko geringer Wärmestromdichte

## 10-Jahre-Rückblick bis heute - Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau<sup>1</sup>: Baugenehmigungen

Anteile der Energieträger in %



<sup>1</sup> zum Bau genehmigte neue Wohneinheiten in neu zu errichtenden Wohngebäuden, primäre Heizenergie

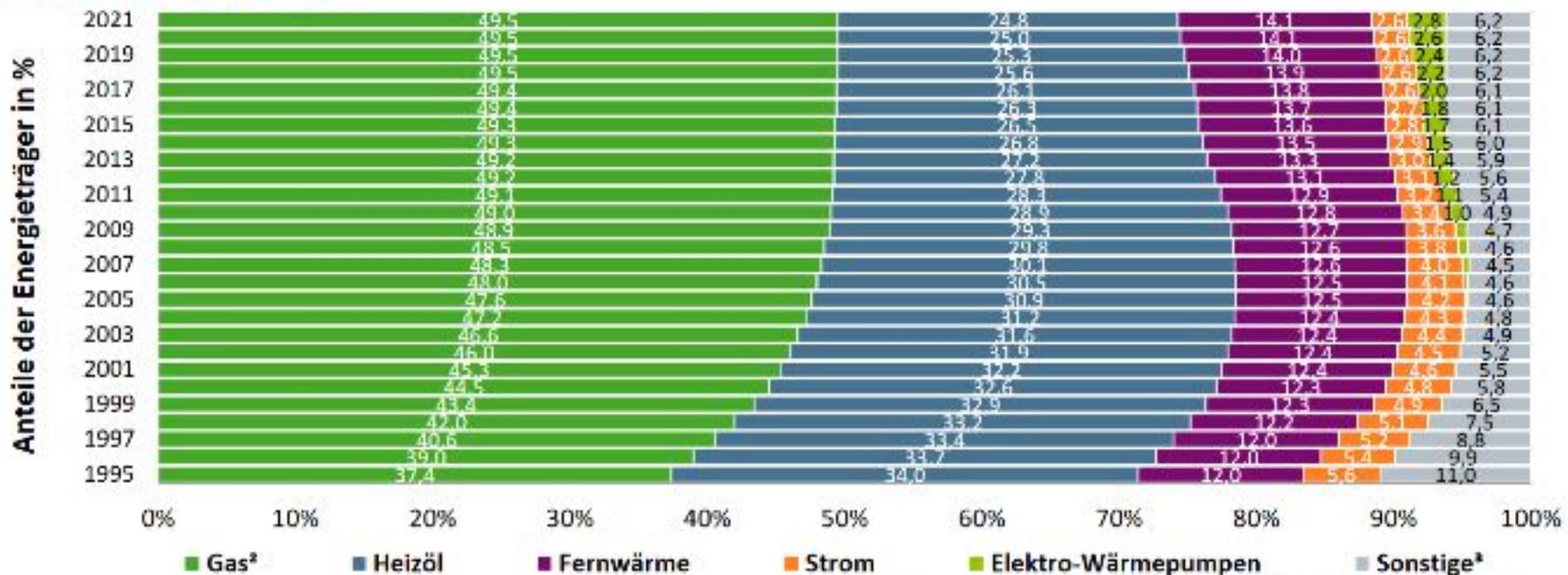
<sup>2</sup> einschließlich Biomethan

Stand: 12/2023

Quelle: Statistische Landesämter • [Daten](#) • [Einbetten](#) • [Grafik](#)

**bdew**  
Energie. Wasser. Leben.

## Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes<sup>1</sup> in Deutschland



Quelle: BDEW, Stand 07/2021

<sup>1</sup> Anzahl der Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum; Heizung vorhanden; <sup>2</sup> einschließlich Biomethan und Flüssiggas; <sup>3</sup> Holz, Holzpellets, sonstige Biomasse, Koks/Kohle, sonstige Heizenergie

# — Wärmepumpe (Umgebungswärme)

## Vorteile

Nutzung von Umgebungswärme  
(1 Teil Strom + 2 Teile  
Umgebungswärme = 3 Teile  
Heizwärme)

## Nachteile (allgemein)

- Möglicherweise Schallemissionen
- Möglicherweise Ausbau des Verteilnetzes erforderlich

## Nachteile (Neubau)

Keine

## Nachteile (Altbau)

bei schlechter Wärmedämmung und kleinen Heizkörpern sinkt der Wirkungsgrad und ggf. kann nicht die erforderliche Heizleistung geliefert werden.

# Beschäftigte in Deutschland 2016 in der Energiewende

<b>Ausbau der erneuerbaren Energien</b>	<b>339.000</b>
<b>Betrieb und Wartung von Erneuerbare-Energie-Anlagen</b>	<b>76.000</b>
<b>Bereitstellung Biomasse und Biokraftstoffe</b>	<b>69.000</b>
<b>Energetische Gebäudesanierung</b>	<b>544.000</b>
<b>Energieeffizienzdienstleistungen</b>	<b>44.000</b>
<b>SUMME Energiewende</b>	<b>1.072.000</b>
<b>Braunkohlebergbau und Veredelung</b>	<b>13.000</b>

# Durch Treibhausgase verursachte Kosten

CO<sub>2</sub>-Steuer: 30 €/tCO<sub>2</sub>e

ETS - Europäische Emissionszertifikate: ca. 80 €/tCO<sub>2</sub>e

Schadenskosten: 190 €/tCO<sub>2</sub>e

bei Höhergewichtung der Wohlfahrt gegenwärtiger Generationen

Schadenskosten: 680 €/tCO<sub>2</sub>e

bei Gleichgewichtung der Wohlfahrt aller Generationen

**Im Durchschnitt emittiert jeder Deutsche pro Jahr etwa 10 t CO<sub>2</sub>, verursacht also Schäden in Höhe von 6.800 Euro pro Jahr, die zukünftige Generationen haben werden.**

Quelle: Umweltbundesamt

## **Eine Studie des Forschungszentrums Jülich zeigt:**

**Um den deutschen CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2050 um 95 Prozent zu senken, muss Deutschland über einen Zeitraum von 30 Jahren insgesamt 1.850 Milliarden Euro aufbringen.**

**Die jährlichen Kosten steigen dabei von etwa 9 Milliarden Euro im Jahr 2030 über 71 Milliarden im Jahr 2040 bis auf 128 Milliarden Euro im Jahr 2050 an.**

**2018 gab Deutschland 63 Milliarden Euro für Energieimporte aus, das entsprach 1,9 Prozent des Bruttoinlandprodukts.**

**Die 128 Milliarden Euro im Jahr 2050 entsprächen 2,8 Prozent des dann erwarteten Bruttoinlandprodukts.**

**Die wirtschaftliche Belastung liegt in der Größenordnung der heutigen Ausgaben für die Energieversorgung.**

# Effizienz / Suffizienz

---



# Effizienz / Suffizienz

---



# Zusammenfassung

---

## Nachteile

### eines Energiesystems mit überwiegend Sonnen- und Windenergie:

- **Transformation verursacht „Reibung“ (Kosten, Komfort, Routinen, Ineffizienzen, ...)**
- **Kapitalkosten (Investition) höher, Betriebskosten niedriger als im alten System (CAPEX vs. OPEX)**
- **Einkommensschwache Haushalte und Mieter haben weniger Anpassungsmöglichkeiten**
- **Nachfrage an Angebot anpassen oder Speicher oder großräumiger Ausgleich**
- **Hohe Abhängigkeit vom außereuropäischen Ausland bei Rohstoffen, Material und Anlagen**

## Vorteile des neuen Systems

- **Keine bzw. weniger Luftschadstoffe (CO, NOx, Feinstaub, etc.)**
- **Energiepreise (relativ) stabil**
- **Weniger Abhängigkeit von Energielieferungen aus dem außereuropäischen Ausland**
- **Eigene Stromproduktion ist für Privathaushalte möglich (Balkon-PV, Aufdach-PV, „Mieterstrom“, Bürgerenergiegenossenschaften etc.)**
- **Weniger Schäden durch die Verlangsamung der Klimaveränderungen**



**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit**

# Kontakt

---

**Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke**  
**Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme**  
**Tel. +49 721 6509-153**  
[harald.bradke@isi.fraunhofer.de](mailto:harald.bradke@isi.fraunhofer.de)

Fraunhofer ISI  
Breslauer Str. 48  
76139 Karlsruhe  
[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)



Fraunhofer-Institut für System- und  
Innovationsforschung ISI

## Preisentwicklung CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate ab 2017

01.01.2011 – 31.01.2024



Quelle: FEX