



VEREIN ZUR FÖRDERUNG
DER HEIDELBERGER AKADEMIE
DER WISSENSCHAFTEN

Vortrag vor den Mitgliedern des Fördervereins
vom 06.07.2021 - 19:00 Uhr

"Energieversorgung im Zeichen des Klimawandels"

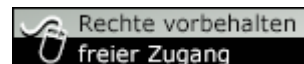
von Prof. Dr. Matthias Kind

Sekretar der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften.



Foto: Konrad Gös

Für diesen Foliensatz gilt:



Energieversorgung im Zeichen der Klimakrise

Matthias Kind, Karlsruhe

Verein zur Förderung der Heidelberger Akademie der Wissenschaften

06.07.2021

Gliederung

1. Energie und Gesellschaft
2. Energie und Klima
3. Energie und Zukunft
4. Kosten, Zeit und Politik (= Fazit)



1. Energie und Gesellschaft

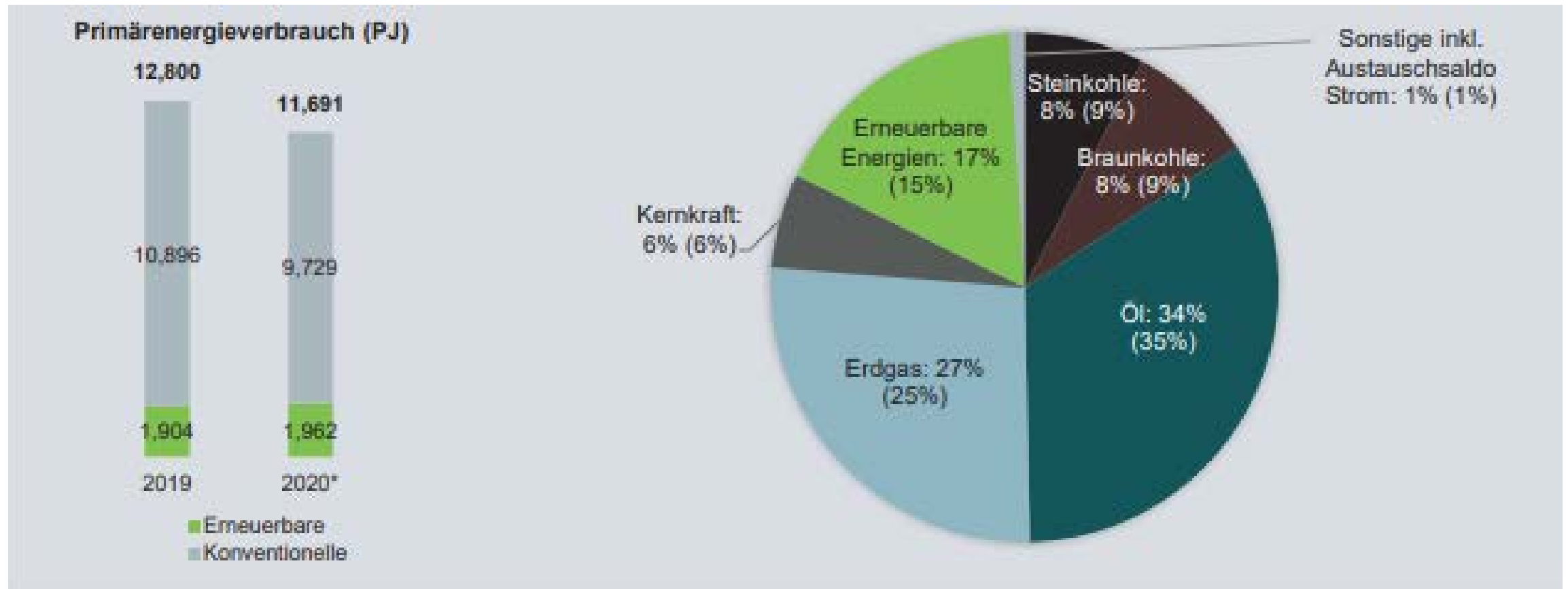
Energie pro Zeit (Leistung)

Leistung	Beispiel
100 W _{peak}	1m ² Fotovoltaik-Modul bei max. Sonneneinstrahlung
1 kW	1 Herdplatte (10 Fotovoltaik-Module)
10 kW	Wärmebedarf 100 m ² Altbauwohnung (10 Herdplatten)
100 kW	Mein Auto mit 135 PS bei Volllast (100 Herdplatten)
300 kW	PKW Schnell-Ladesäule (300 Herdplatten)
2 MW _{peak}	Windkraftanlage (20 PKW)
10 MW	ICE Dauerleistung (5 Windkraftanlagen)
1 GW	Großkraftwerk (500 Windkraftanlagen)
50 - 80 GW	Strombedarf Deutschland (50 - 80 Großkraftwerke, www.agora-energiewende.de)
400 GW	Primärenergiebedarf Deutschland (Ann.: konstant an 365 Tagen pro Jahr)

1. Energie und Gesellschaft

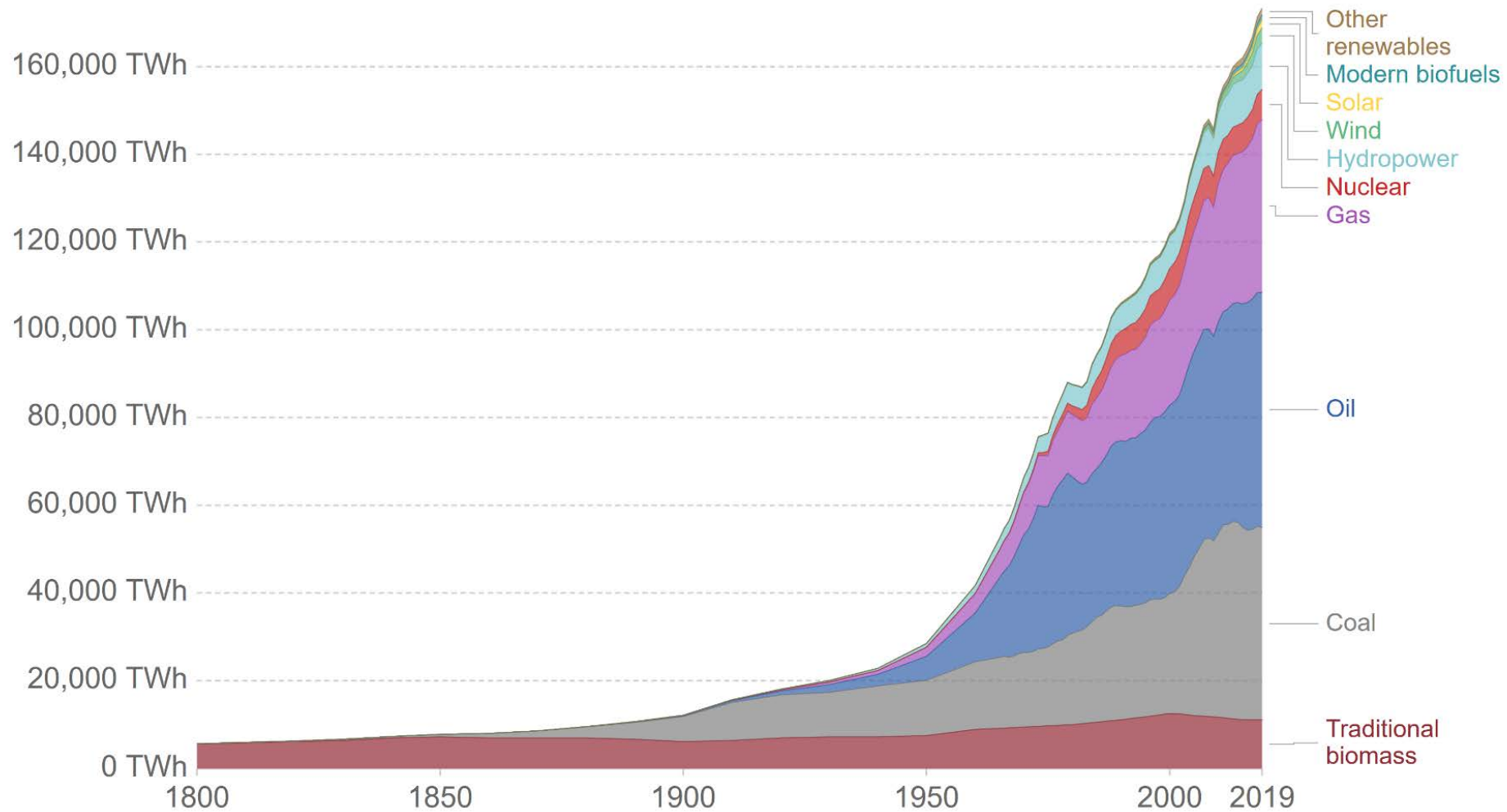
1. Energie und Gesellschaft

Unser Energiemix in 2020 (2019)



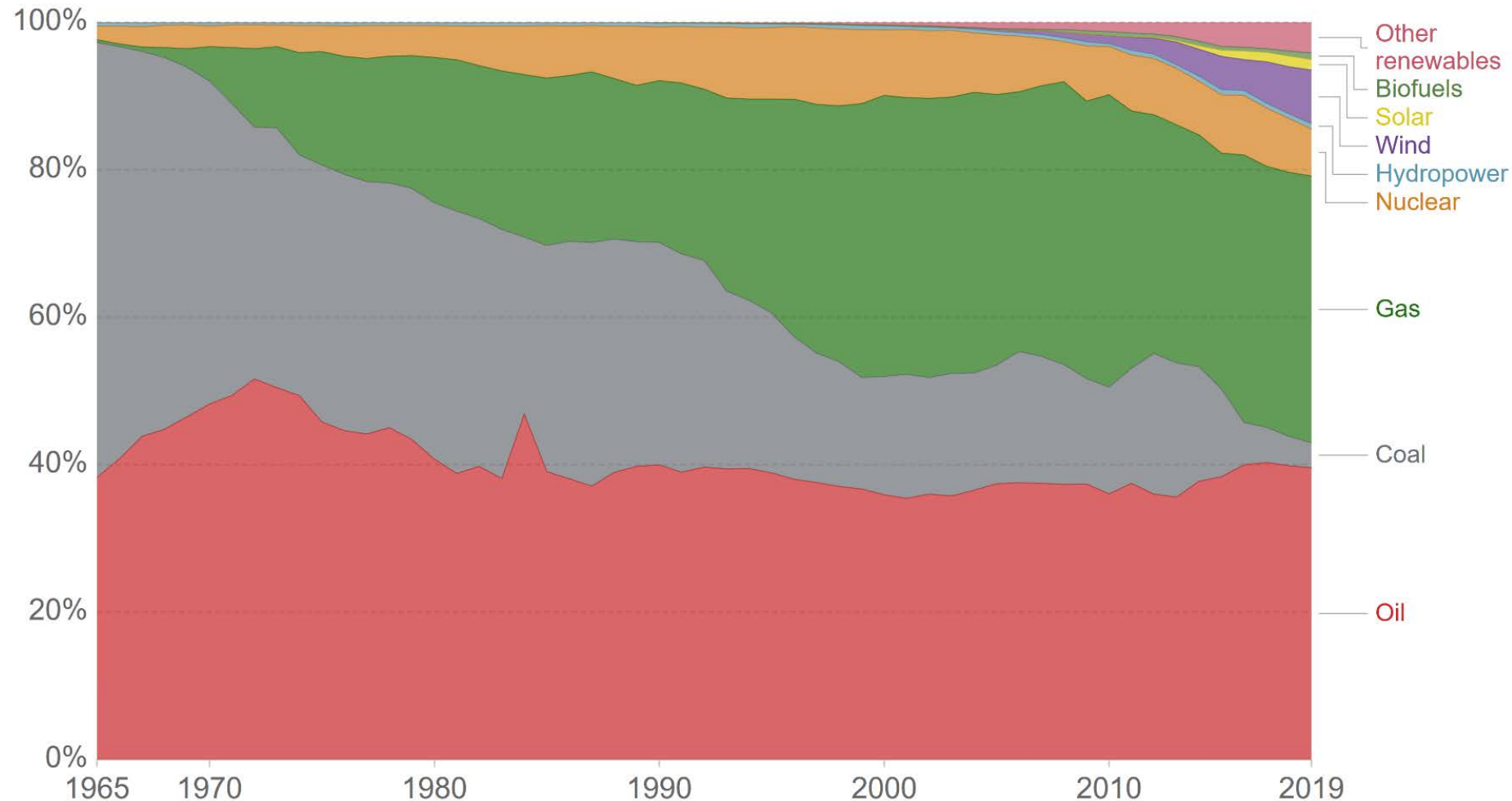
1. Energie und Gesellschaft

Der globale Energiemix



1. Energie und Gesellschaft

Nationaler Energiemix im Wandel (GB)

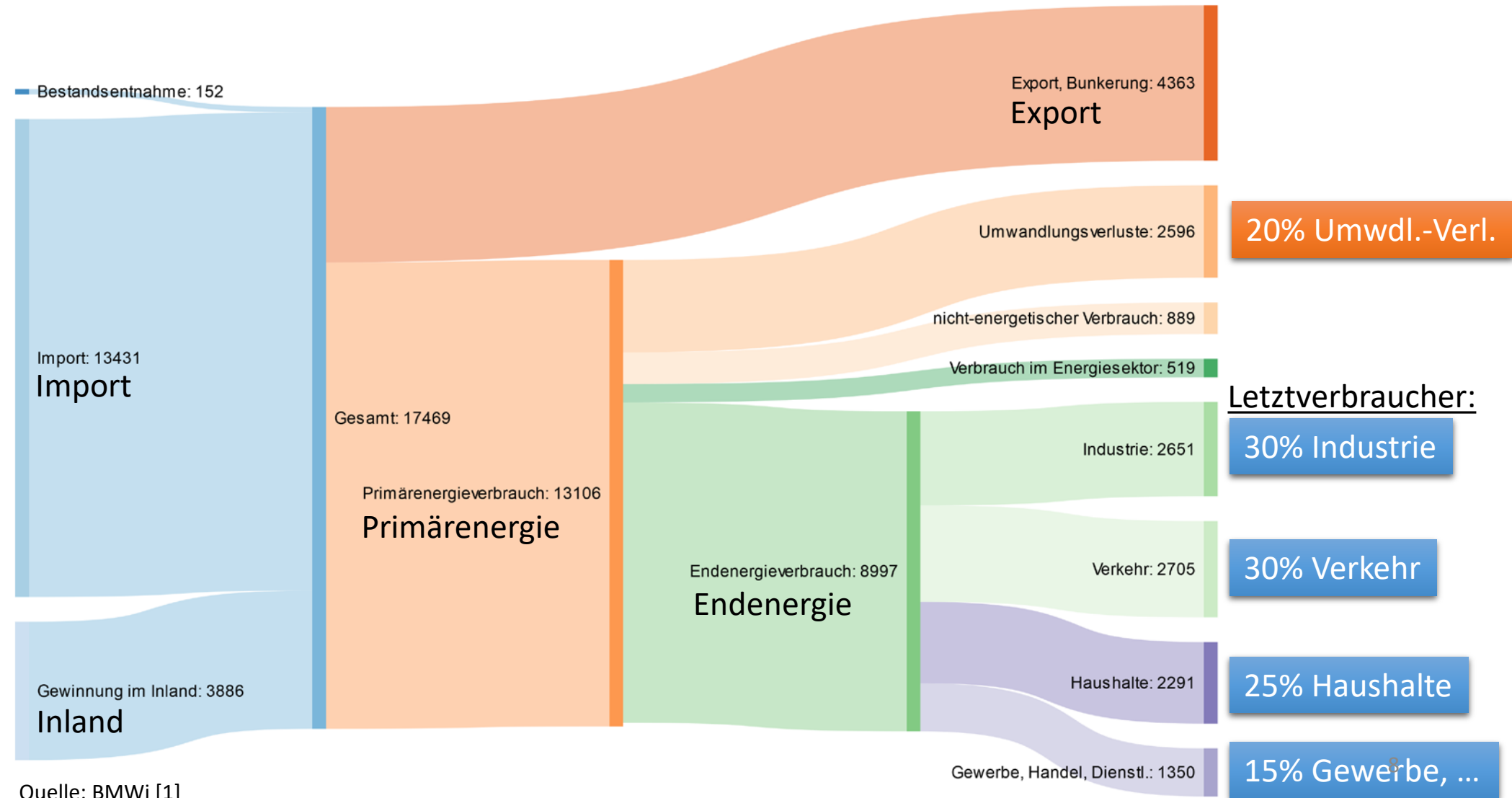


Source: BP Statistical Review of World Energy
Note: 'Other renewables' includes geothermal, biomass and waste energy.

OurWorldInData.org/energy • CC BY

1. Energie und Gesellschaft

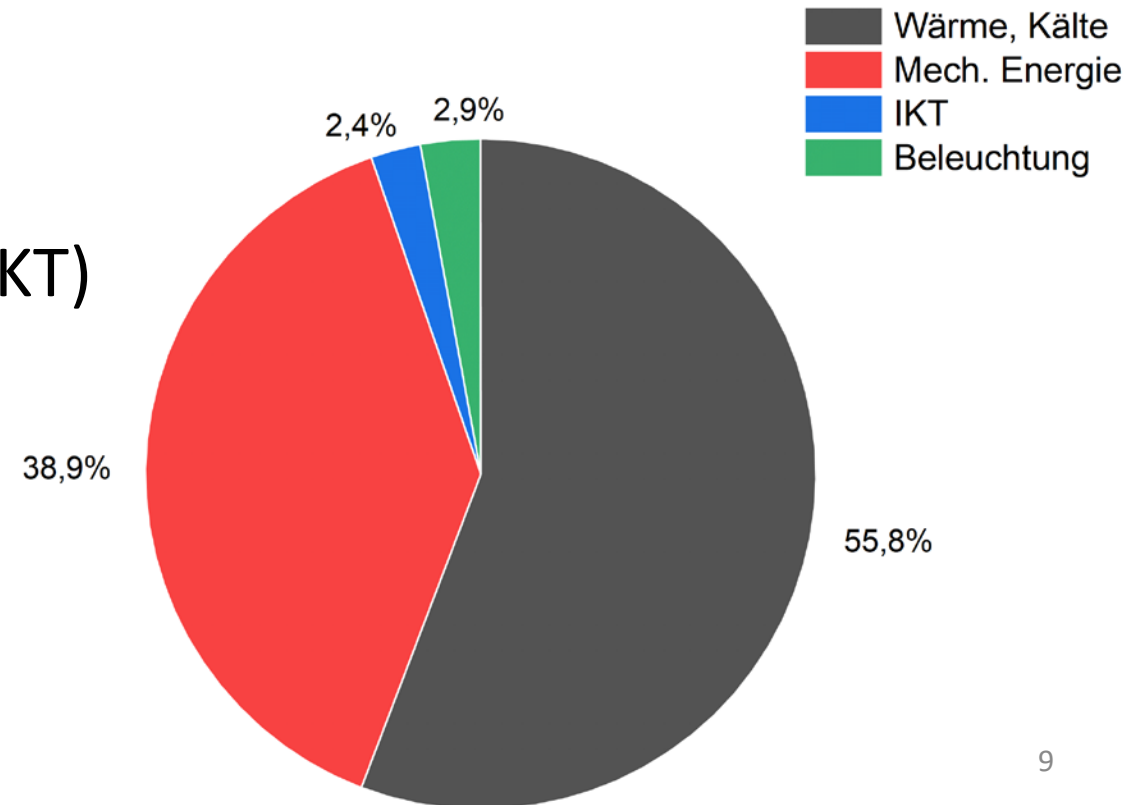
Energiefluss-Diagramm (D) in PJ, 2018



Energieeinsatz nach Anwendungsbereich

Letztverbraucher wandeln die gelieferte **Endenergie** unter Einsatz von Kapitalgütern (Industrieanlagen, Pkw oder Heizungsanlagen) in **Nutzenergie** für folgende **Anwendungsbereiche** um:

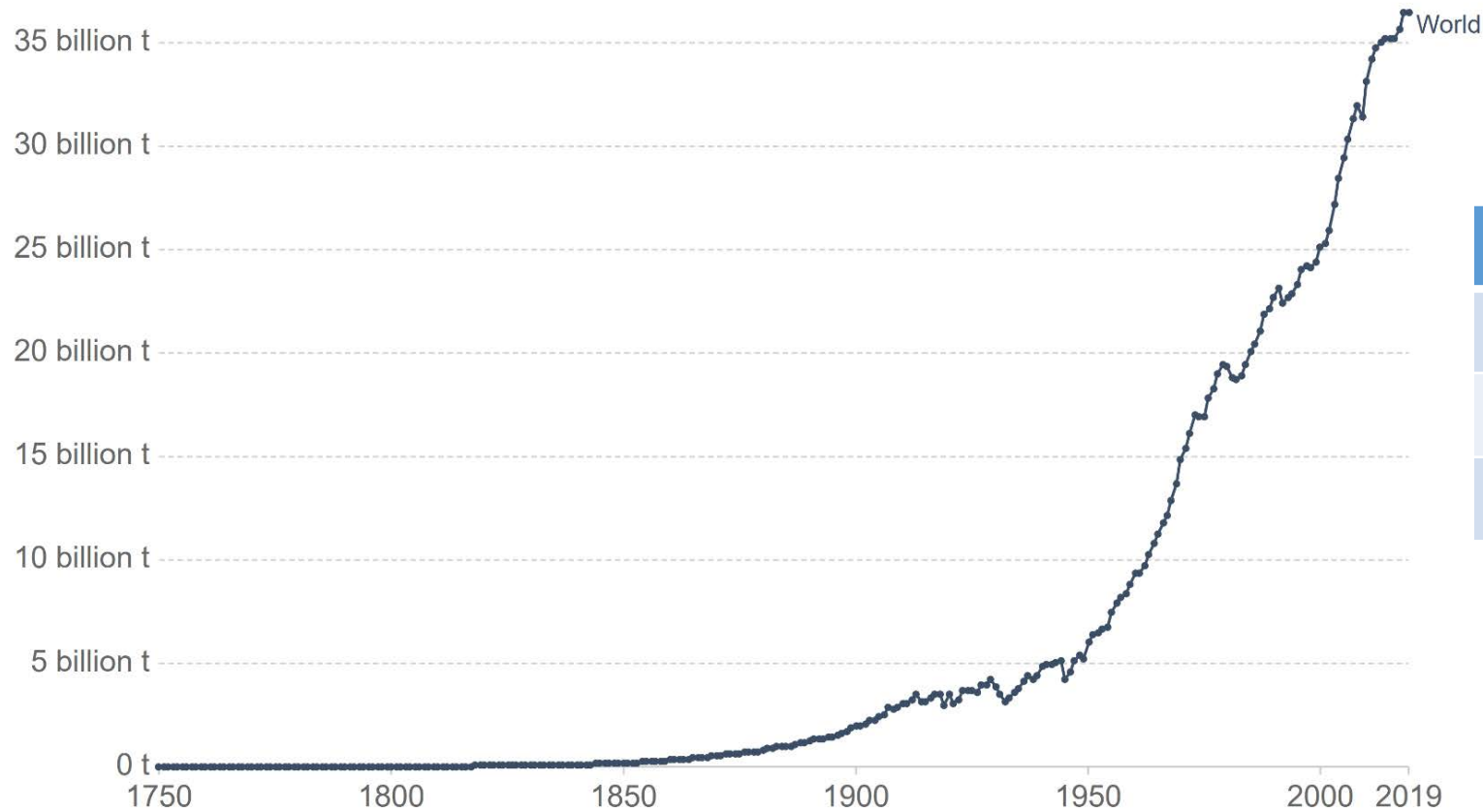
- Wärme, Kälte
- Mechanische Energie
- Information und Kommunikation (IKT)
- Beleuchtung



2. Energie und Klima

2. Energie und Klima

Globale CO₂-Emissionen p.a. aus fossilen Brennstoffen und Zement



Energieträger	g CO ₂ /kWh
Braunkohle	900
Steinkohle	800
Erdgas	400

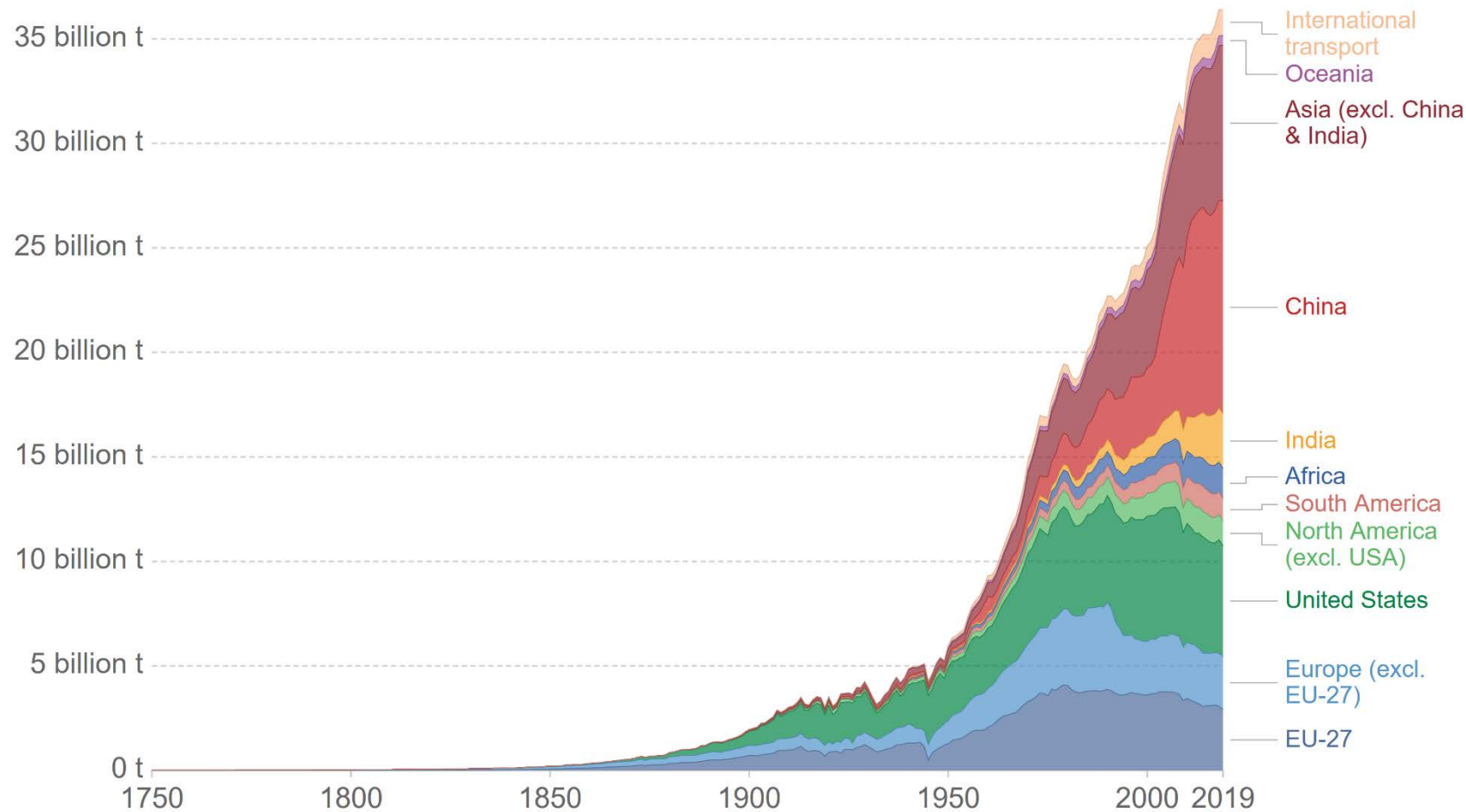
Source: Global Carbon Project; Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)

Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

2. Energie und Klima

globale CO₂-Emissionen p.a.



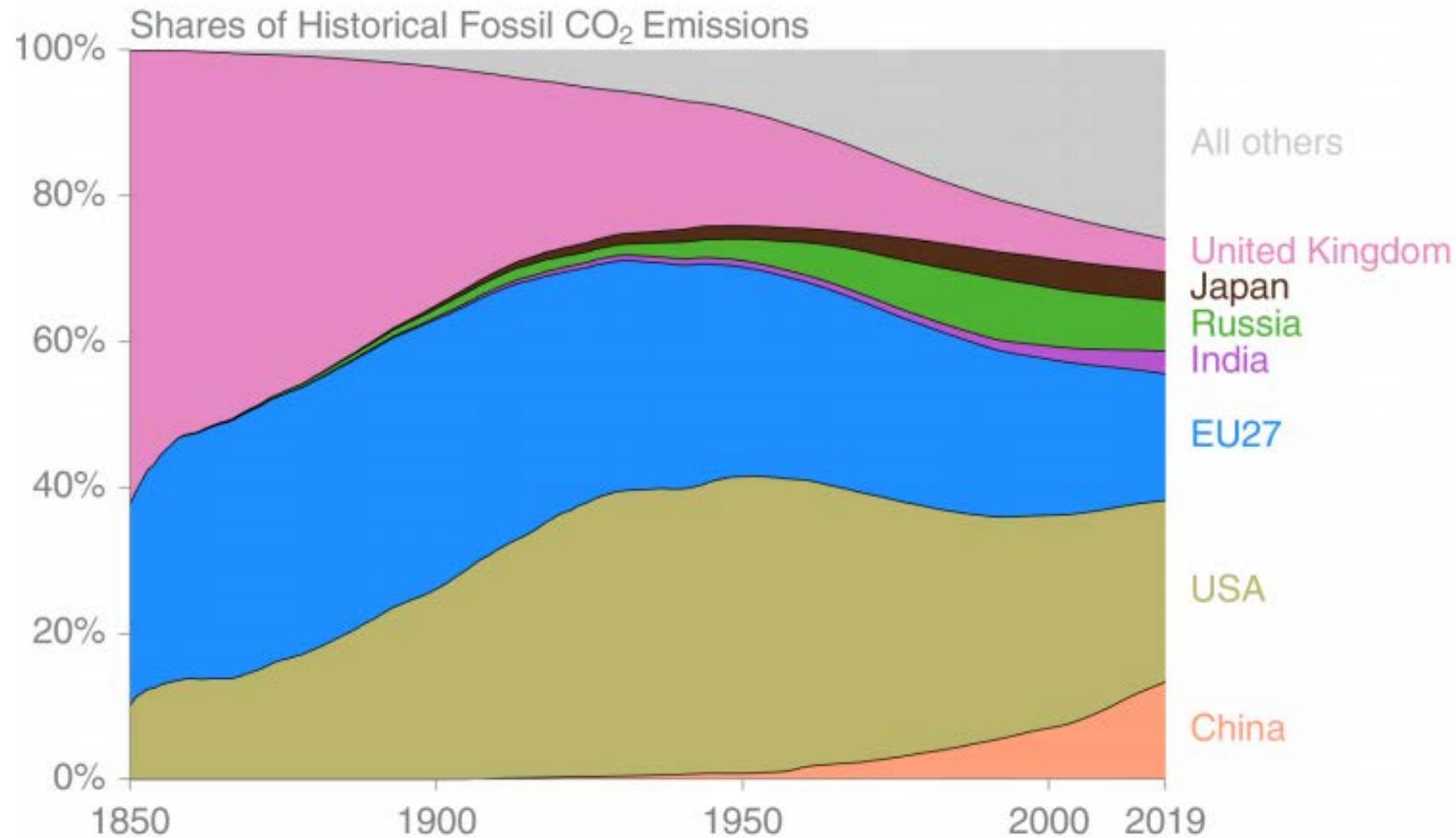
Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Note: This measures CO₂ emissions from fossil fuels and cement production only – land use change is not included. 'Statistical differences' (included in the GCP dataset) are not included here.

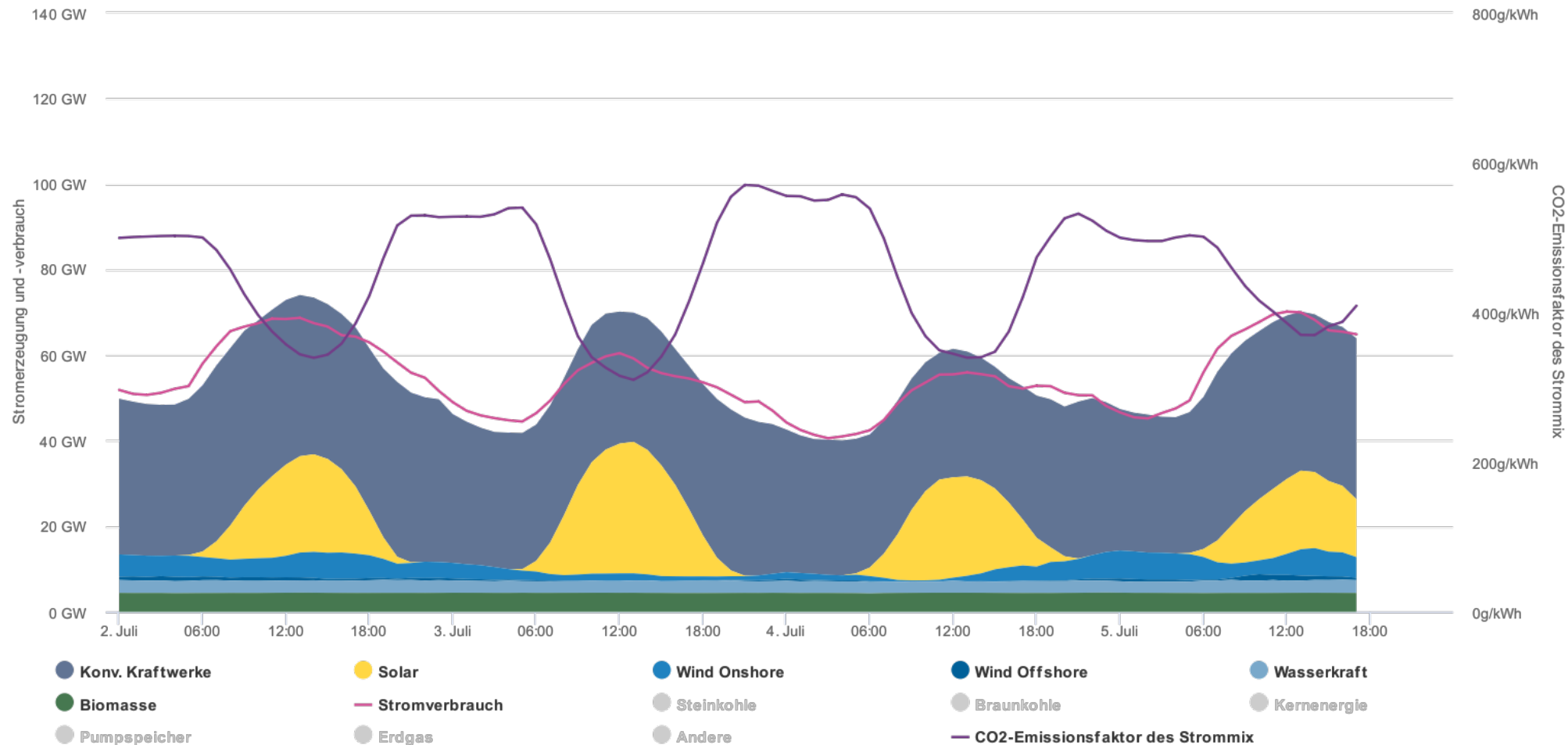
2. Energie und Klima

CO₂-Emissionen, kumulativ



2. Energie und Klima

Stromerzeugung und –verbrauch (Strom-Mix)



2. Energie und Klima

Fridays for Future



2. Energie und Klima

Green Deal der EU (Dez 2019)

Ziele

Moderne, ressourcen-effiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft

- durch Reduktion der Netto-Treibhausgasemissionen
 - *1990 – 2018 um 23 % bereits erreicht trotz 60 % Wirtschaftswachstum*
 - bis 2030 um 50 - 55% gegenüber 1990
 - bis 2050 klimaneutral
- durch Abkopplung von Wachstum und Ressourcennutzung

Menschen und Regionen nicht im Stich lassen.

Maßnahmen

- Klimagesetze, globale Umweltnormen
- umweltfreundliche Technologien, Mobilitätswende
- Dekarbonisierung des Energiesektors
- Energieeffizienz von Gebäuden
- Unterstützung von Regionen durch 100 Mrd €
- Investitionen in Höhe von 1800 Mrd €

2. Energie und Klima

Deutsche Klimaschutznovelle vom 24. Juni 2021

Deutschland soll früher klimaneutral werden

- Treibhausgasemissionen
 - Bis 2030: 65 % weniger CO₂ (bislang 55 %)
 - Bis 2040: 88 % weniger CO₂
 - 2045: Klimaneutralität (bislang 2050)
- Zulässige jährliche CO₂-Emissionsmengen für einzelne Sektoren wie Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr oder Gebäudereich werden abgesenkt.



2. Energie und Klima

Strompreise in Europa 2020

Land	Strompreis ct/kWh	Steuern & Abgaben
Deutschland	30,88	53,6 %
Dänemark	29,84	67,7 %
...		
EU-Durchschnitt	20,5	39,2 %
...		
Frankreich	17,65	35,4 %
...		
Polen	13,43	22,1 %
...		
Bulgarien	9,97	16,7 %

2. Energie und Klima

EU: für Flottenverbrauch von Neuwagen

	Gramm CO ₂ pro km	Diesel-Äquivalent pro 100 km	
2015	130	5 l	altes Prüfverfahren
2021	95	3,5 l	neues Prüfverfahren
2025	80	3 l	neues Prüfverfahren
2030	59	2,2 l	neues Prüfverfahren

2. Energie und Klima

Das grüne Paradoxon (nach H.-W. Sinn)

Perspektive der Angebotsseite einnehmen!

- Die Besitzer von konventionellen Energieträgern wollen ihr Vermögen sichern und möglichst mehren.
- Je mehr sie daran zweifeln, dass ihr Vermögen in konventionellen Energieträgern gut angelegt ist, umso versuchen sie, sie zu fördern.

3. Energie und Zukunft

3. Energie und Zukunft

zukünftige Energieversorgung

Energieträger müssen

- zuverlässig verfügbar
- sicher
- ökonomisch

und

- klima-neutral
- umwelt-schonend

Sein.

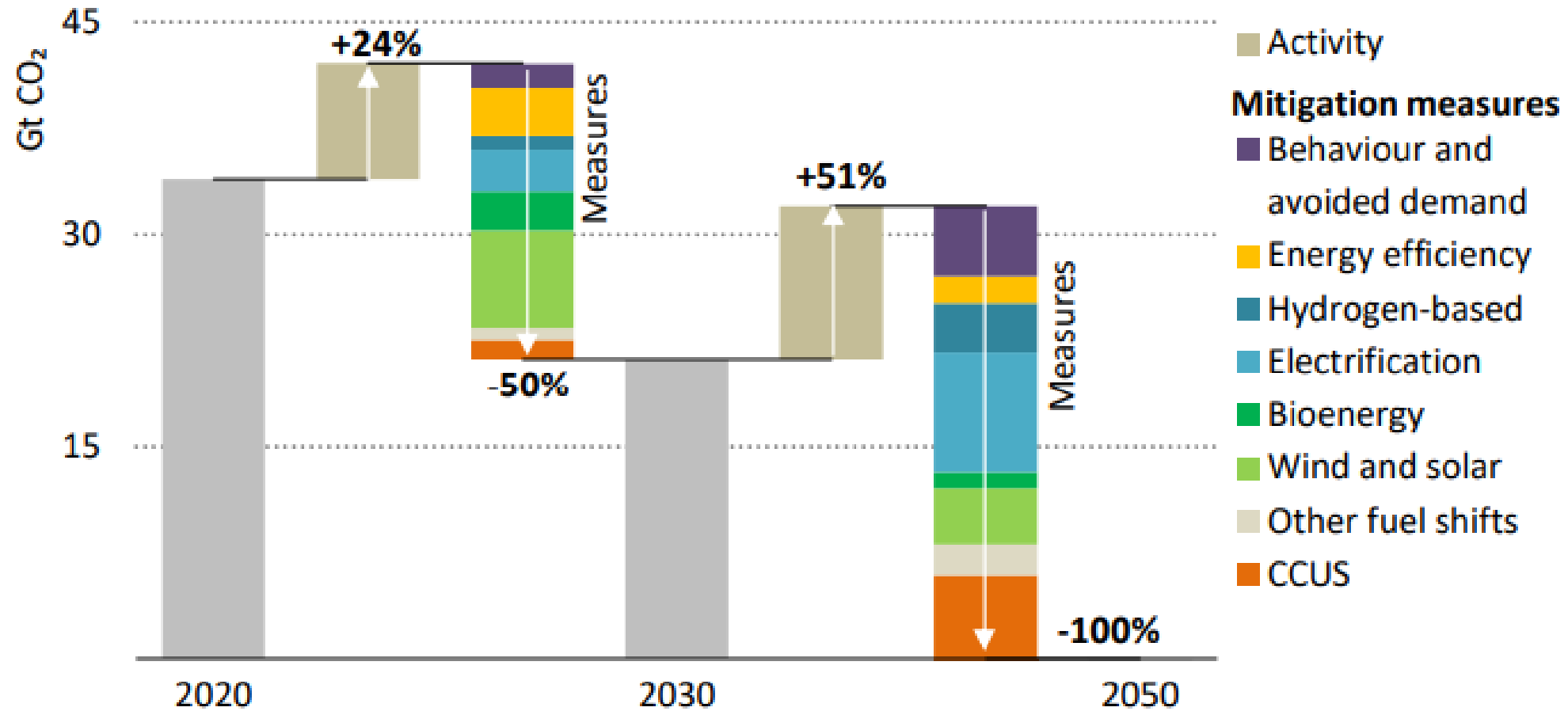
Es kommen nur in Frage:

- Sonne
- Wind
- Fossile Energieträger mit CCU/CCS
- Kernspaltung
- Kernfusion
- Geothermie
- ...

Kommentar: Wir werden nicht ohne **Energie-Importe** auskommen.

3. Energie und Zukunft

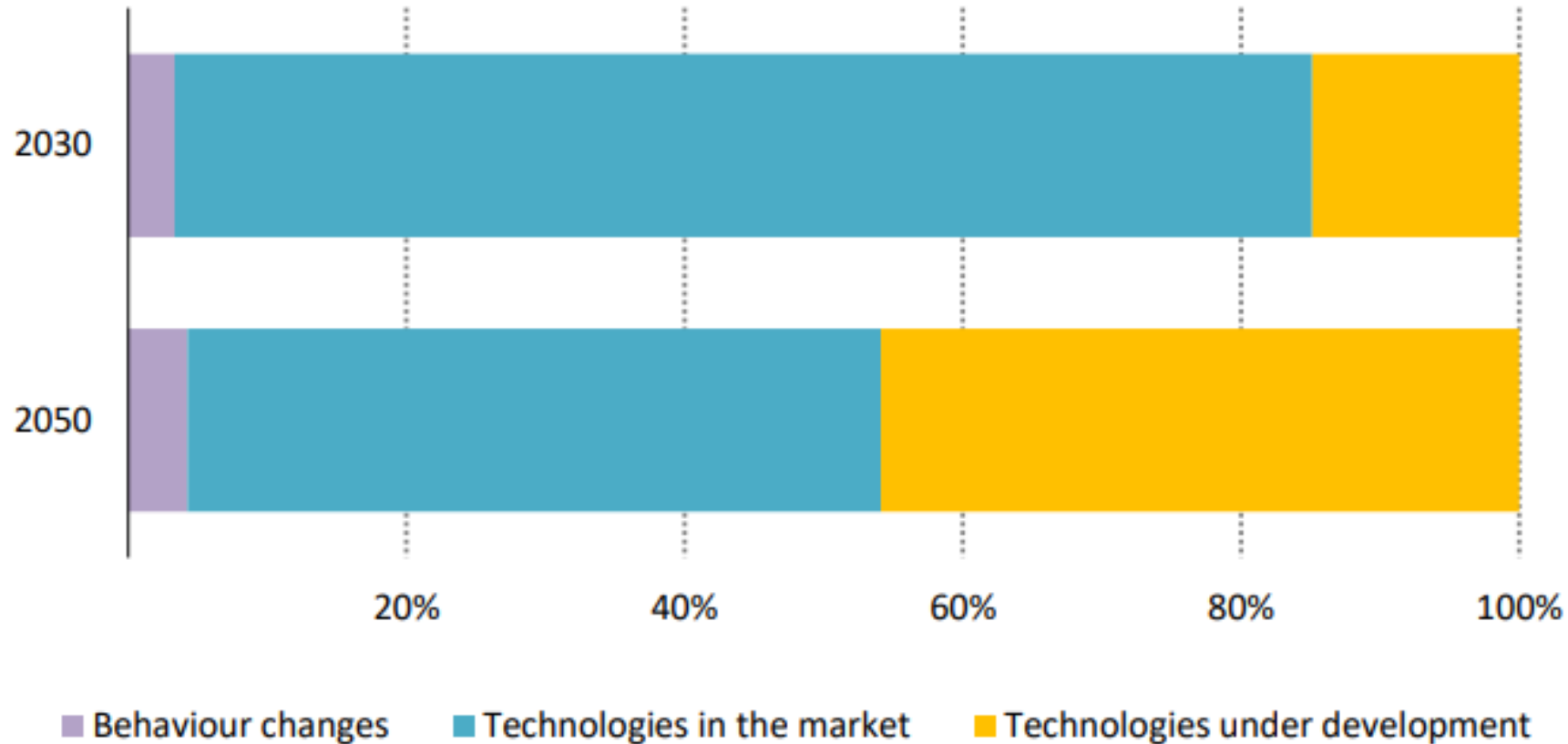
Road Map 2050



IEA. All rights reserved.

3. Energie und Zukunft

Entwicklung neuer Technologien



Quelle: IEA (2021) Net Zero by 2050 Interactive [iea.li/nzeromap](https://www.iea.li/nzeromap). All rights reserved.

3. Energie und Zukunft

neue Technologien(1): Sonnenenergie



dezentral



zentral:
Noor Solar Power Plant (Marokko), 2 GW

3. Energie und Zukunft

neue Technologien (2): Wind Parks On-/Off Shore



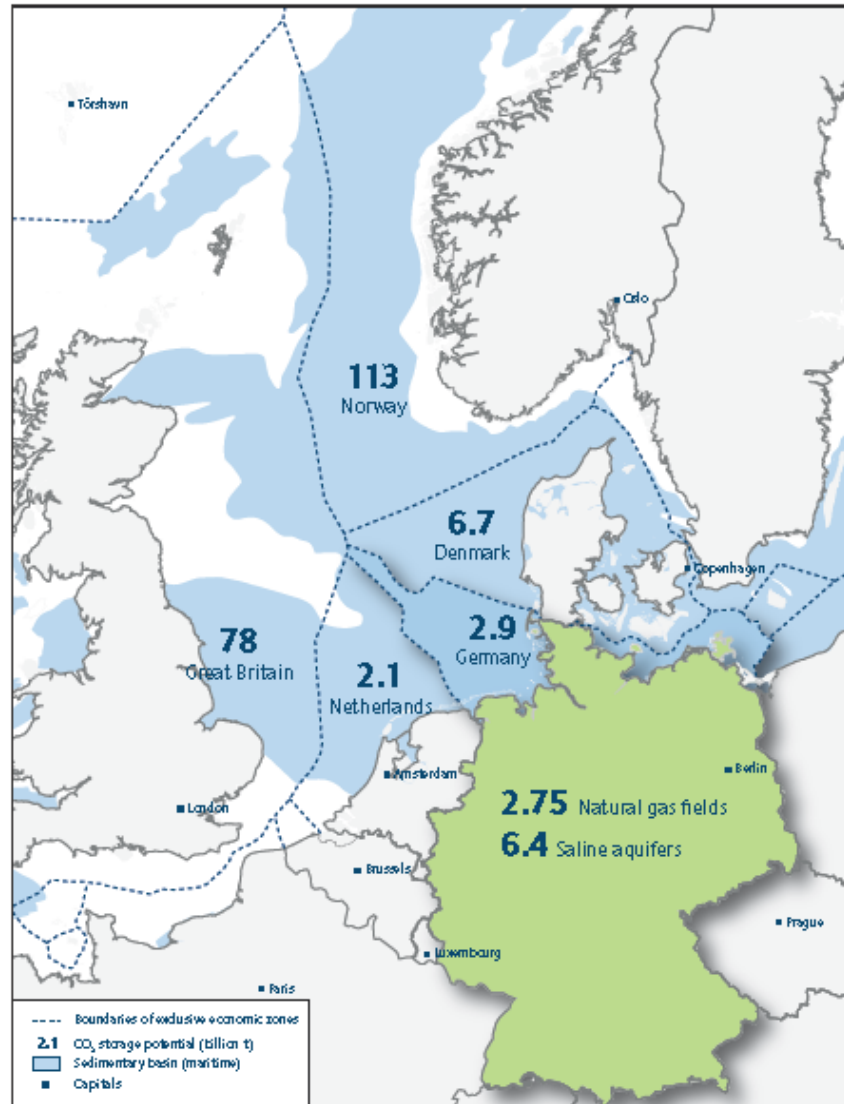
Quelle: <http://www.meteoearth.com/> [12]



Quelle: <https://electrical-engineering-portal.com/offshore-floating-wind-turbines-to-reap-green-electricity/> [13]

3. Energie und Zukunft

neue Technologien (3): Carbon Capture



CCS: Carbon Capture and Storage
CCU: Carbon Capture and Use

Quelle: acatech (Ed.): CCU and CCS – Building Blocks for Climate Protection in Industry (acatech POSITION PAPER), Munich 2019.

3. Energie und Zukunft

neue Technologien (4): Power-to-X

Nach Energieform

- Power-to-Gas (PtG)
- Power-to-Liquid (PtL)
- Power-to-Heat (PtH)

durch

- Elektrolyse → Wasserstoffwirtschaft
- Katalyse mit CO₂ (→ CCU)
- Pyrolyse (Dekarbonisierung → CCS)

Nach Verwendungszweck

- Power-to-Ammonia → als transportable, lagerfähige Energie
- Power-to-Chemicals → Sektorkopplung
- Power-to-Fuel → als transportable, lagerfähige Energie
- Power-to-X-to-Power → e-Mobilität, e-Antriebe
- Power-to-Protein → Kohlenwasserstoffe
- Power-to-Heating → Wärmepumpen

4. Kosten, Zeit, Politik

4. Kosten, Zeit, Politik

Es kostet!



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Umbau der Infrastruktur Deutschlands bis 2050
kostet 2000 Milliarden Euro = ca. 2% des BIP pro Jahr

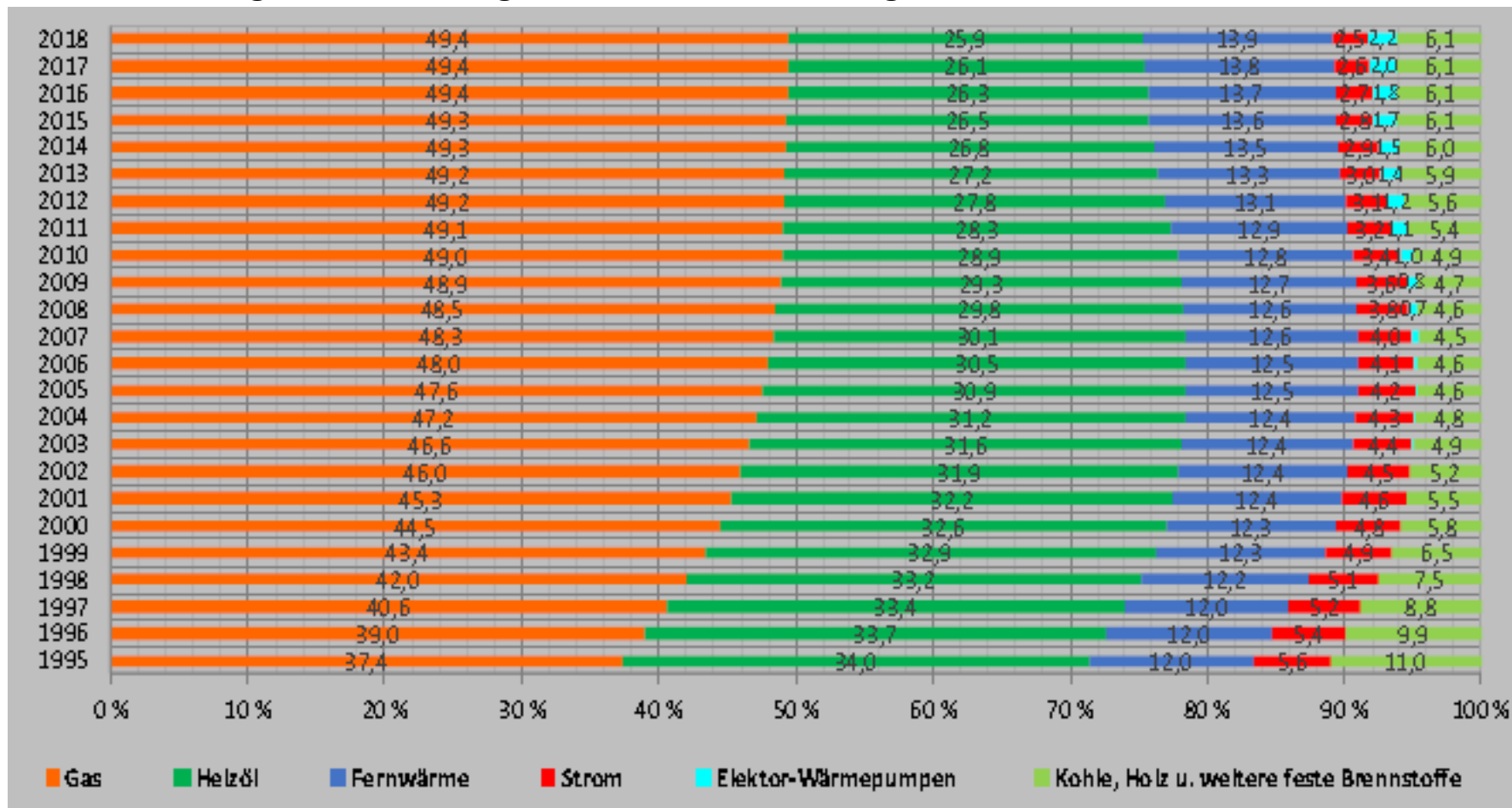
4. Kosten, Zeit, Politik zu beachten

- Flächenverbrauch
- Intermittenz (lang – kurzfristige Schwankungen) → Speicher
- Speicherfähigkeit
- Transportfähigkeit
- Wirkungsgrade
- KOSTEN

4. Kosten, Zeit und Politik

Infrastrukturen ändern sich langsam

z.B.: Änderung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes seit 1995

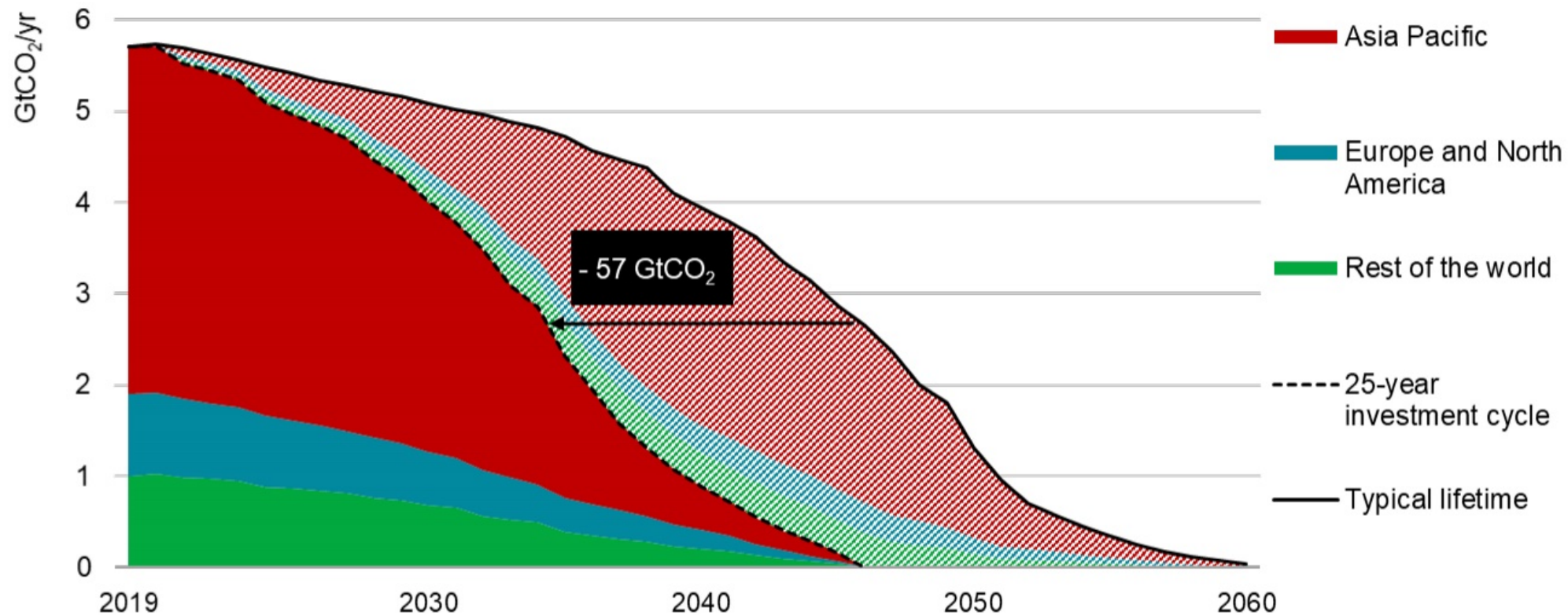


Quelle: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft,

[https://www.bdew.de/media/documents/Beheizungsstruktur Wohnungsbestand Entw ab 1995 online o jaehrlich Ki 27022020.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Beheizungsstruktur_Wohnungsbestand_Entw_ab_1995_online_o_jaehrlich_Ki_27022020.pdf) [19]

4. Kosten, Zeit und Politik

notwendig: Verkürzung von Investitionszyklen



In der Stahl-, Zement- und Chemieindustrie könnte ein von ca. 40 Jahren auf 25 Jahre verkürzter Investitionszyklus fast ca. 57 Gt CO₂ sparen.

4. Kosten, Zeit und Politik

Anforderungen an Politik und Gesellschaft

- globale Energiewende mit einheitlichen, globalen Regeln
- realistische, technologie-offene Diskurse
- Akzeptanz von neuen (Groß-)Technologien
- enorme Anstrengungen und Kosten
- Bedürfnisse von hochentwickelten Gesellschaften und energie-intensiven Industriestandorten
- Chancen und Risiken von rechtlichen Festsetzungen

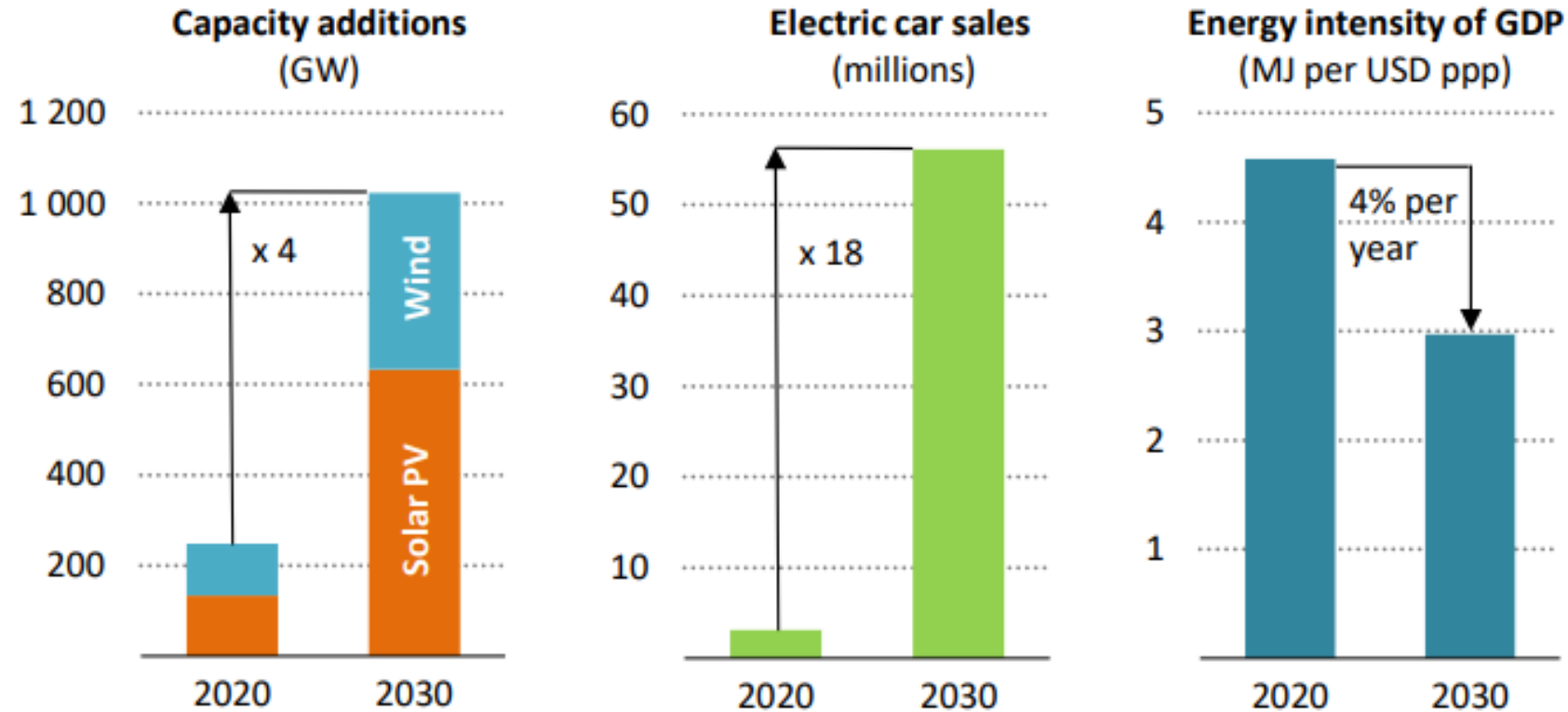


Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Anhang

3. Energie und Zukunft

Ausbau neuer Technologien



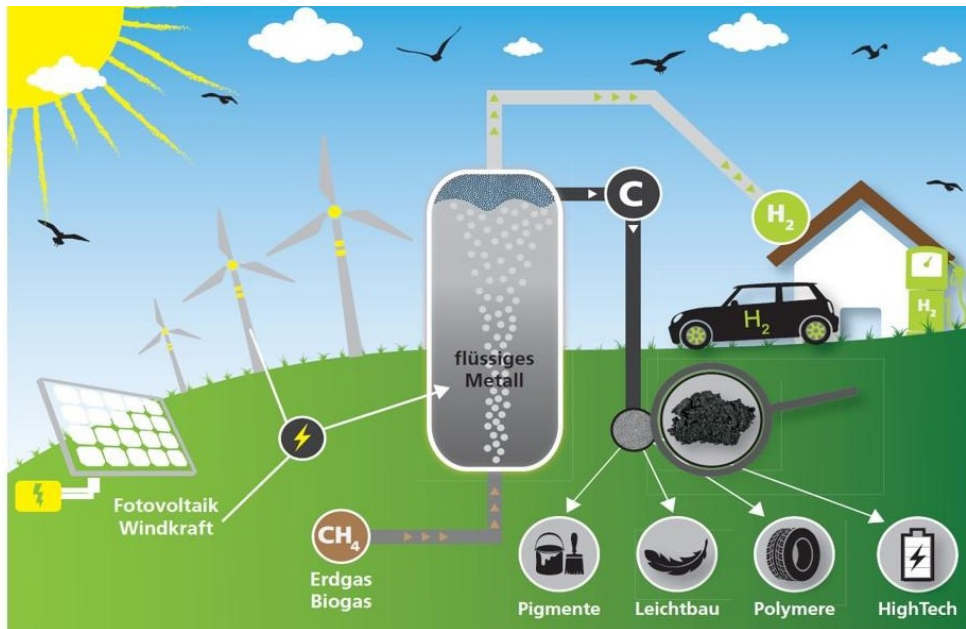
Note: MJ = megajoules; GDP = gross domestic product in purchasing power parity.

Quelle: IEA (2021) Net Zero by 2050 Interactive [iea.li/nzeromap](https://www.iea.li/nzeromap). All rights reserved.

3. Energie und Zukunft

Dritter Teil der Lösung: Power-to-X

- Dekarbonisierung von Erdgas zu Wasserstoff



- Katalytische Umwandlung von Wasserstoff mit CO₂ in Treibstoff (DME)

