

# Energiewende Deutschland

Materialsammlung von Scientists for Future




Die Sammlung steht unter der offenen Lizenz CC BY-SA 4.0. Einige Elemente sind abweichend lizenziert (Grafiken, Fotos, Logos, Elemente unter Zitatrecht). Eine vollständige Dokumentation ist in den Foliennotizen der unter [info-de.scientists4future.org/praesentationen](https://info-de.scientists4future.org/praesentationen) verlinkten Originaldateien verfügbar.

Autor\*innen der  
Scientists for Future



Version:  
2. Juni 2022

GEFÖRDERT DURCH		
Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie	<b>BERLIN</b>	

# PDF ist nicht immer optimal

---

Folien mit Animationen (d. h. Grafiken oder Text erscheint Schritt-für-Schritt) werden bereits teilweise in mehrere PDF-Seiten zerlegt (die PDF-Seitenzahl stimmt daher nicht mit der Folienzahl überein).

Falls Videos und besondere Animationen vorhanden waren, können diese jedoch fehlen. Teilweise wird von uns hierzu eine Warnung eingefügt, teilweise ist es unbearbeitet.

Powerpoint- und LibreOffice-Dateien befinden sich unter:  
[scientists4future.org/infomaterial/presentationen/](https://scientists4future.org/infomaterial/presentationen/)

# Informationen vorab

1. Folien mit blauem Hintergrund (wie diese) dienen Verständnis und Vorbereitung, nicht der Nutzung in Vortrag/Poster/etc.
2. Die Sammlung ist durchgesehen, aber die Qualität entspricht nicht unbedingt einer gereviewten wissenschaftlichen Publikation. Wir ergänzen stetig neue Folien und finden immer wieder selbst Fehler. Prüft daher bitte Inhalt und Form der Materialien vor eigener Verwendung selbst. Wir sind für Hinweise auf Fehler und Verbesserungsmöglichkeiten dankbar!
3. Weitere Informationen (©/Lizenzen, Quellen, Notizbereich, Varianten, Kontakt, teilweise Hinweise auf Schulfächer) finden sich auf weiteren Blaufolien am Ende.

# Unterkapitel dieser Sammlung

Die Folien zum Thema Energie sind auf drei Teile aufgeteilt:

(1) Energie und Klima; (2) Energiewende Global; (3) Energiewende Deutschland

## Sammlung „Energie und Klima“

1. Grundlagen
2. Energie und Klimawandel
3. Erneuerbare Energien
4. Biomasse / Zielkonflikte
5. Energiespeicher
6. Wasserstoff / Power-to-X
7. Sektorkopplung
8. Energieeffizienz

*(Quellen: Siehe Powerpoint-Foliennotizen und Folien am Ende)*

## Sammlung „Energiewende Global“

### Sammlung „Energiewende Deutschland“

1. Energieverbrauch und -quellen
2. CO<sub>2</sub>-Emissionen und Budget
3. Ausbau erneuerbarer Energien
4. **Transportsektor**
5. **Wärmesektor**
6. Arbeitsmarkt
7. Rahmenbedingungen

# **Energiewende in Deutschland**

# Energiewende in Deutschland

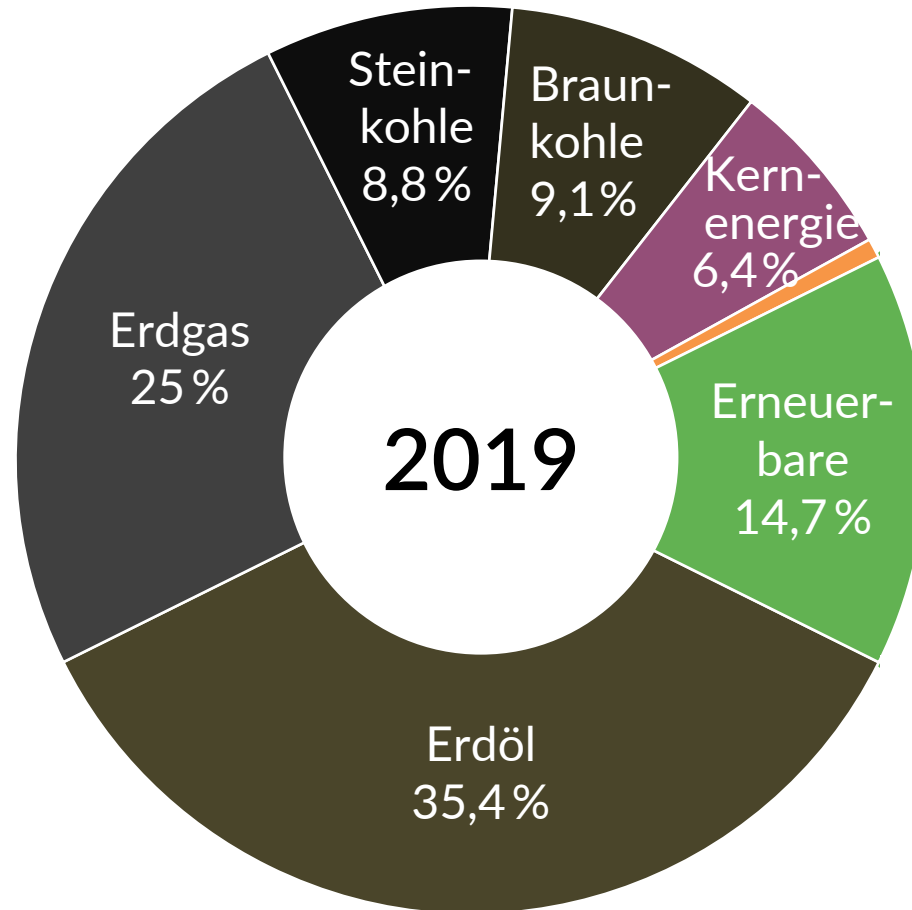
Weitere Informationen zur Energiewende in Deutschland findet ihr in der  
Veröffentlichung:

„Klimaverträgliche Energieversorgung für Deutschland – 16 Orientierungspunkte“  
(<https://doi.org/10.5281/zenodo.4409334>)

Hierzu gibt es einen begleitenden Foliensatz (mit vielen identischen, aber auch zusätzlich Folien). Ihr findet diesen unter <https://files.scientists4future.org/> im Ordner „52. Energiesystem“ unter dem Namen „Vortrag 16 Orientierungspunkte Energiewende-S4F (Gerhards Klafka Urban Hagedorn Golla Jordan 2021-06)“

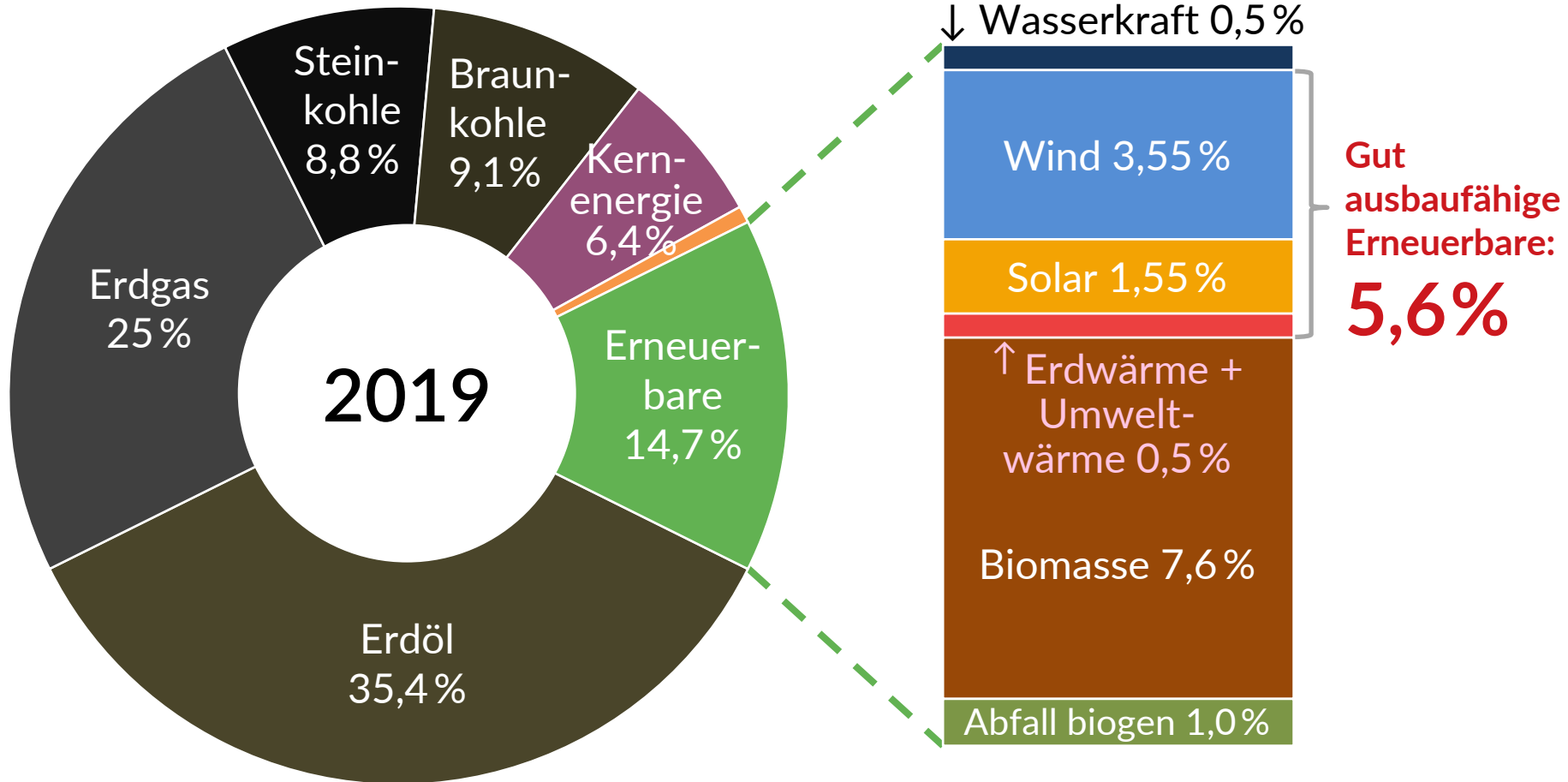
# **Energieverbrauch und Energiequellen**

# Primärenergieverbrauch Deutschland





# Primärenergieverbrauch Deutschland



# Energieverbrauch in Deutschland (2019)

# Energieverbrauch in Deutschland (2019)

Deutschland

3,6 PWh

(Primär-  
energie  
2019)

# Energieverbrauch in Deutschland (2019)

Deutschland

3,6 PWh

(Primär-  
energie  
2019)

0,26 PWh

Nichtenergetischer Verbrauch

# Energieverbrauch in Deutschland (2019)

Deutschland

3,6 PWh

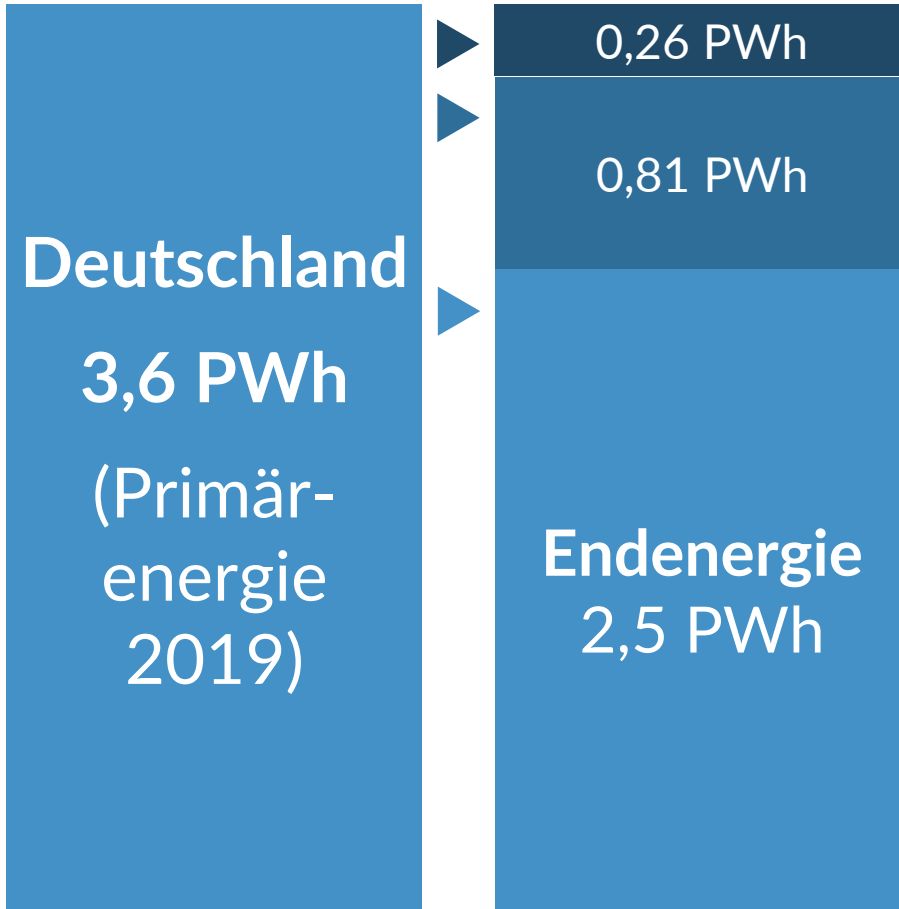
(Primär-  
energie  
2019)

0,26 PWh

0,81 PWh

Nichtenergetischer Verbrauch  
Umwandlungsverluste in  
Gas-, Kohle-, Kernkraftwerken,  
Raffinerien

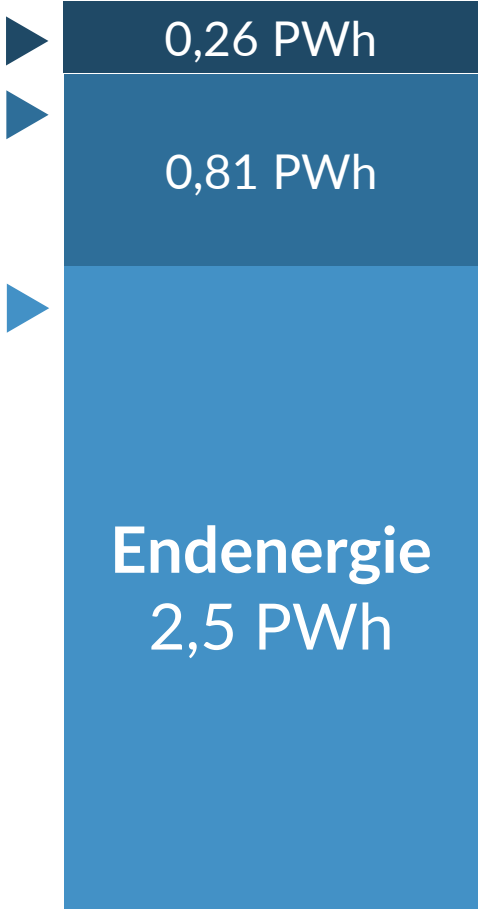
# Energieverbrauch in Deutschland (2019)



Nichtenergetischer Verbrauch  
Umwandlungsverluste in  
Gas-, Kohle-, Kernkraftwerken,  
Raffinerien

# Energieverbrauch in Deutschland (2019)

Deutschland  
3,6 PWh  
(Primär-  
energie  
2019)

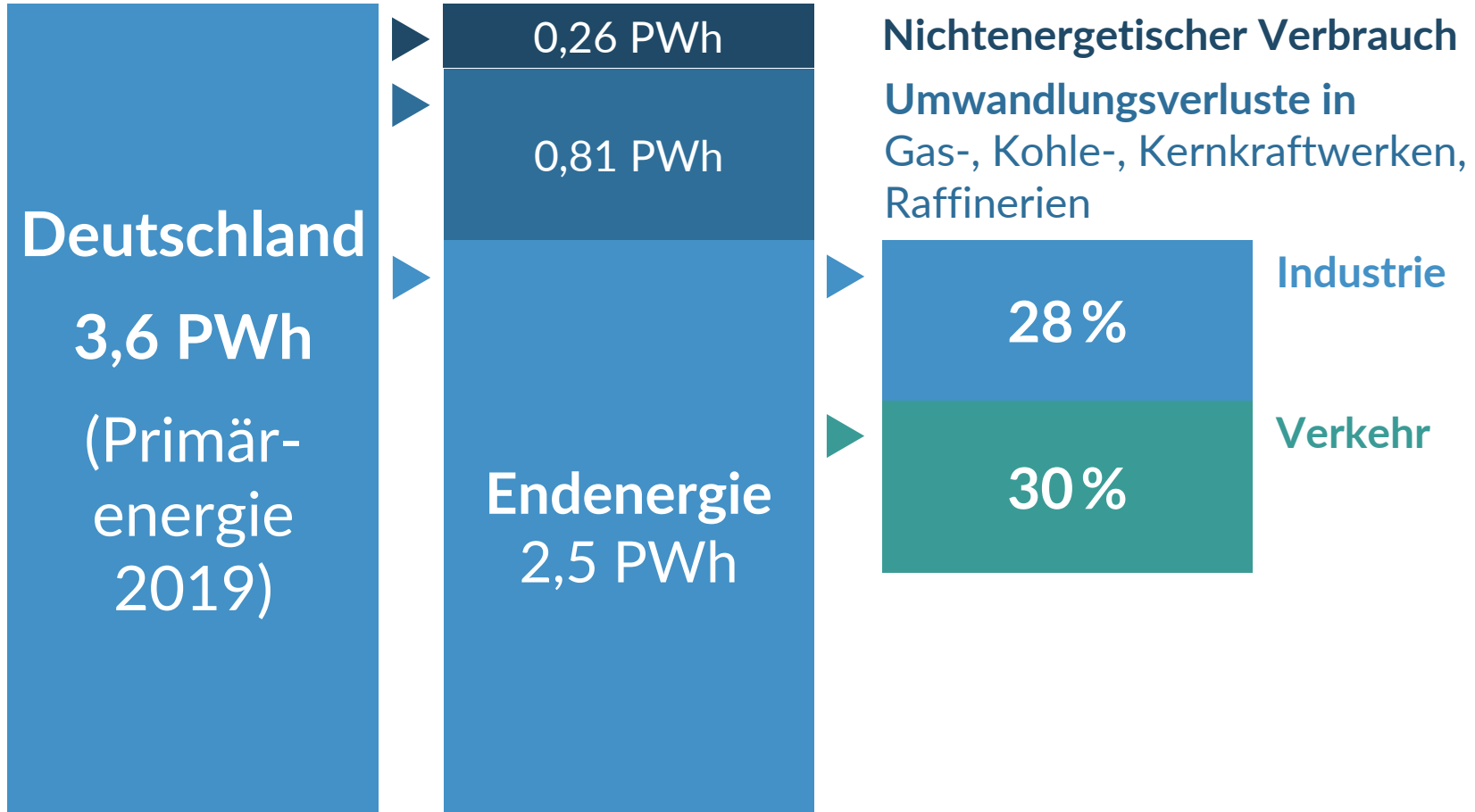


Nichtenergetischer Verbrauch  
Umwandlungsverluste in  
Gas-, Kohle-, Kernkraftwerken,  
Raffinerien



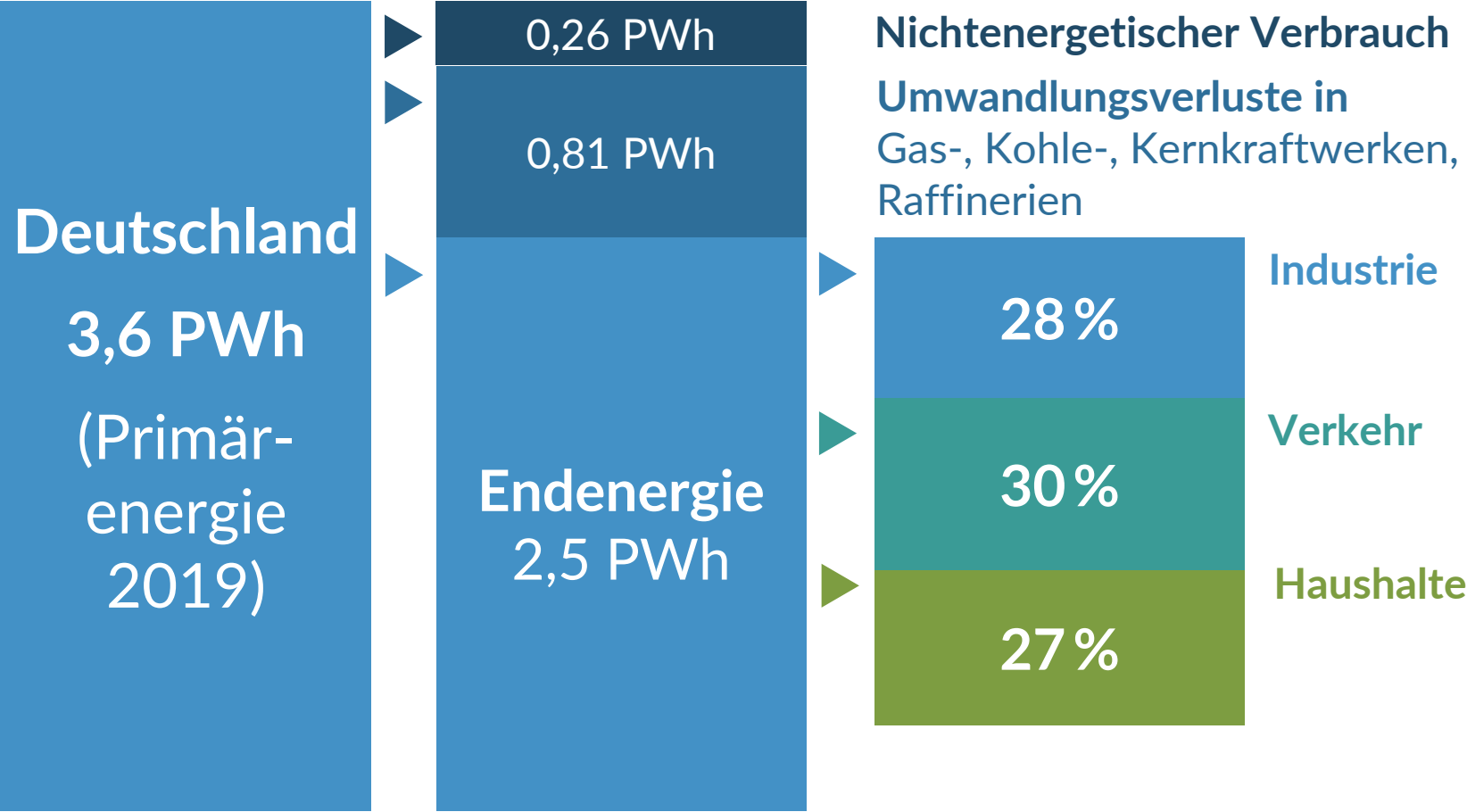
Industrie

# Energieverbrauch in Deutschland (2019)

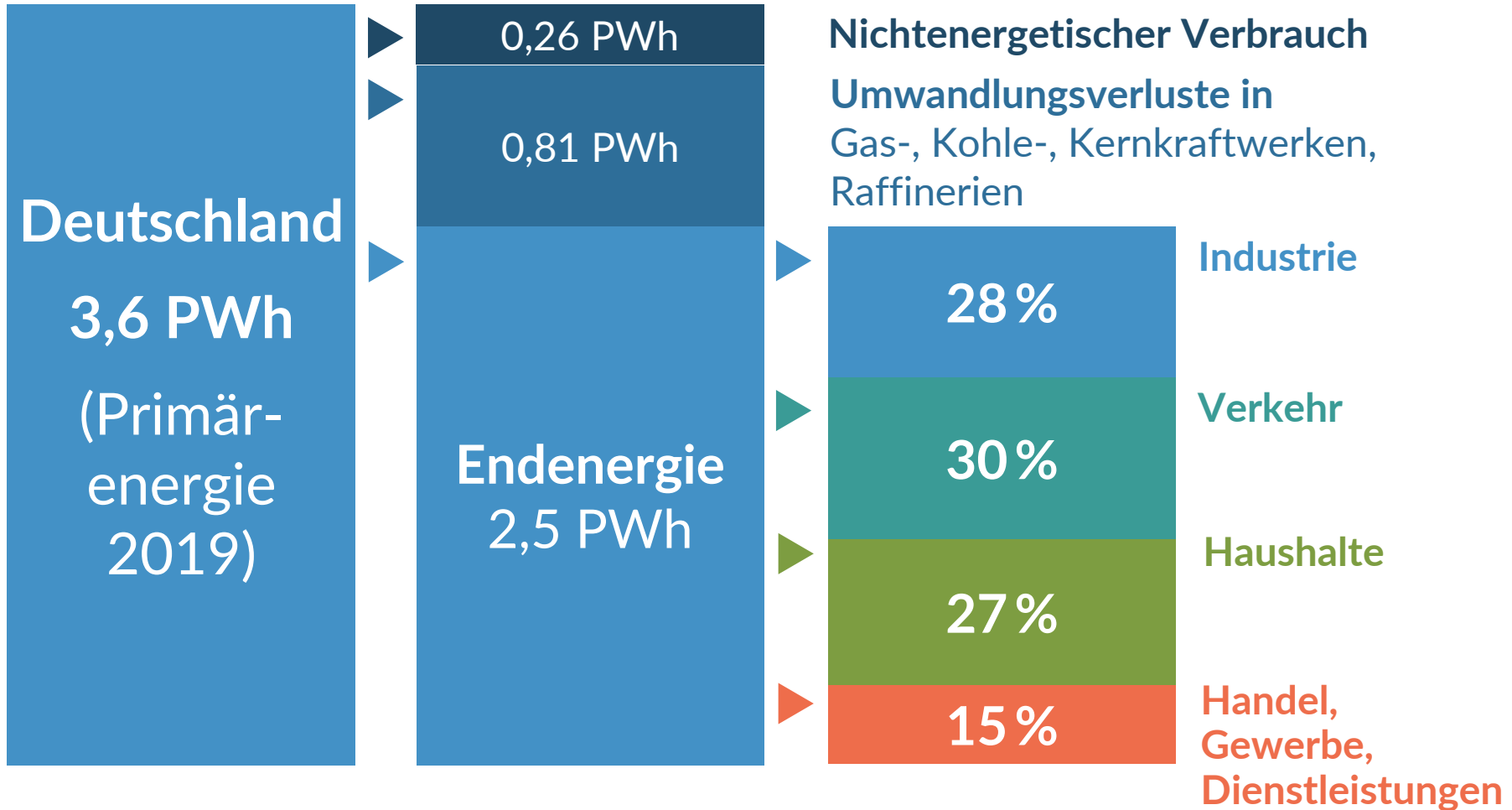




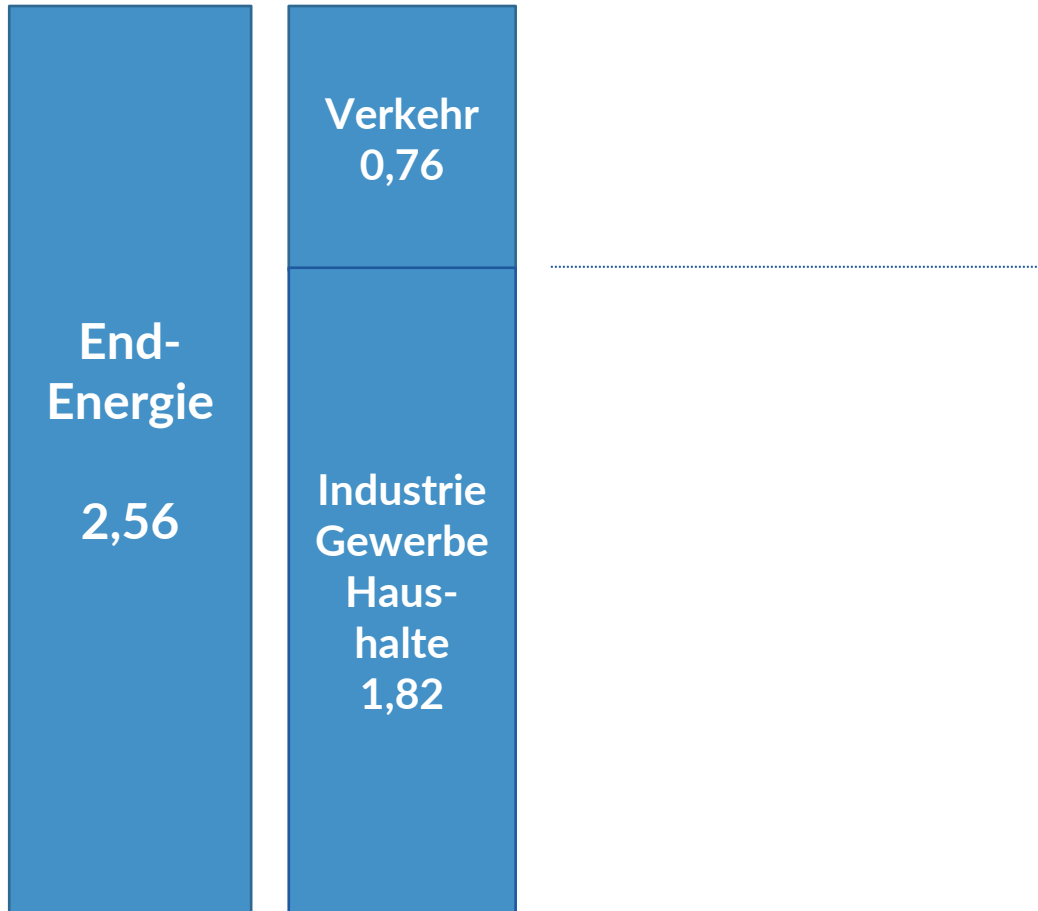
# Energieverbrauch in Deutschland (2019)



# Energieverbrauch in Deutschland (2019)

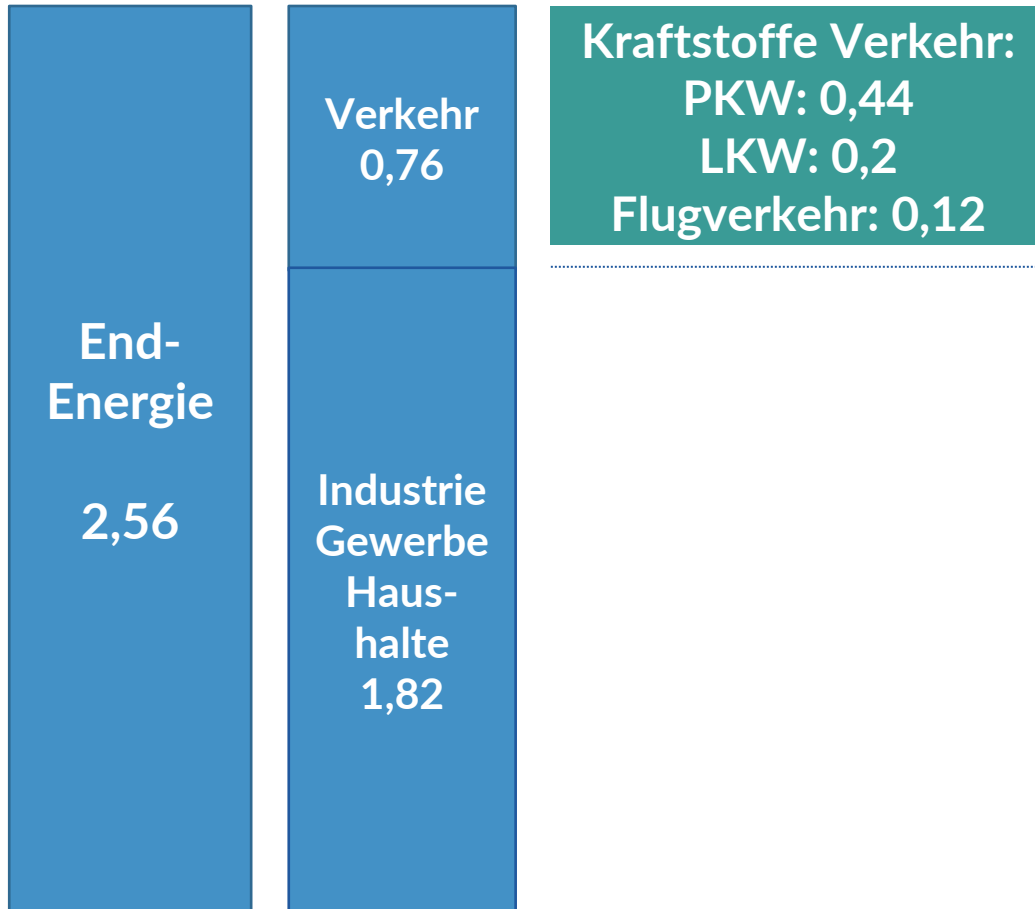


# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



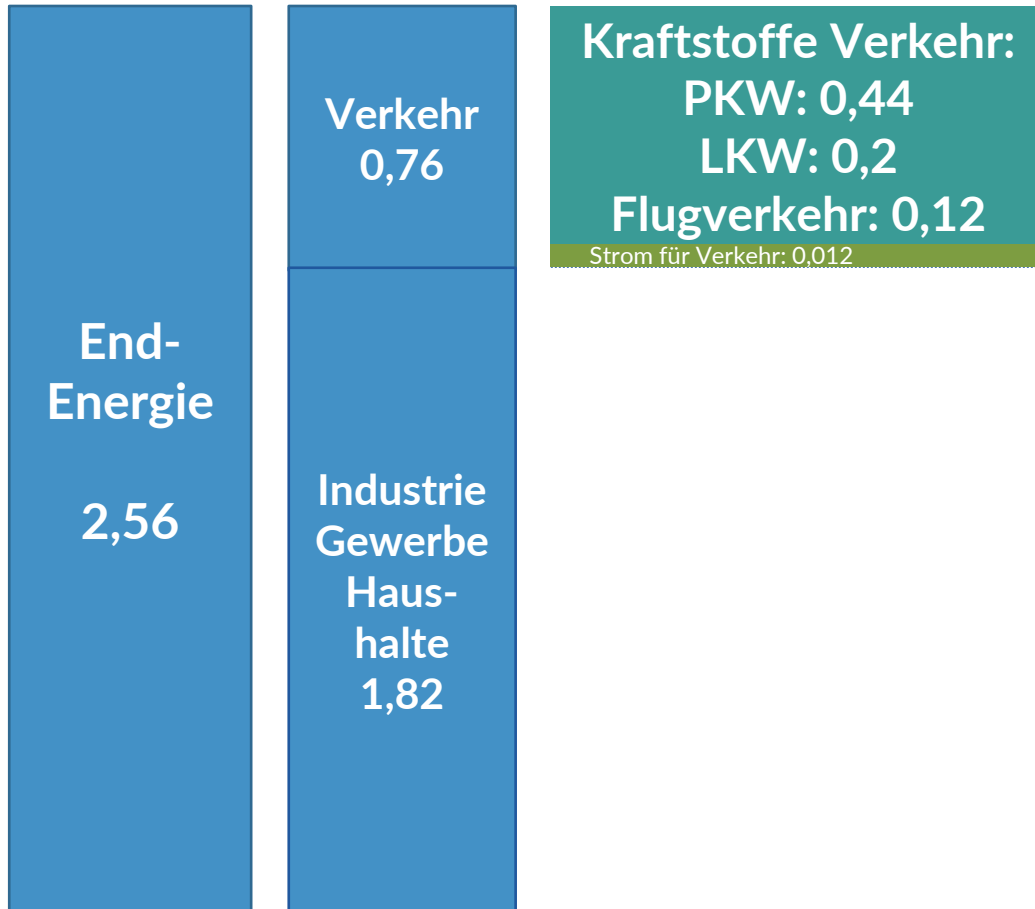
Deutschland 2017, alle Angaben in PWh

# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



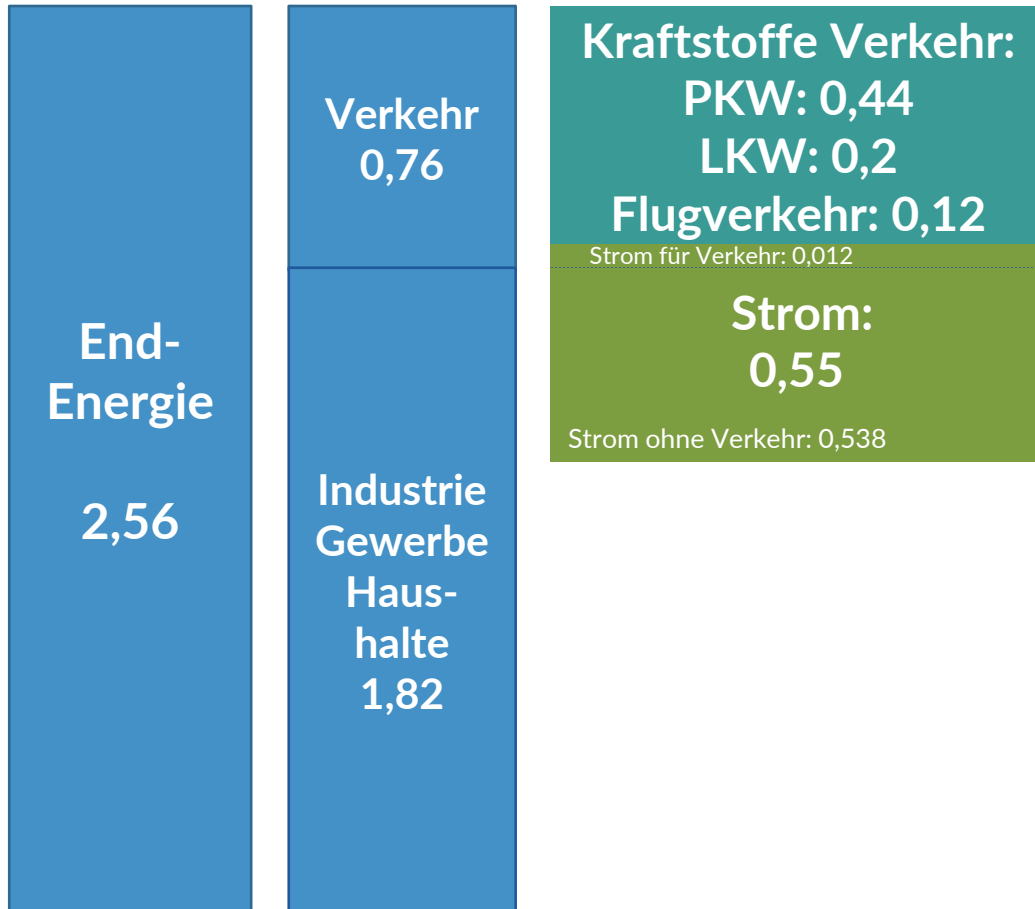
Deutschland 2017, alle Angaben in PWh

# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



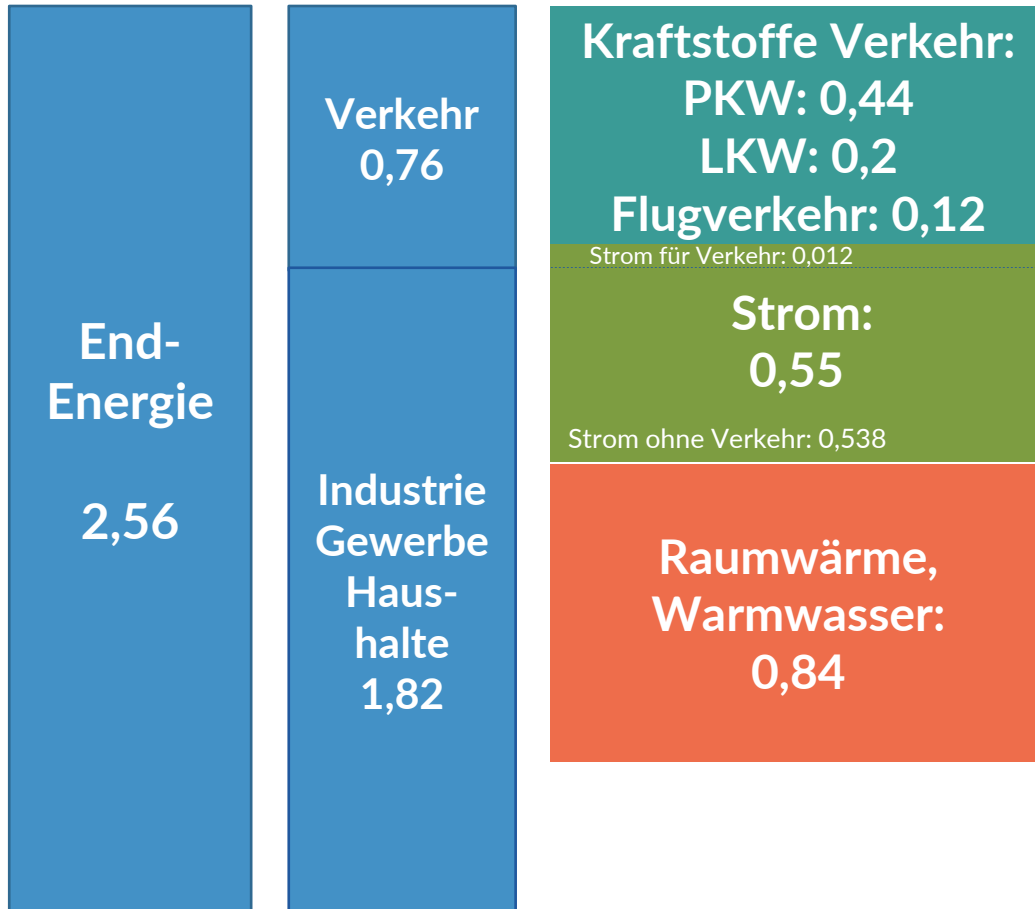
Deutschland 2017, alle Angaben in PWh

# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



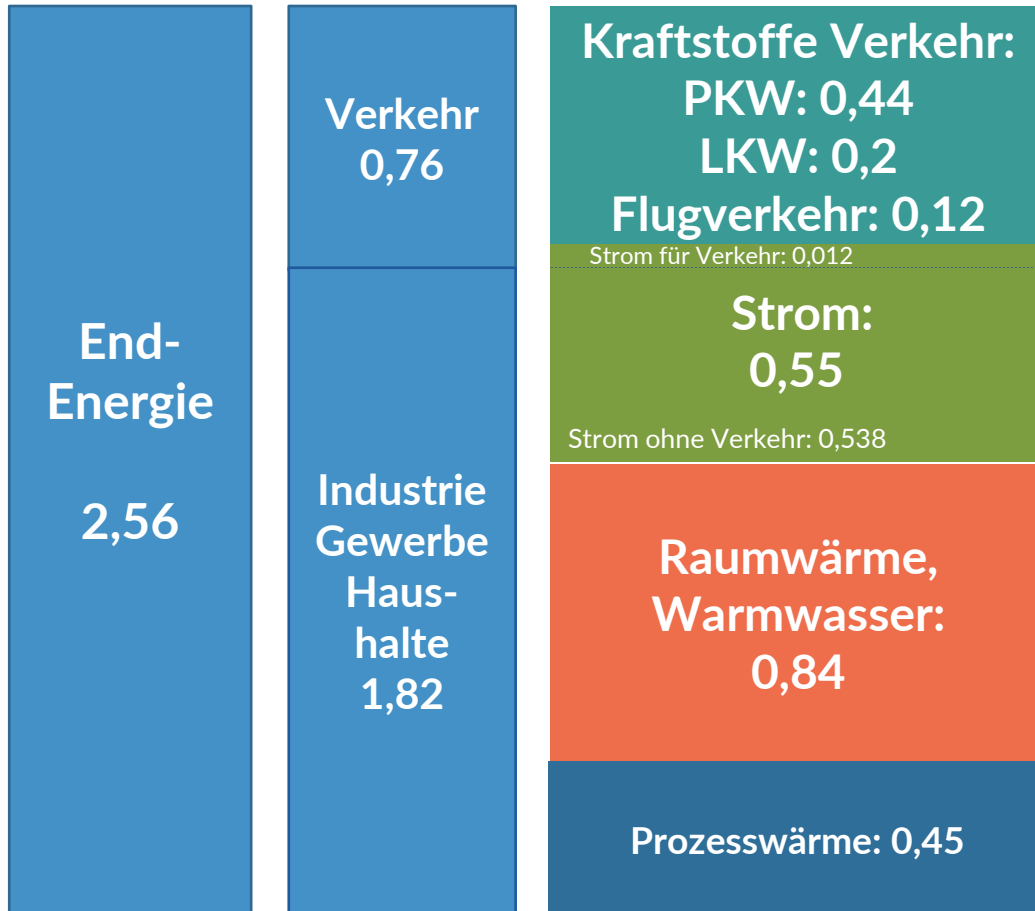
Deutschland 2017, alle Angaben in PWh

# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



Deutschland 2017, alle Angaben in PWh

# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



Deutschland 2017, alle Angaben in PWh



# Einsparungen durch die Energiewende

Deutschland

3,6 PWh

(2019;  
Primär-  
energie)

# Einsparungen durch die Energiewende

Deutschland

3,6 PWh

(2019;  
Primär-  
energie)

0,26 PWh

Nichtenergetischer Verbrauch

# Einsparungen durch die Energiewende

Deutschland

3,6 PWh

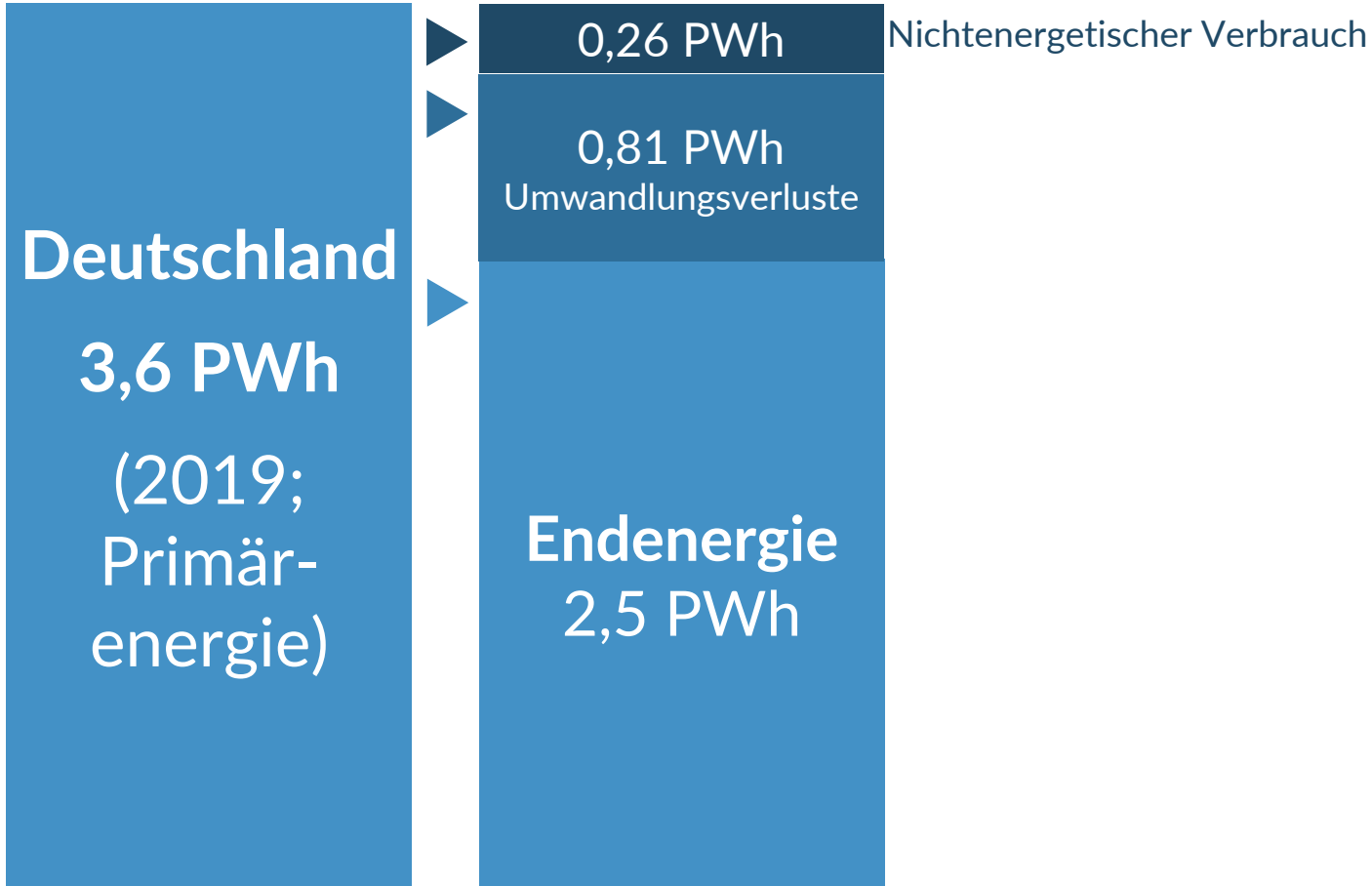
(2019;  
Primär-  
energie)

0,26 PWh

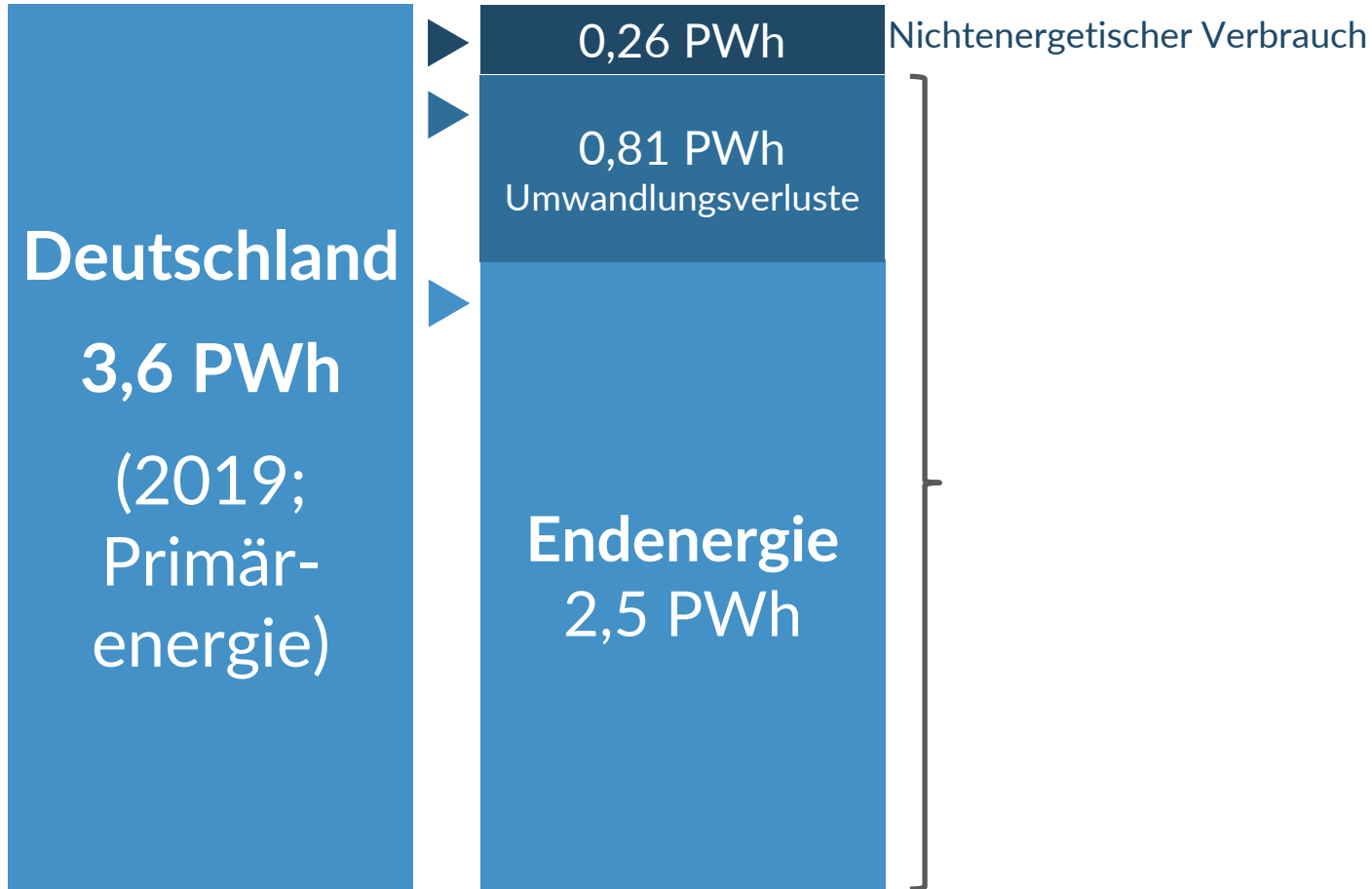
Nichtenergetischer Verbrauch

0,81 PWh  
Umwandlungsverluste

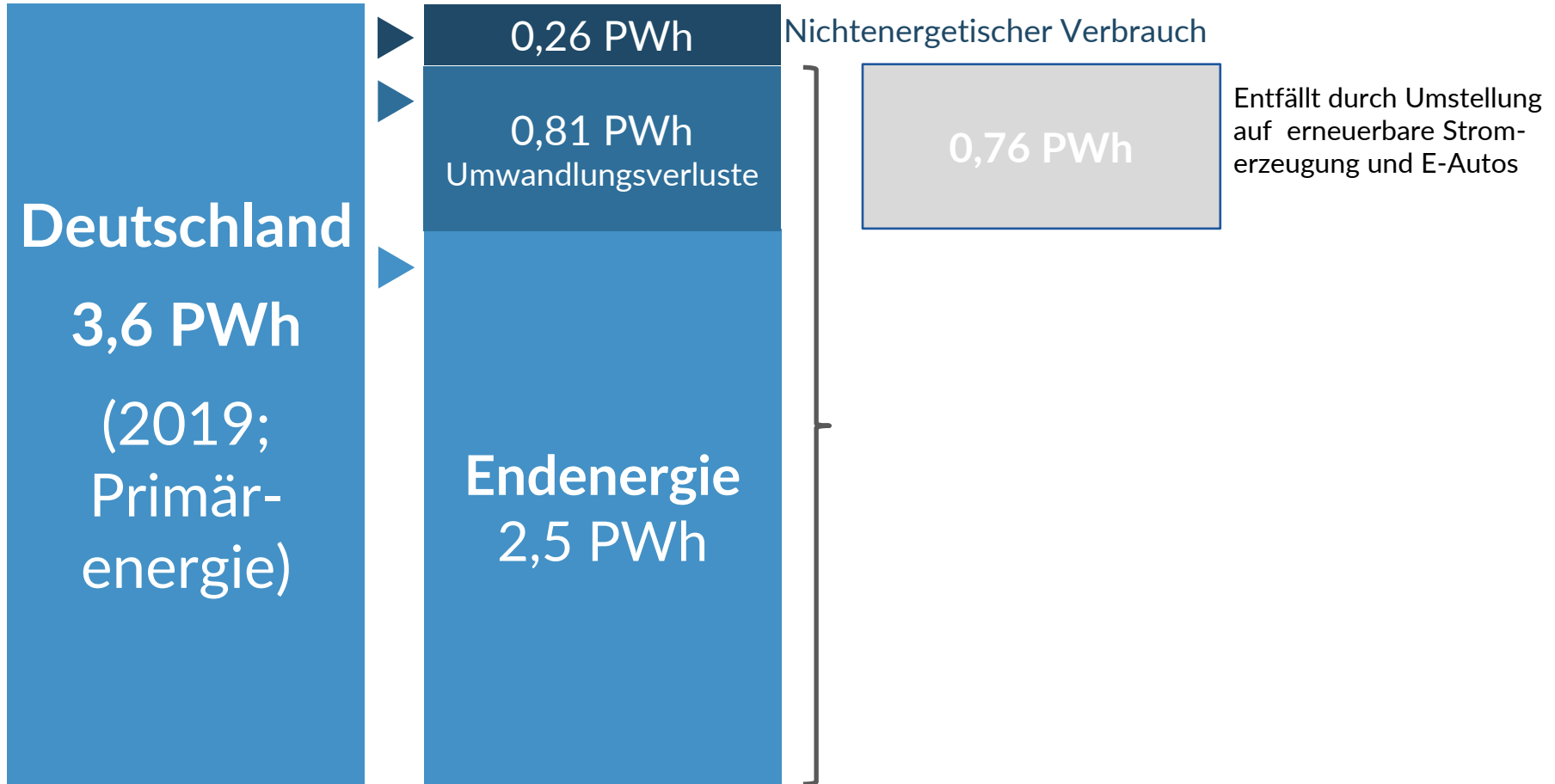
# Einsparungen durch die Energiewende



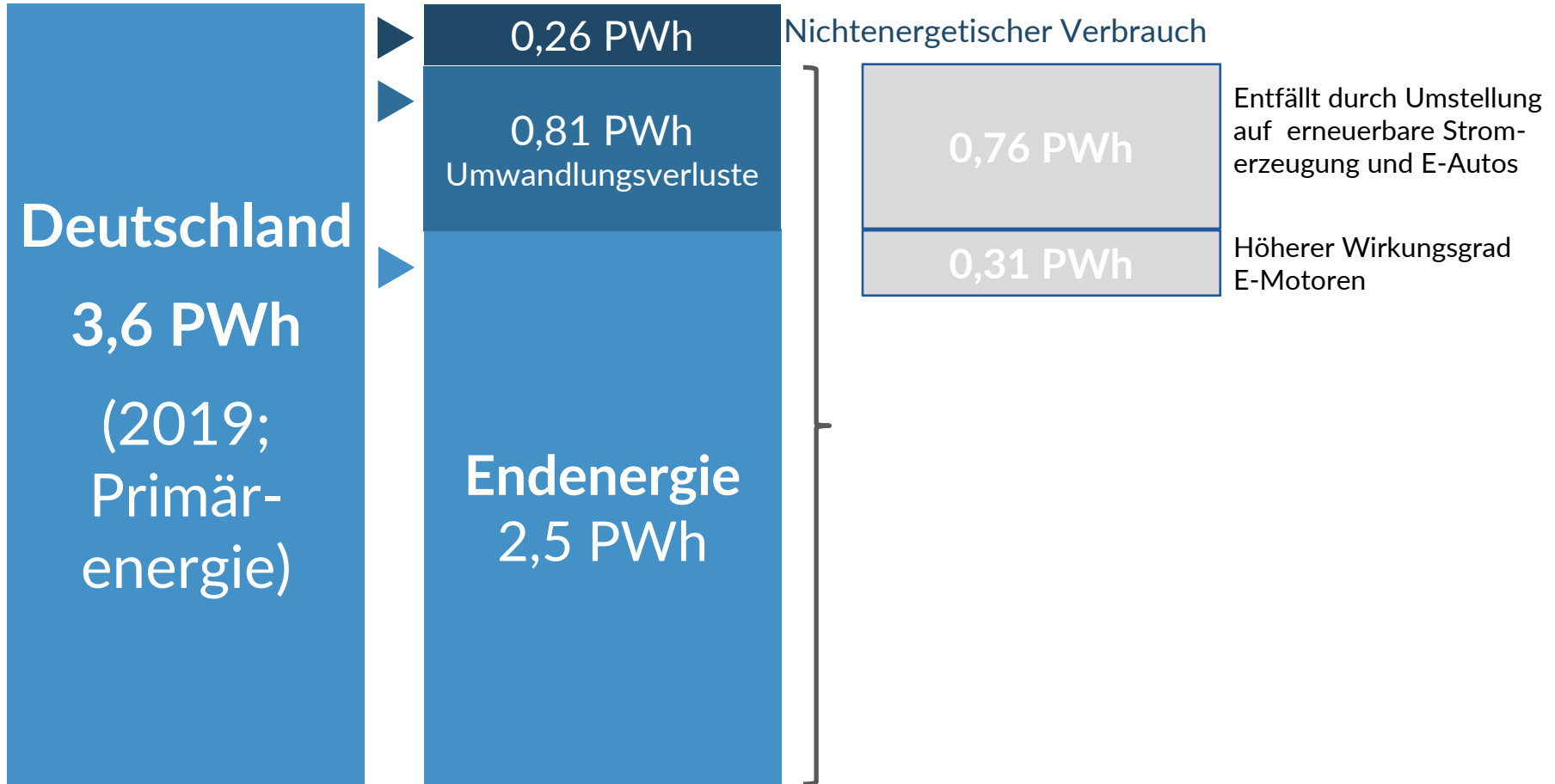
# Einsparungen durch die Energiewende



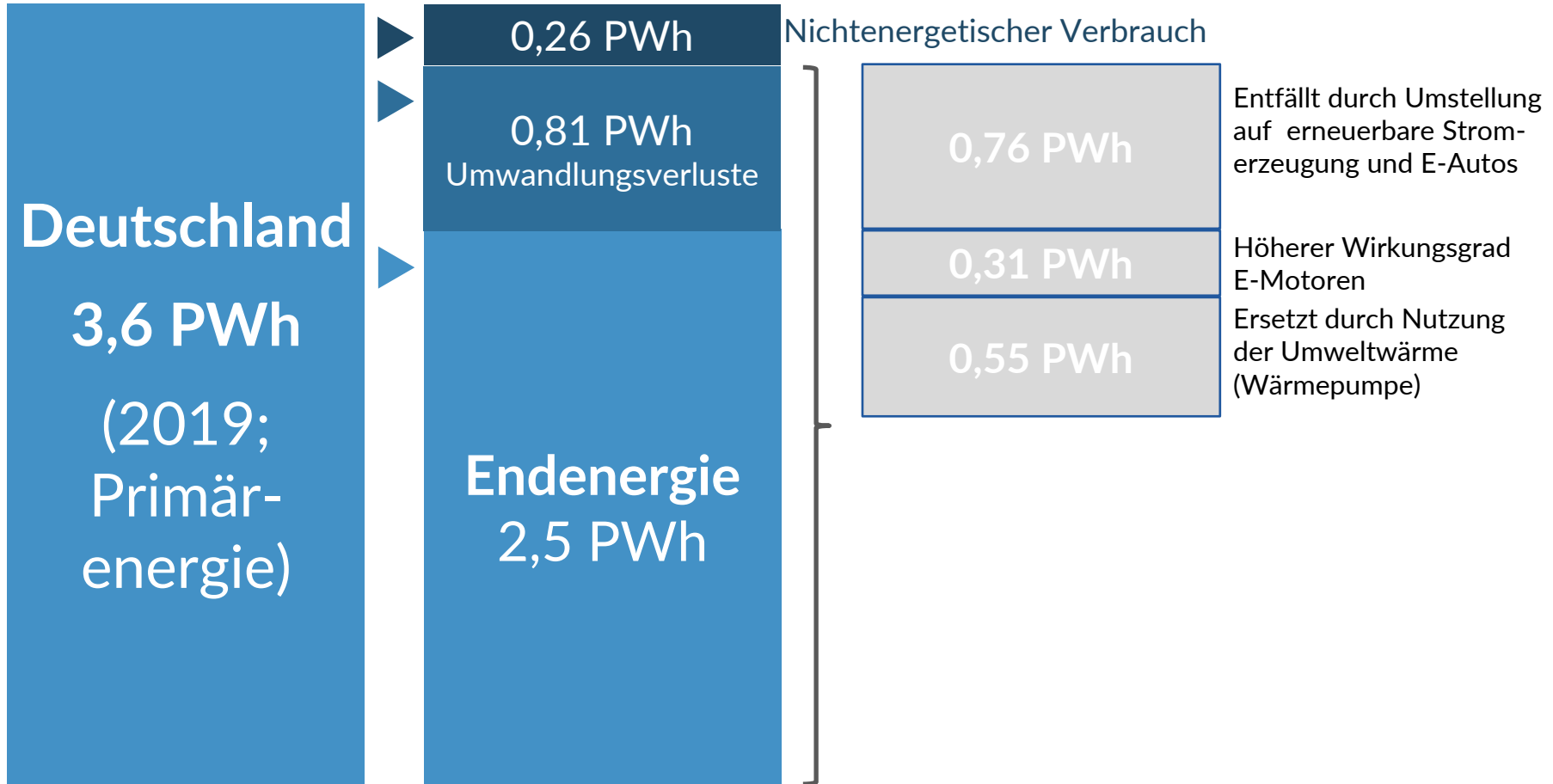
# Einsparungen durch die Energiewende



# Einsparungen durch die Energiewende

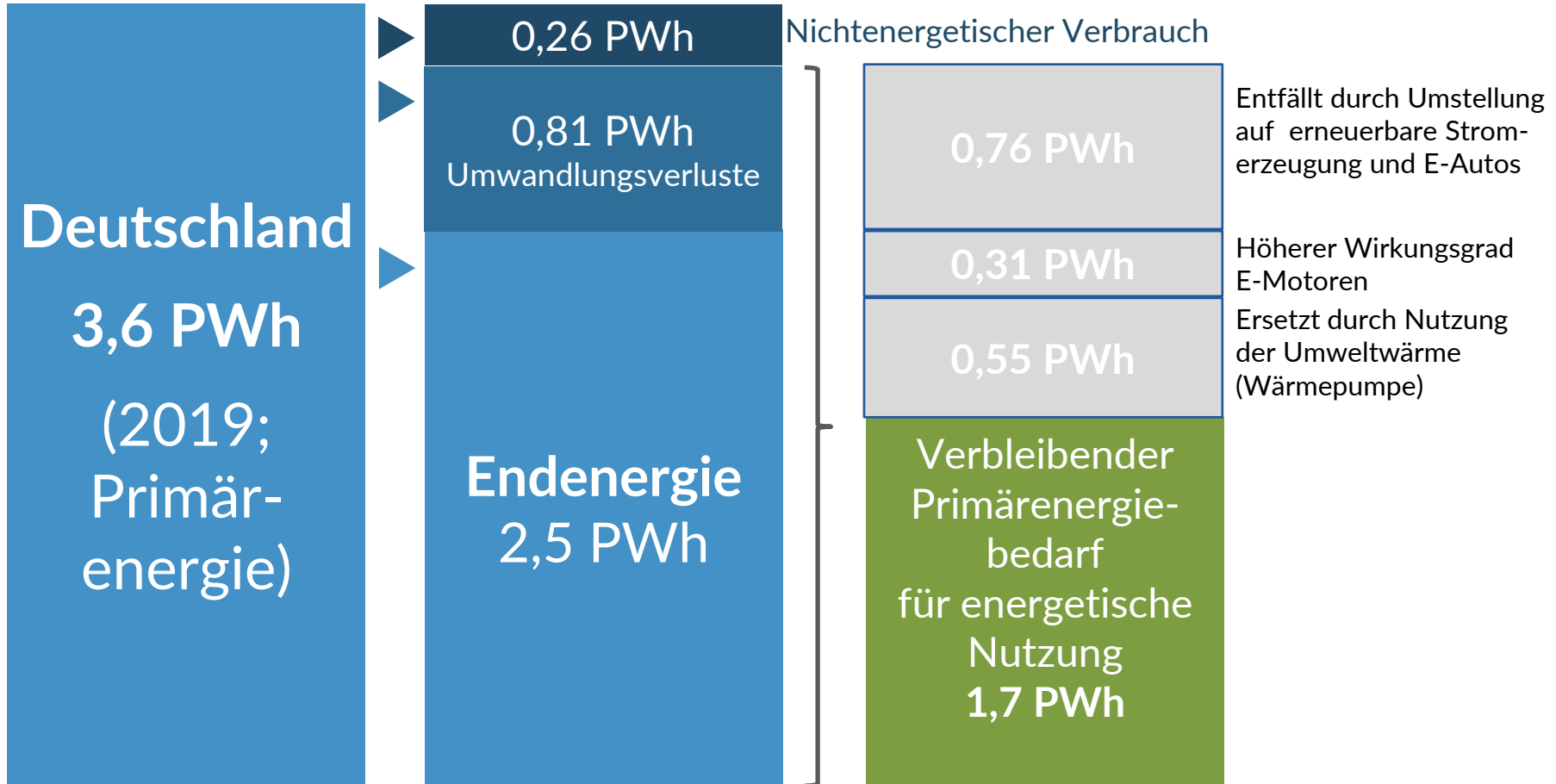


# Einsparungen durch die Energiewende

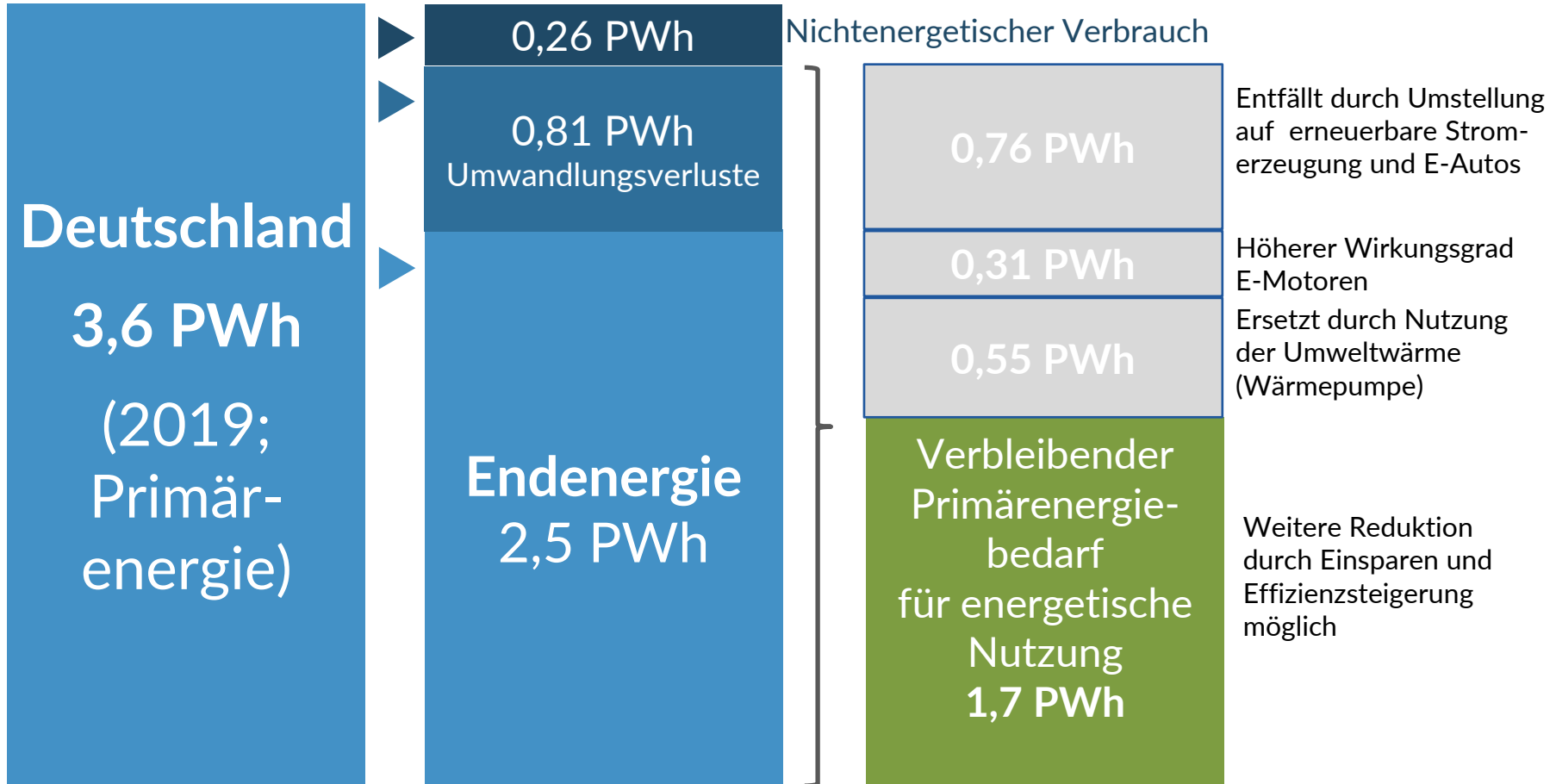




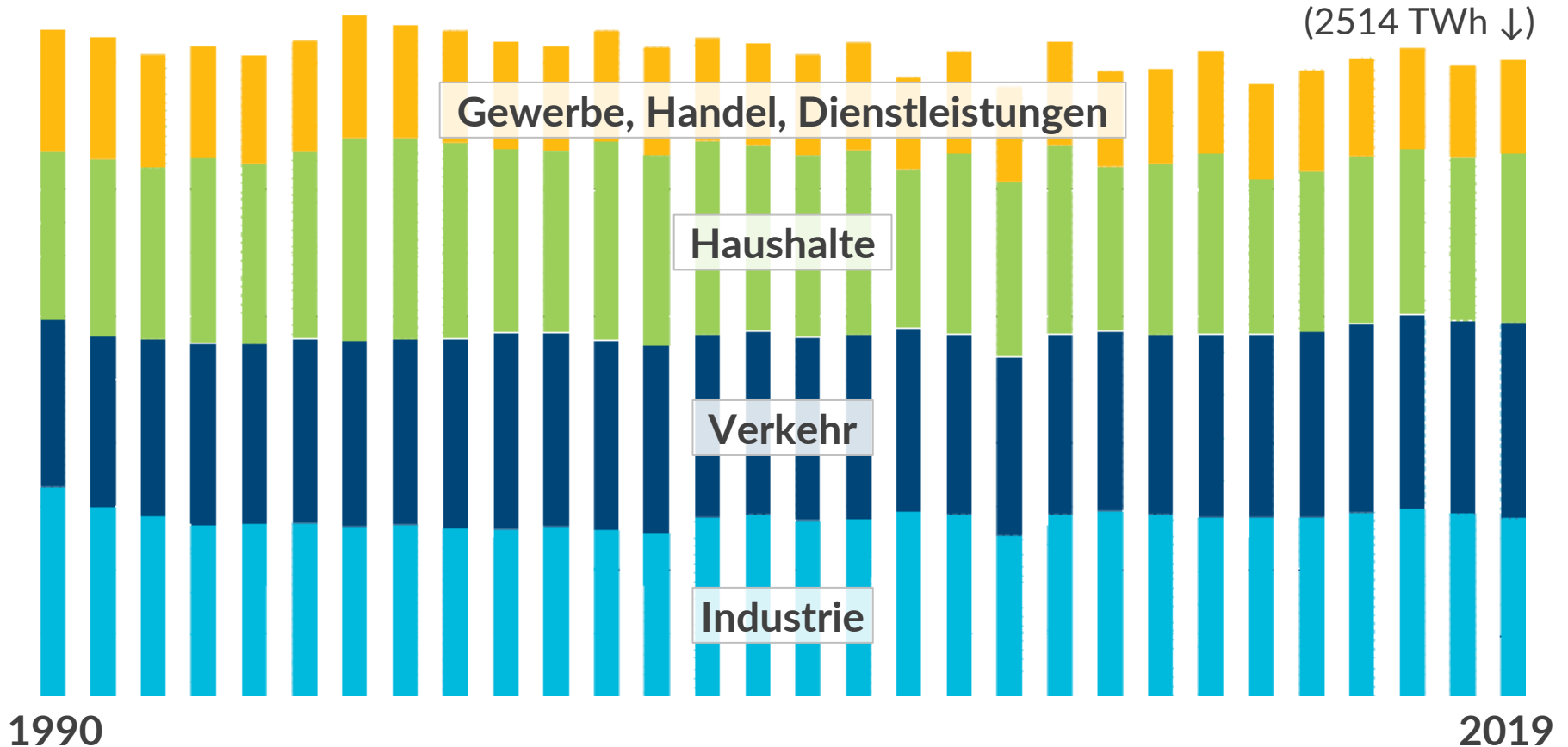
# Einsparungen durch die Energiewende



# Einsparungen durch die Energiewende

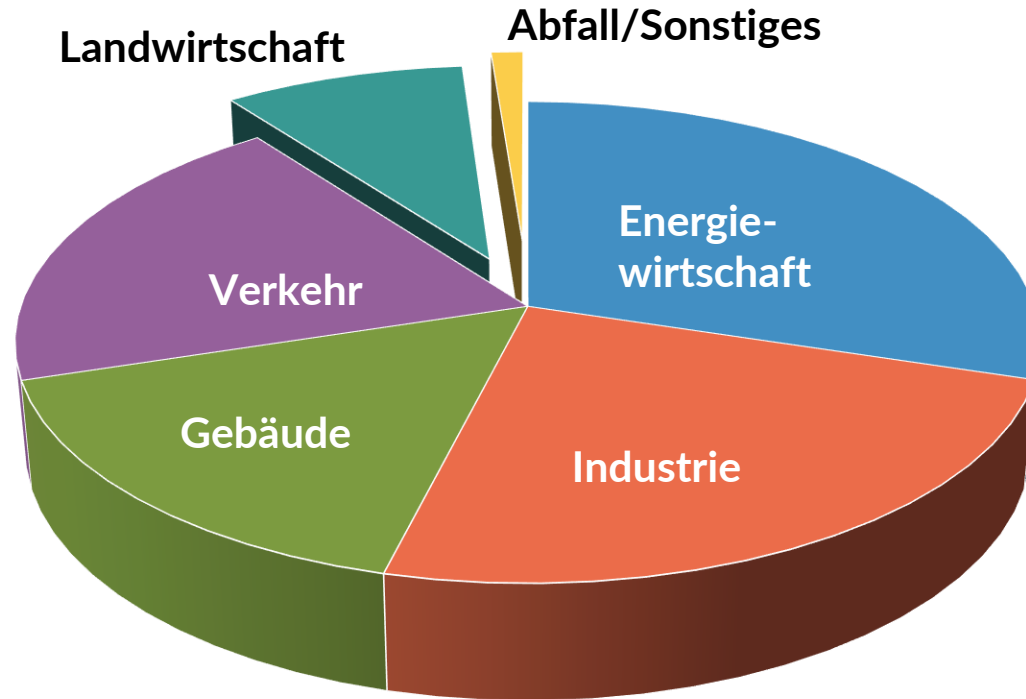


# Der Endenergieverbrauch in Deutschland stagniert seit 30 Jahren:



# **CO<sub>2</sub>-Emissionen und Budget**

# Über 80 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland sind energiebedingt



**Wie schnell  
müssen die deutschen  
CO<sub>2</sub>-Emissionen  
sinken?**

**Anders gefragt:  
Wie viel CO<sub>2</sub>  
dürfen (können, wollen)  
wir noch emittieren?**

# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland

## Globales CO<sub>2</sub>-Budget:

So viel kann die Welt ab 2020 noch emittieren, um mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Erwärmung unter einer bestimmten Temperatur zu halten.



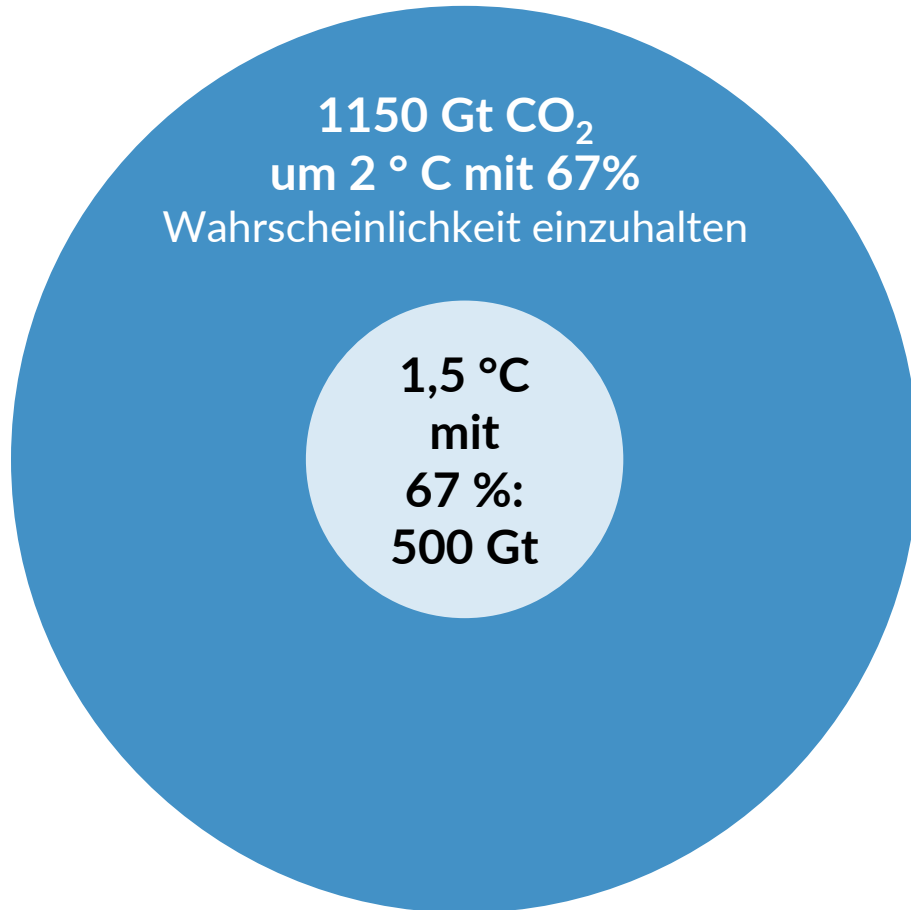
# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland

1150 Gt CO<sub>2</sub>  
um 2 °C mit 67%  
Wahrscheinlichkeit einzuhalten

## Globales CO<sub>2</sub>-Budget:

So viel kann die Welt ab 2020 noch emittieren, um mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Erwärmung unter einer bestimmten Temperatur zu halten.

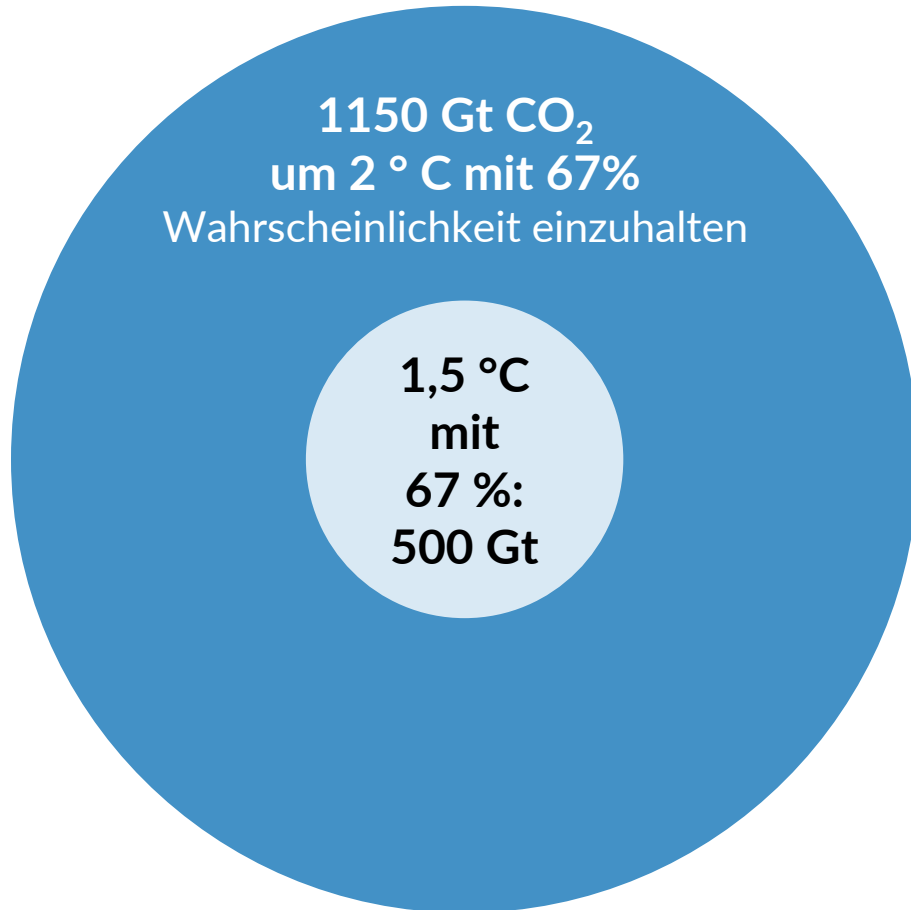
# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland



## Globales CO<sub>2</sub>-Budget:

So viel kann die Welt ab 2020 noch emittieren, um mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Erwärmung unter einer bestimmten Temperatur zu halten.


# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland



Welches globale Budget  
will man erreichen?

Anders gefragt:  
Welche Erwärmung will man  
wie sicher vermeiden?

# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland




Angenommenes  
globales  
CO<sub>2</sub>-Budget

Wie teilt man das Budget auf die  
Menschen der Erde auf?

Jeder gleich viel?

# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland



Angenommenes  
globales  
CO<sub>2</sub>-Budget

Wie teilt man das Budget auf die  
Menschen der Erde auf?


Jeder gleich viel?

Annahme:

750 Gt CO<sub>2</sub> Budget für  
7,79 Milliarden Menschen

⇒ 3,2 Tonnen pro Jahr pro Mensch

# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland



Angenommenes  
globales  
CO<sub>2</sub>-Budget

Wie teilt man das Budget auf die  
Menschen der Erde auf?

Jeder gleich viel?

Annahme:

750 Gt CO<sub>2</sub> Budget für  
7,79 Milliarden Menschen

⇒ 3,2 Tonnen pro Jahr pro Mensch

Deutschland pro Person: 7,69 t (2020)

# Ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland

Im Umweltgutachten 2020 betrachtet der SRU

**6,7 Gt CO<sub>2</sub> ab 2020**

als ein plausibles Gesamt-Restbudget für Deutschland.

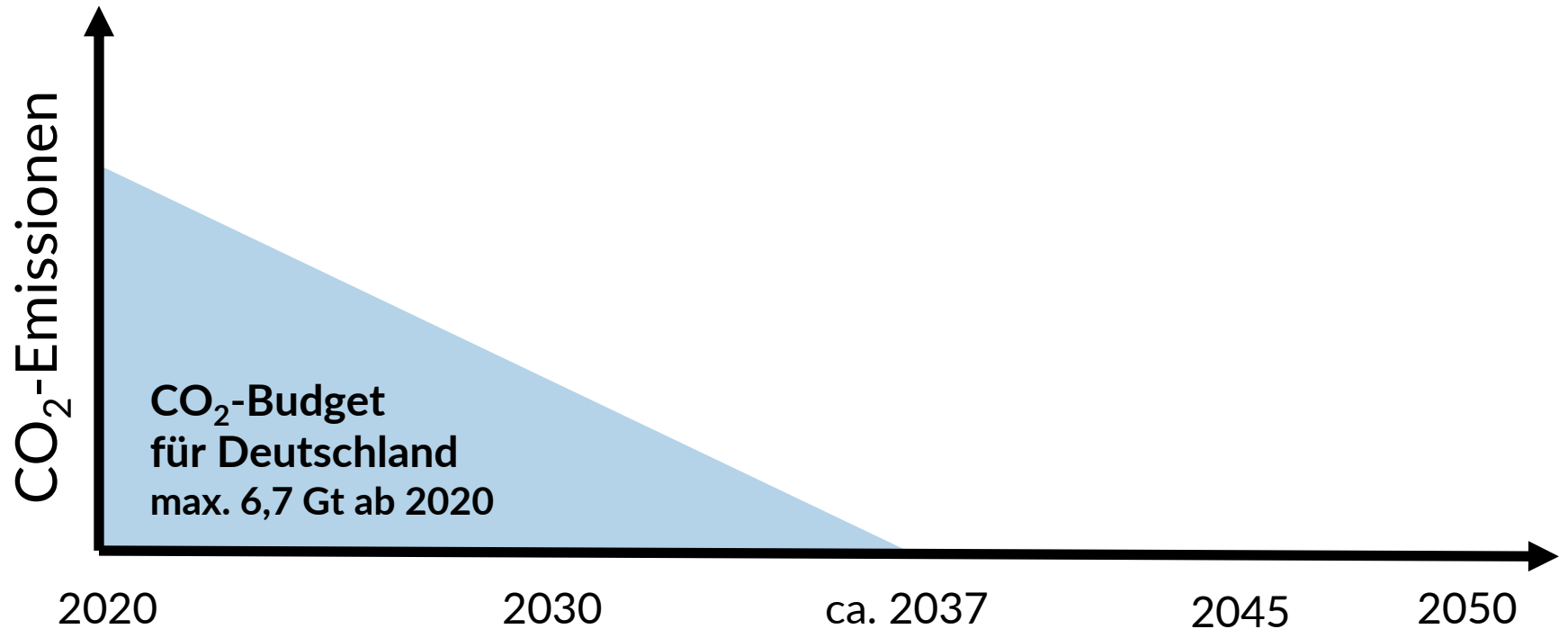
## Klimaphysikalische Annahmen:

Maximale Erderwärmung von 1,75 Grad als Paris-kompatibles-Ziel bei 67% Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung.

## Verteilungsethische Annahmen:

Weglassen historischer Emissionen, globale Aufteilung nach Bevölkerungsanteil der Länder und keine Anrechnung möglicher künftiger Negativemissions-Technologien.

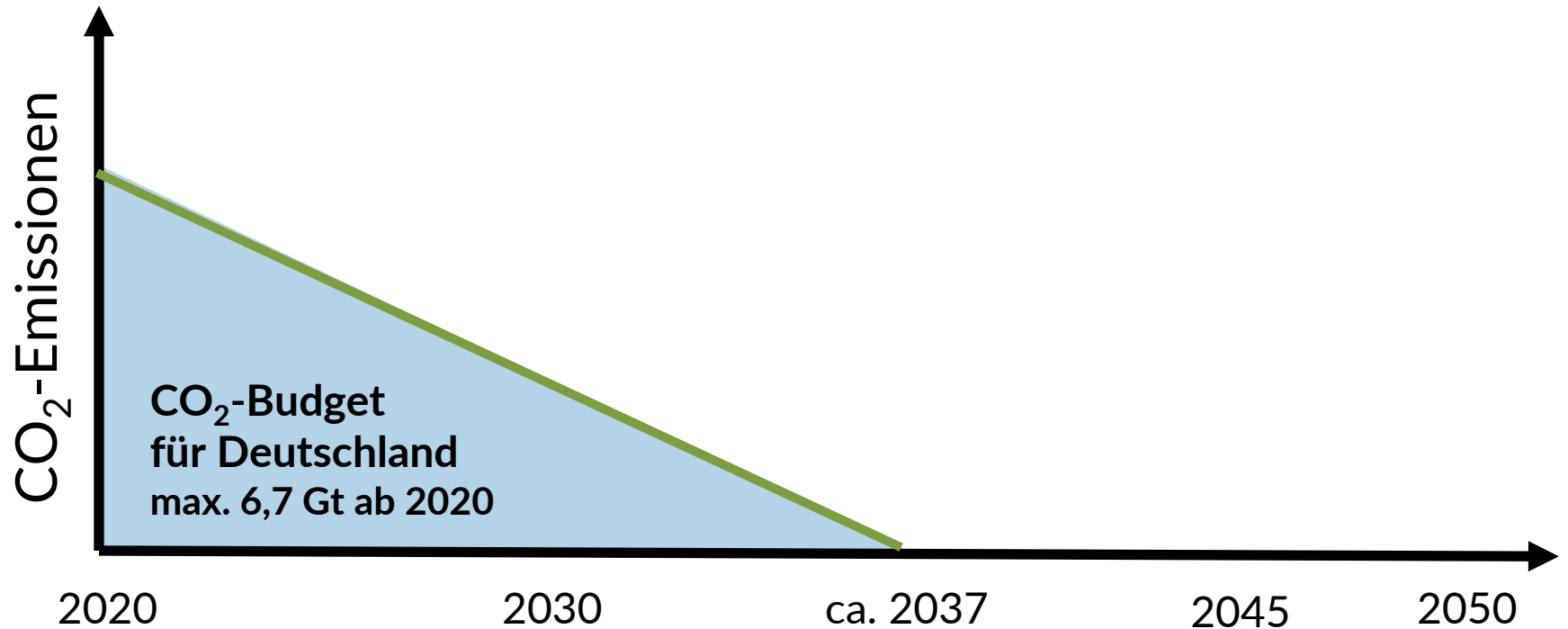
# Umweltgutachten SRU





# Umweltgutachten SRU

Paris-kompatibel

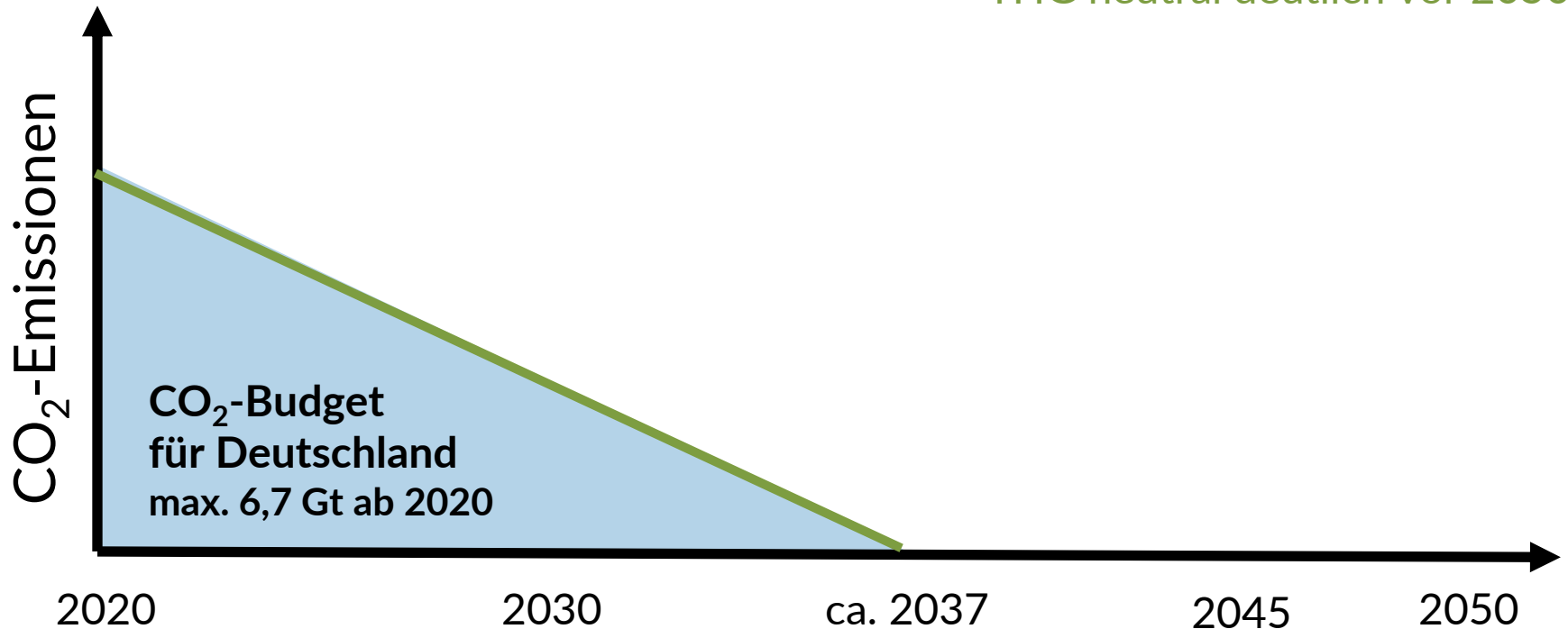


# Umweltgutachten SRU

Paris-kompatibel

Budget einhalten

THG neutral deutlich vor 2050

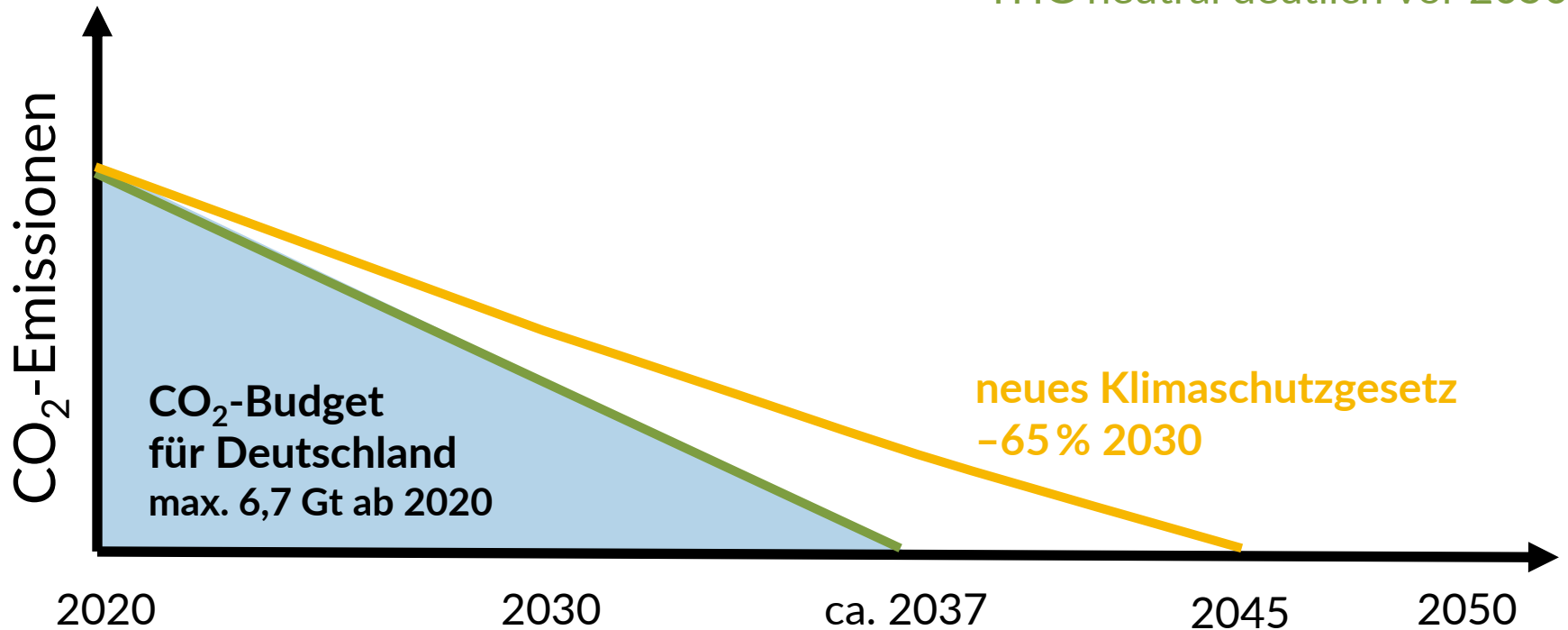


# Umweltgutachten SRU

Paris-kompatibel

Budget einhalten

THG neutral deutlich vor 2050



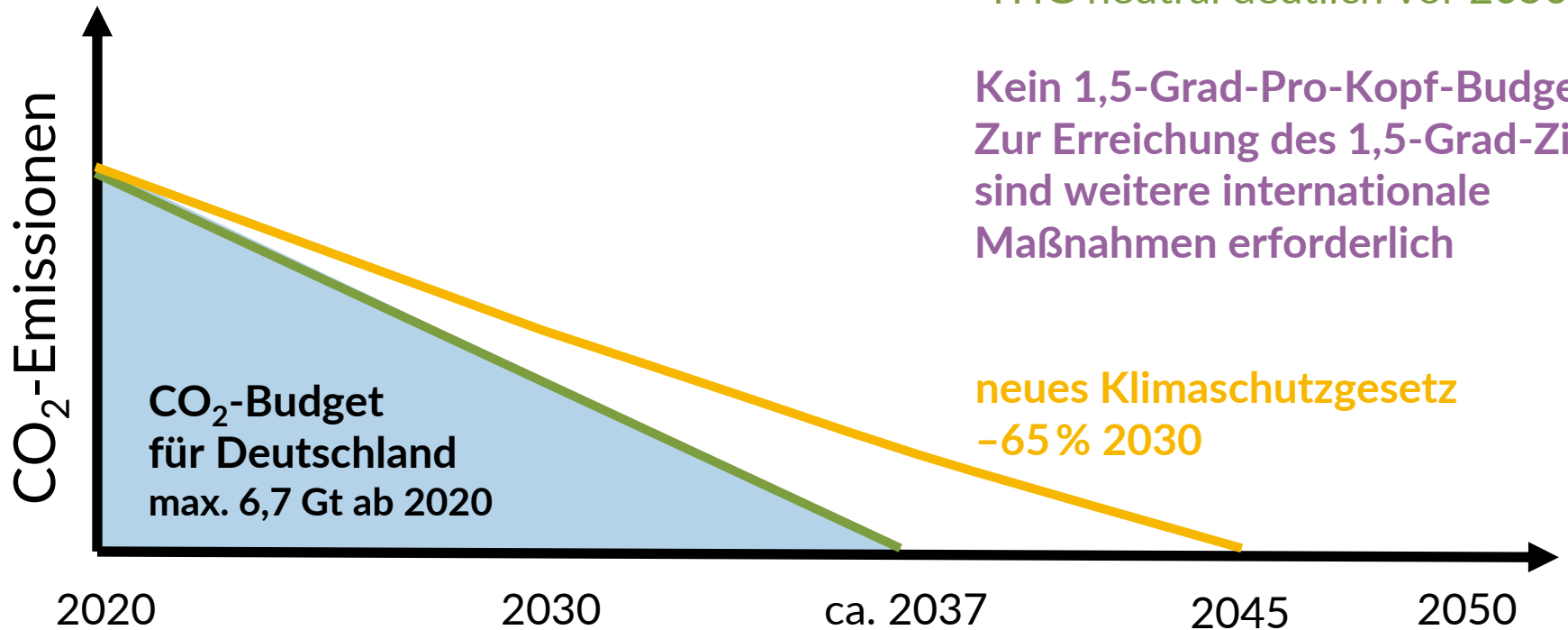
# Umweltgutachten SRU

Paris-kompatibel

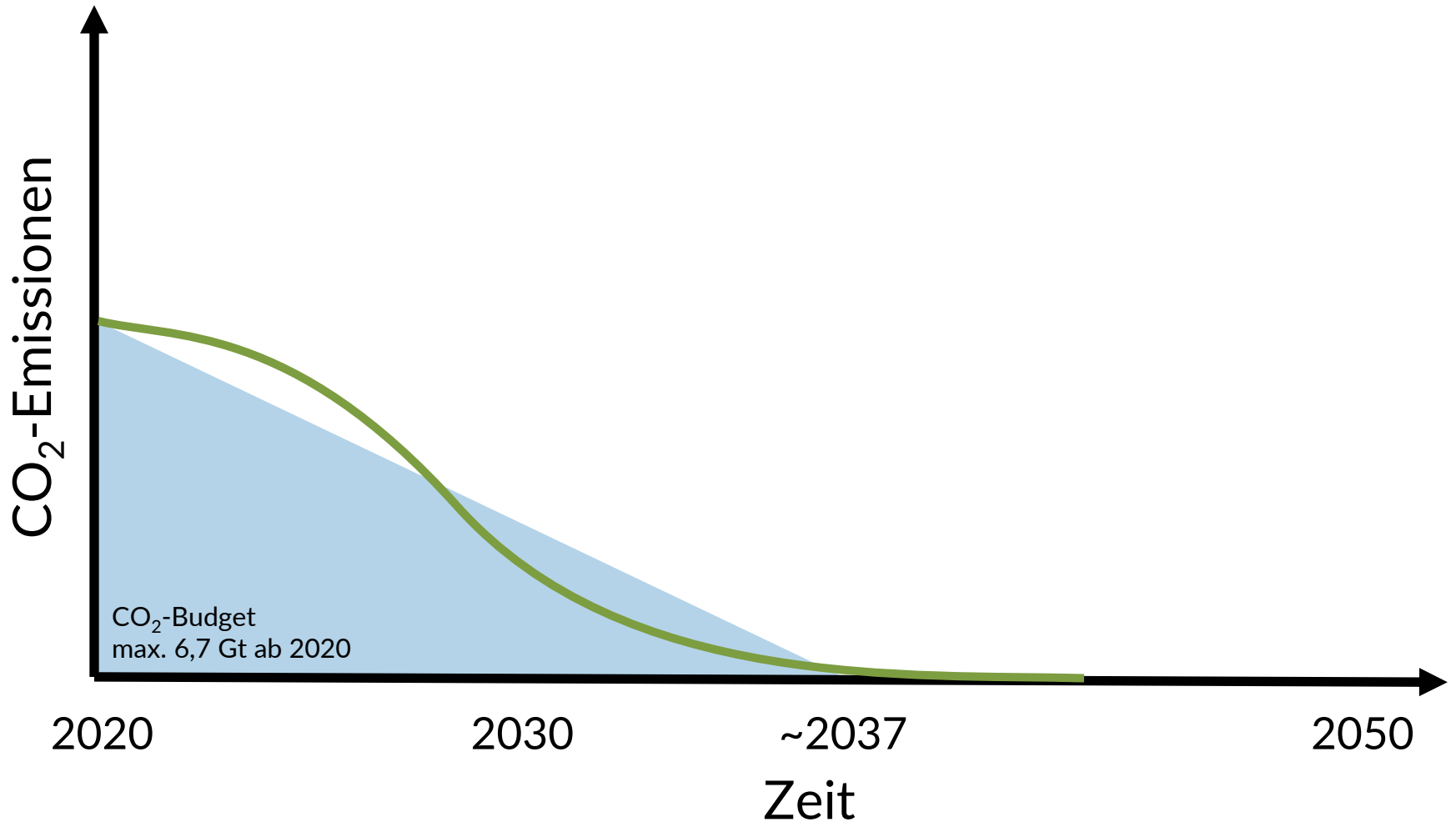
Budget einhalten

THG neutral deutlich vor 2050

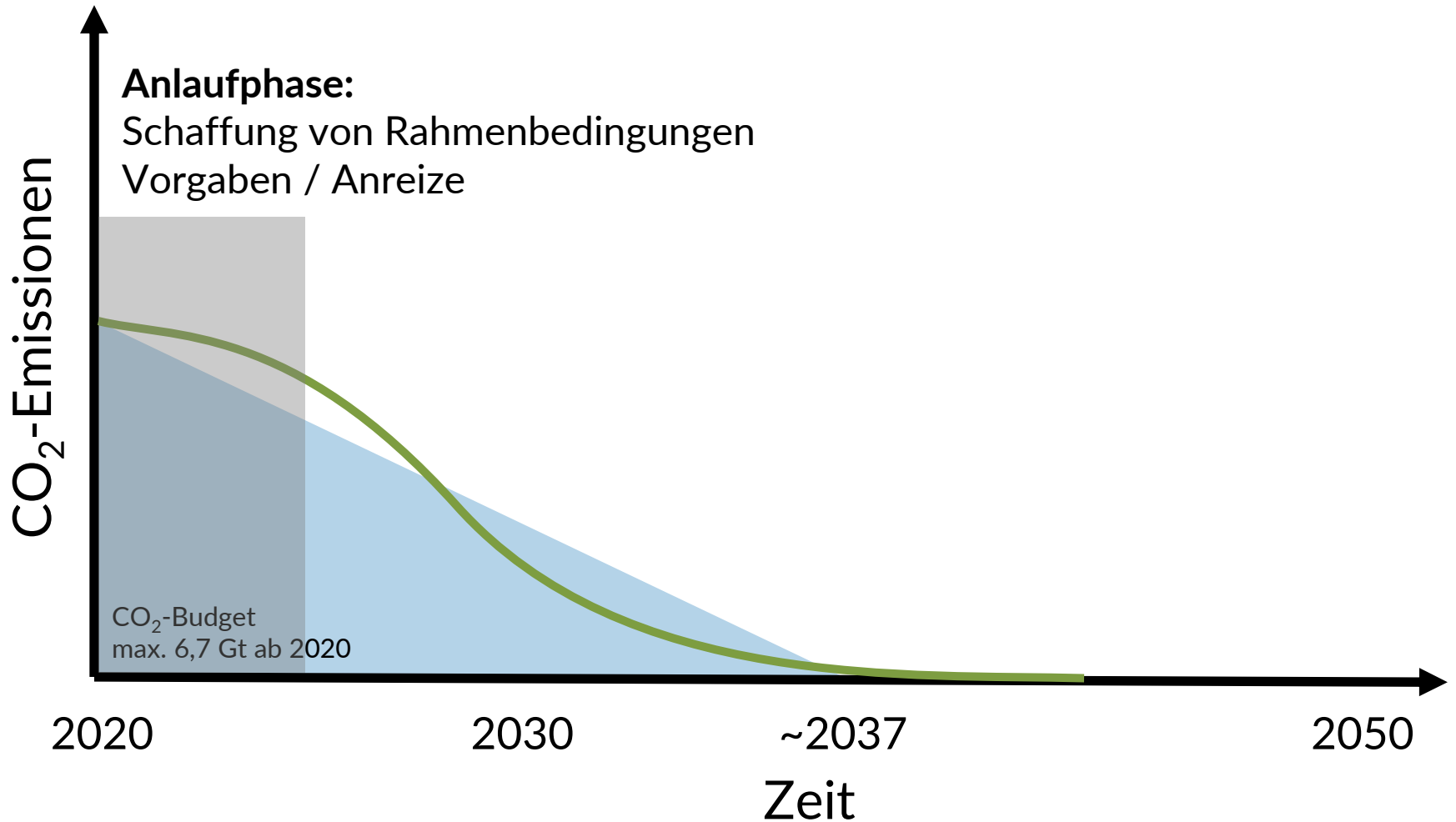
Kein 1,5-Grad-Pro-Kopf-Budget.  
Zur Erreichung des 1,5-Grad-Ziels  
sind weitere internationale  
Maßnahmen erforderlich



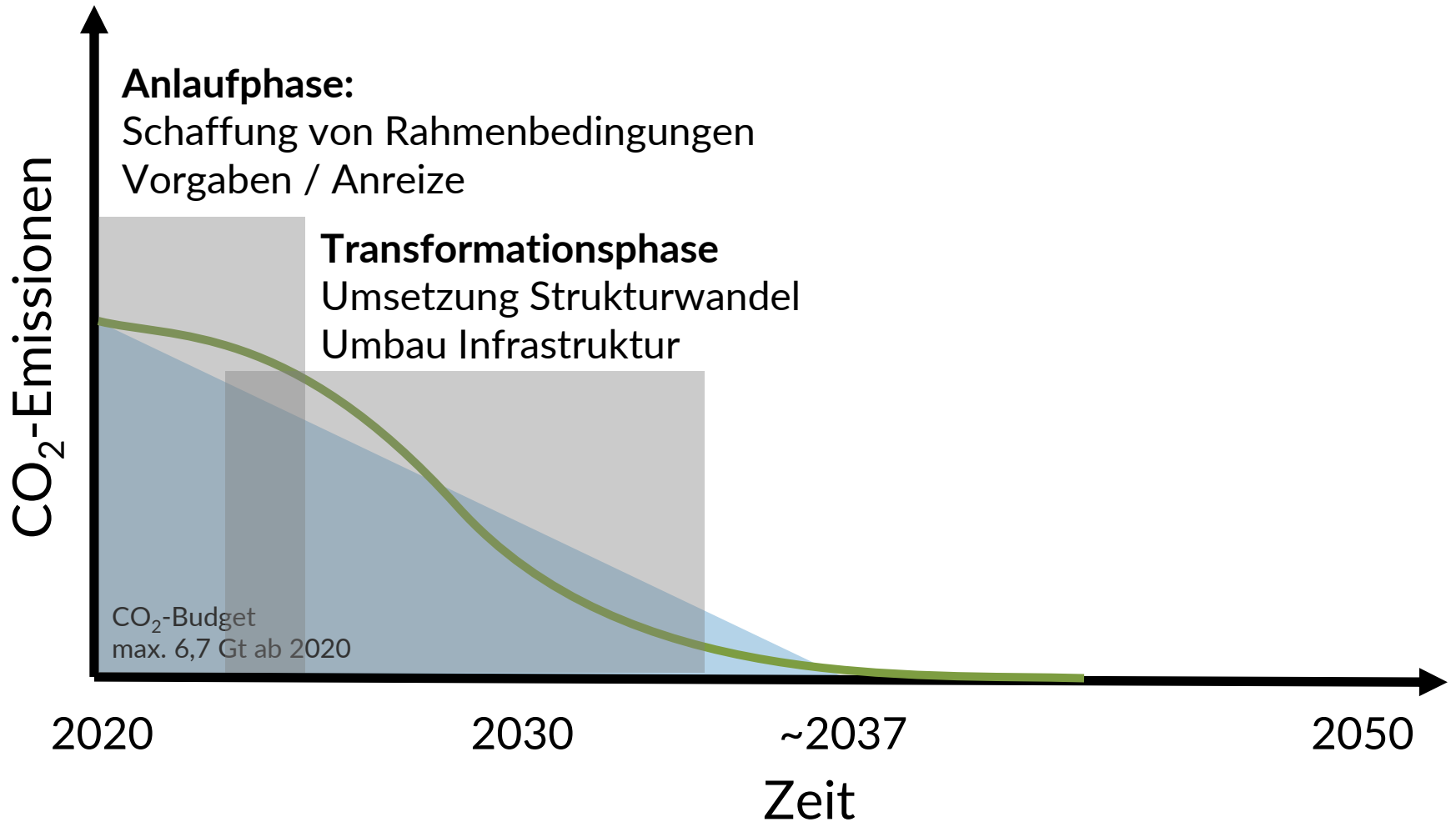
# Phasen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion



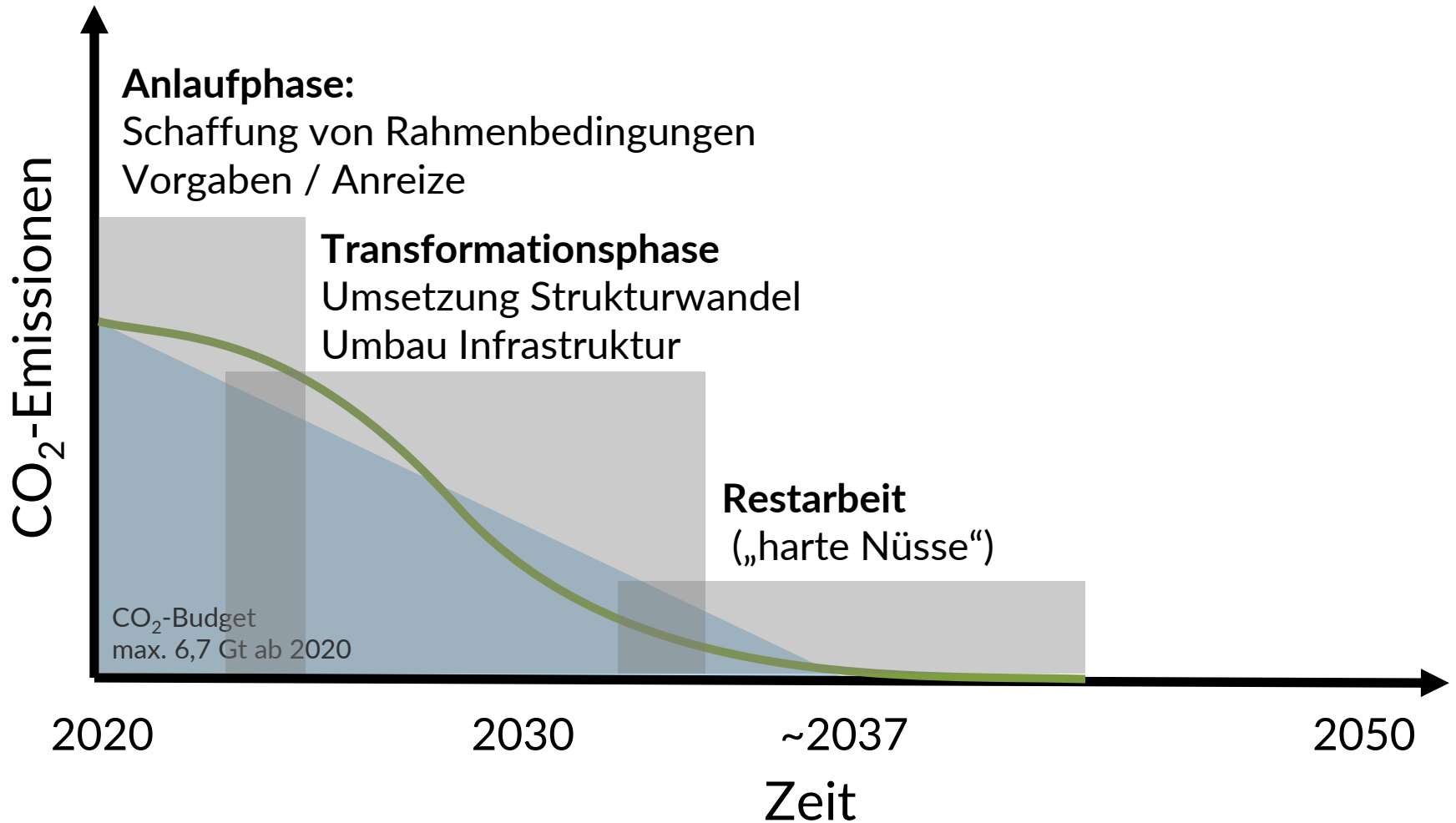
# Phasen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion



# Phasen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion

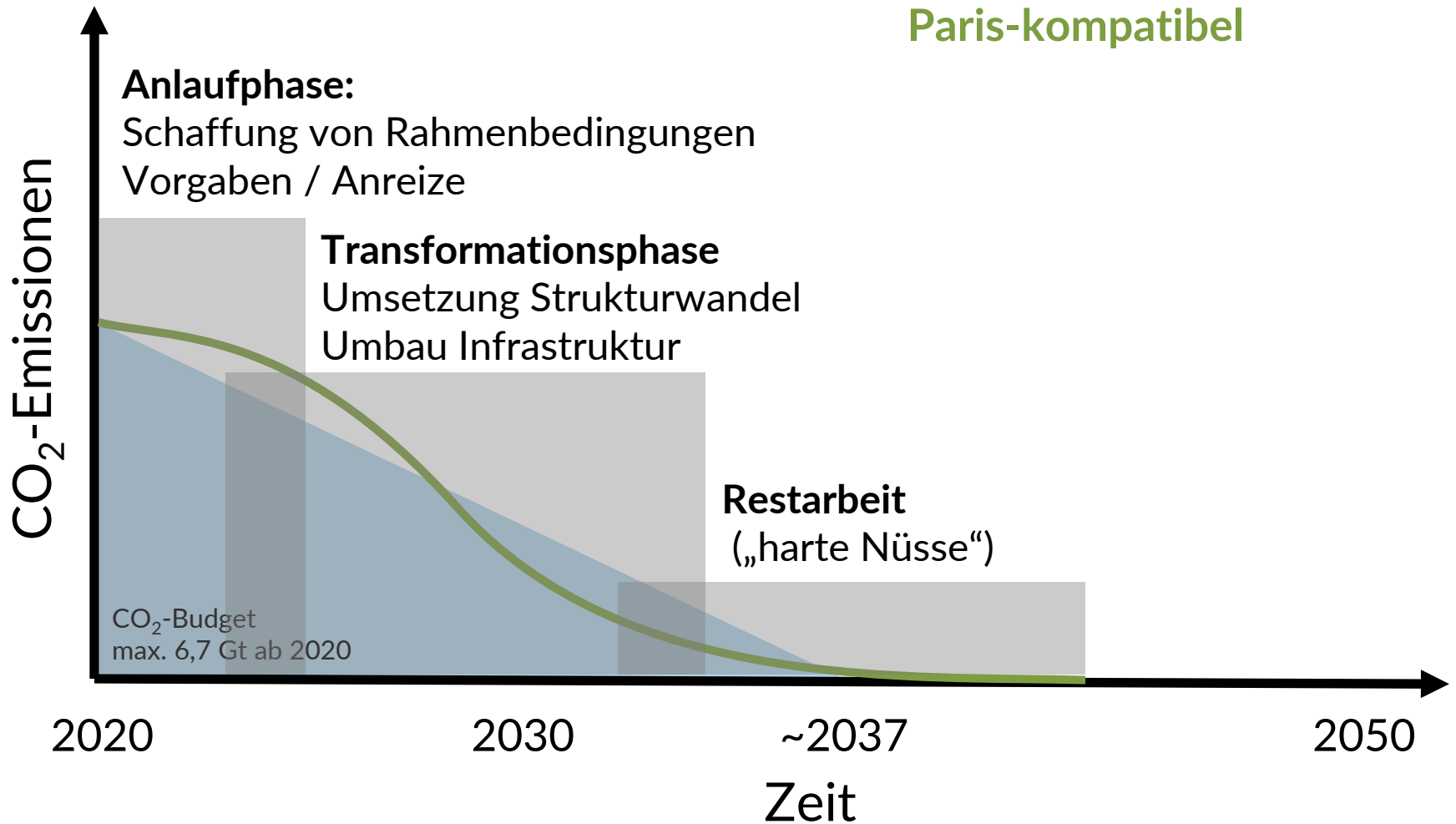


# Phasen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion

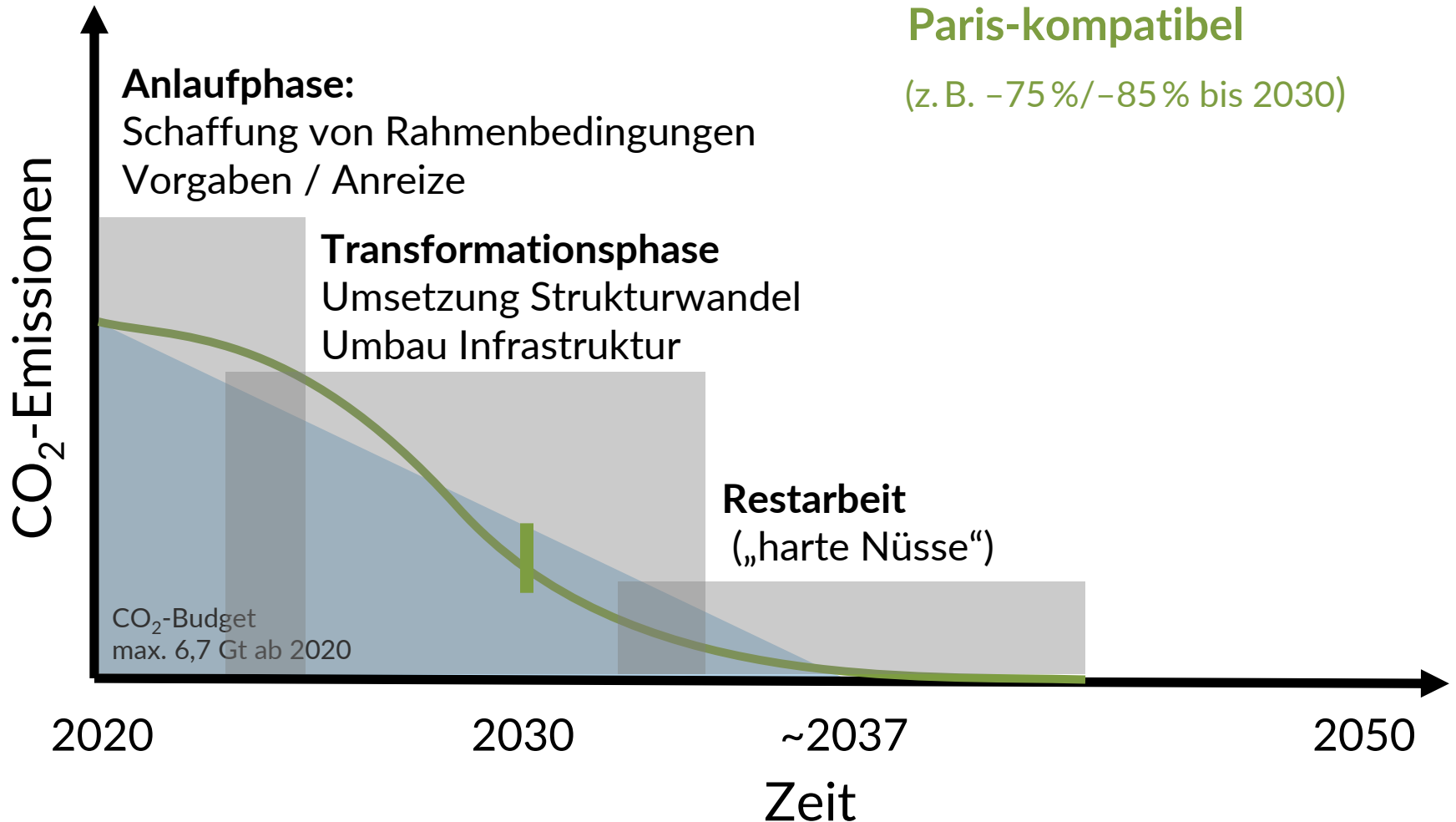




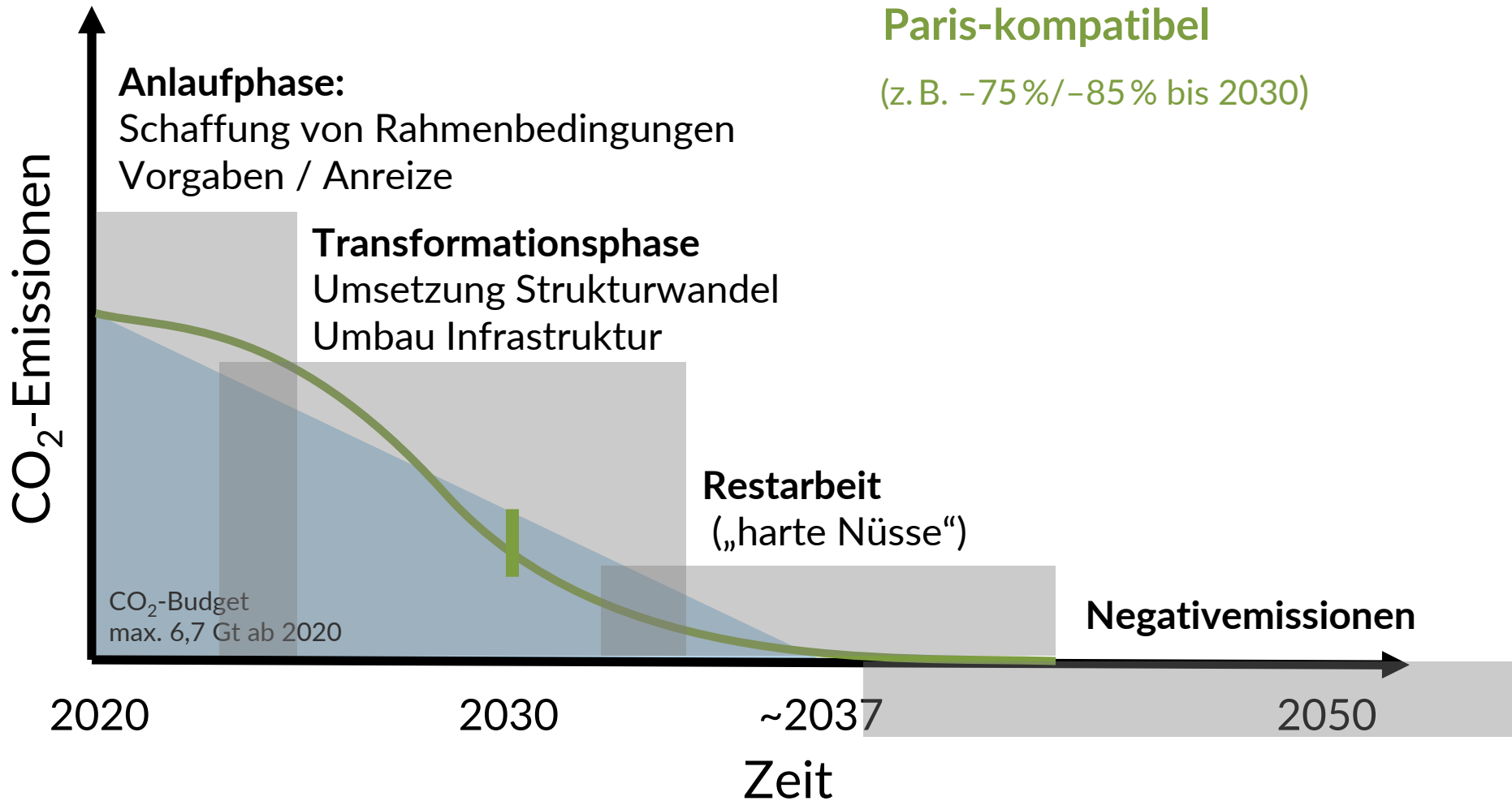
# Phasen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion



# Phasen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion

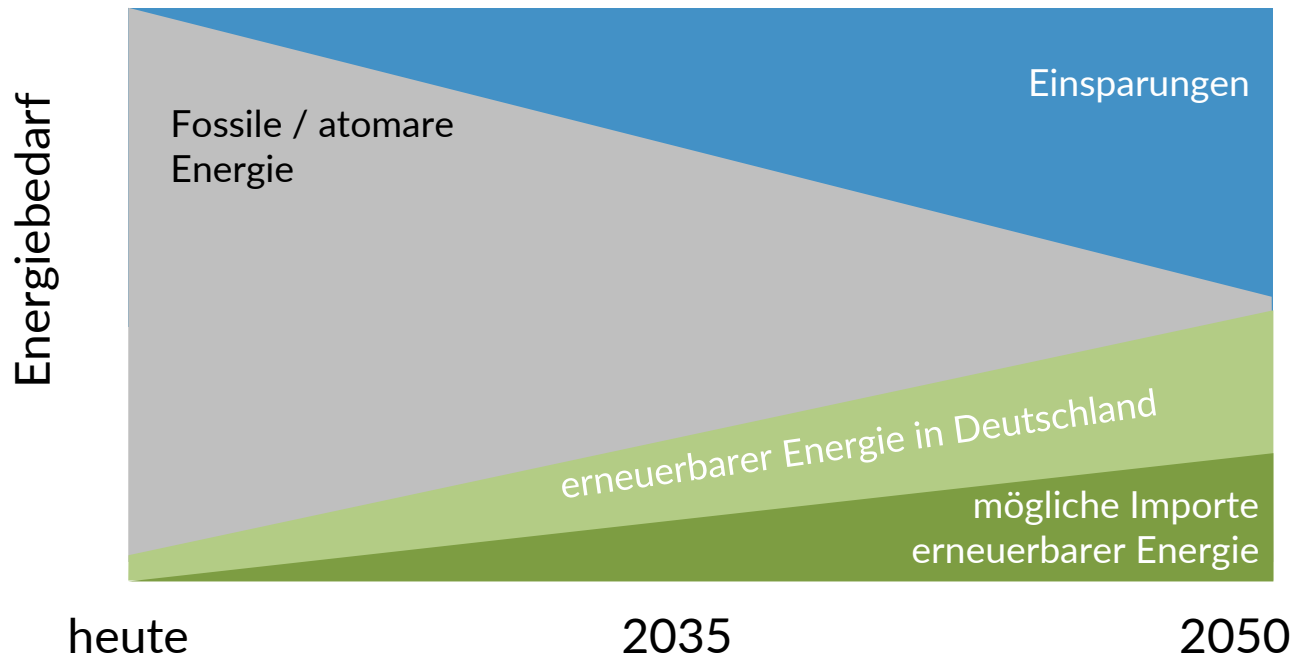


# Phasen zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion



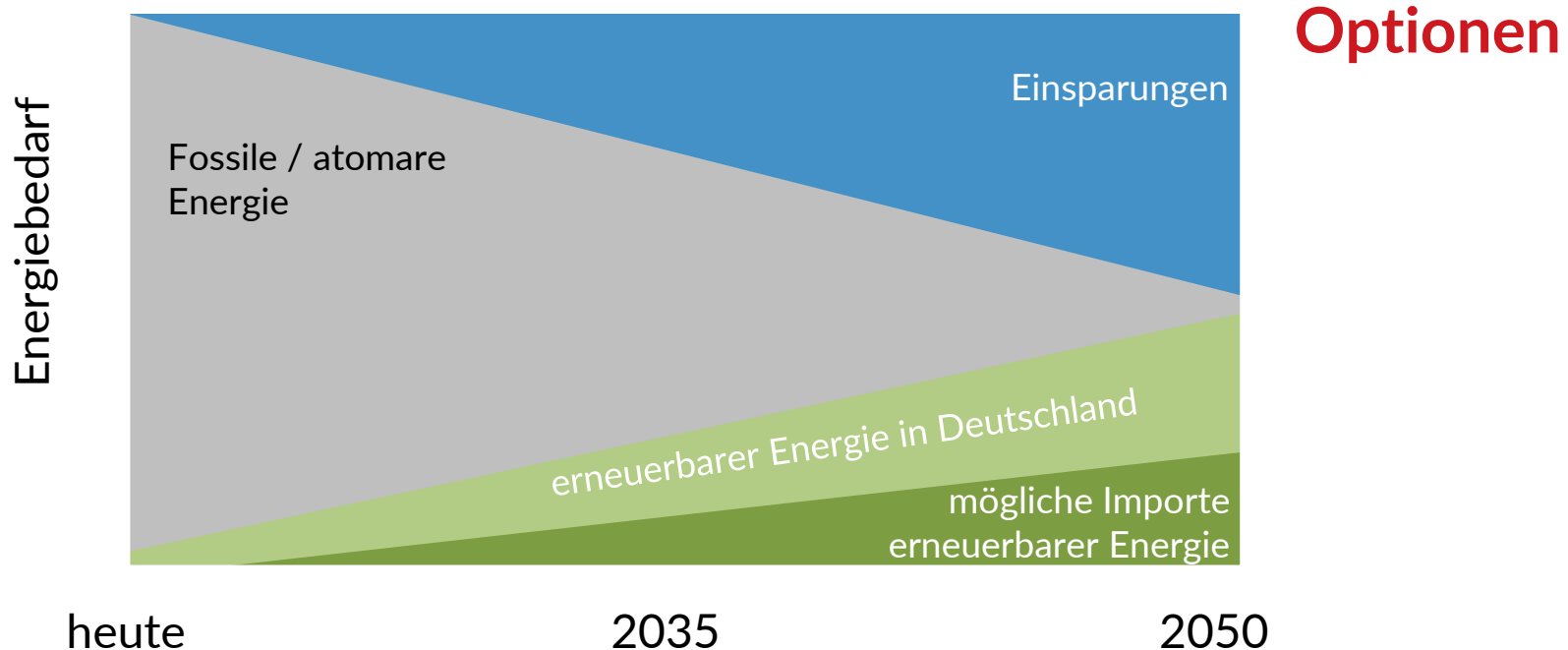
# Energieszenarien Deutschland

Die meisten beziehen sich auf das Jahr 2050,  
nötig ist aber, im Jahr 2035 nahezu emissionsfrei zu sein



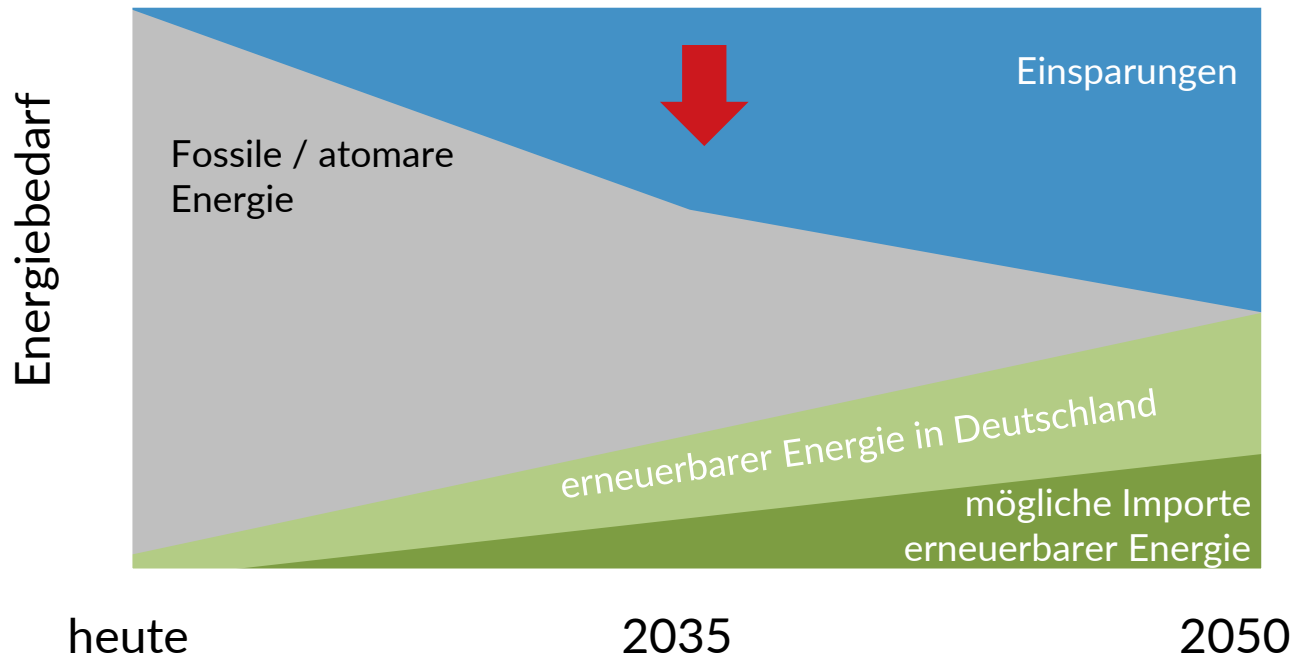
# Energieszenarien Deutschland

Die meisten beziehen sich auf das Jahr 2050,  
nötig ist aber, im Jahr 2035 nahezu emissionsfrei zu sein



# Energieszenarien Deutschland

Die meisten beziehen sich auf das Jahr 2050,  
nötig ist aber, im Jahr 2035 nahezu emissionsfrei zu sein

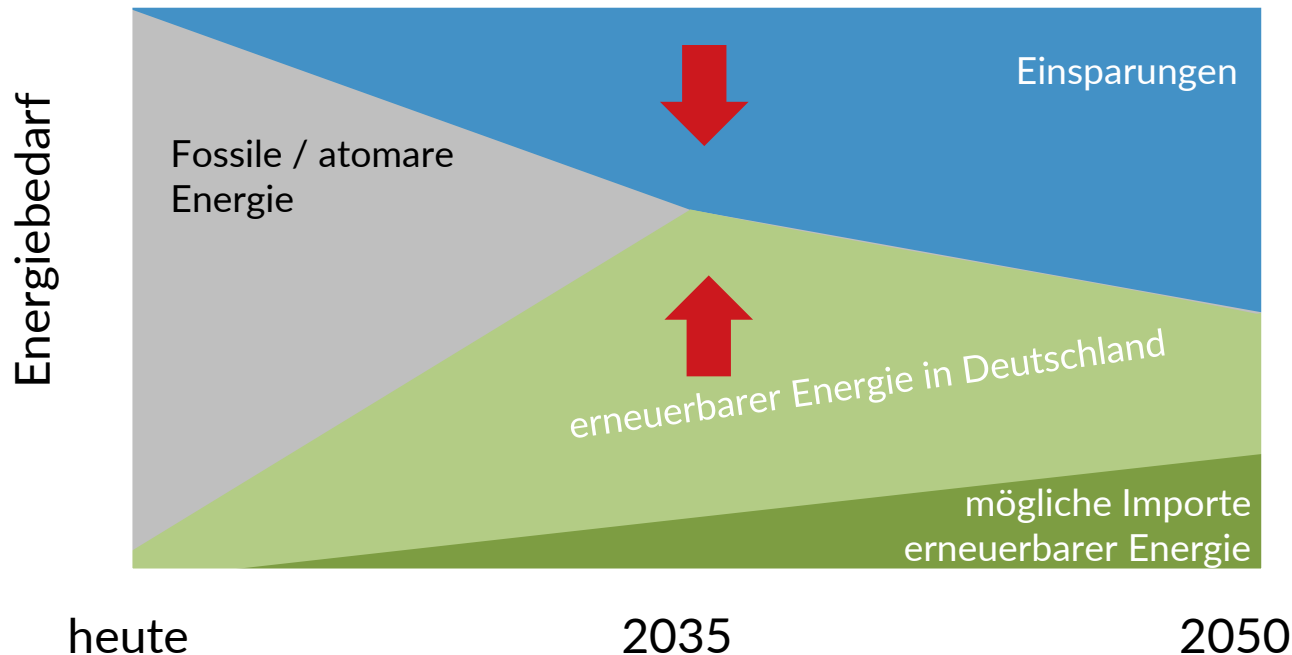


**Optionen**

schneller einsparen

# Energieszenarien Deutschland

Die meisten beziehen sich auf das Jahr 2050,  
nötig ist aber, im Jahr 2035 nahezu emissionsfrei zu sein



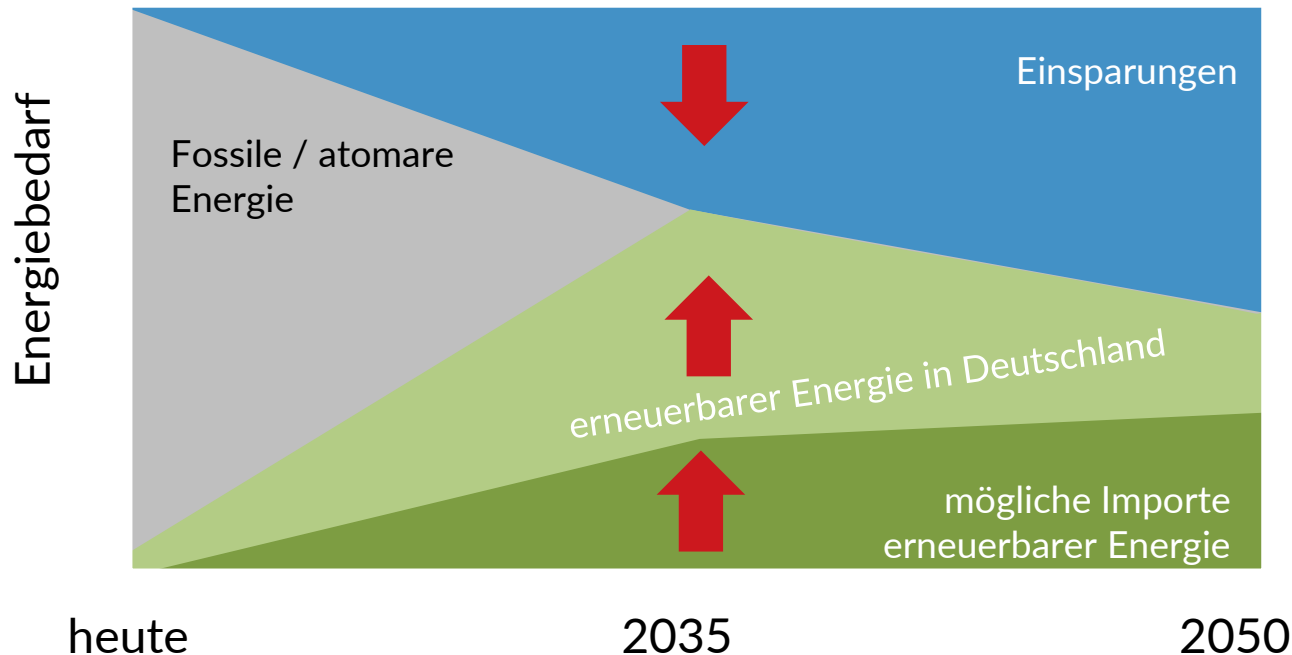
## Optionen

schneller einsparen

schneller ausbauen

# Energieszenarien Deutschland

Die meisten beziehen sich auf das Jahr 2050,  
nötig ist aber, im Jahr 2035 nahezu emissionsfrei zu sein



## Optionen

schneller einsparen

schneller ausbauen

schneller importieren



# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Klimaschutzziele:

-41%

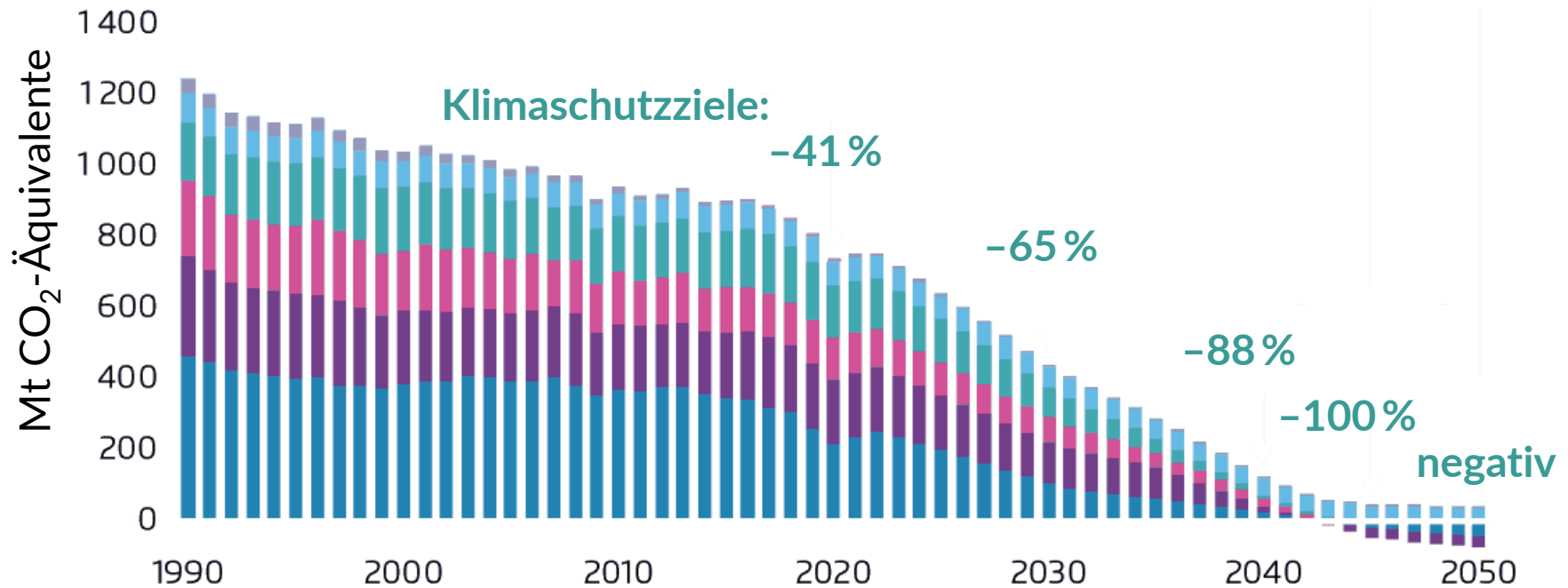
-65%

-88%

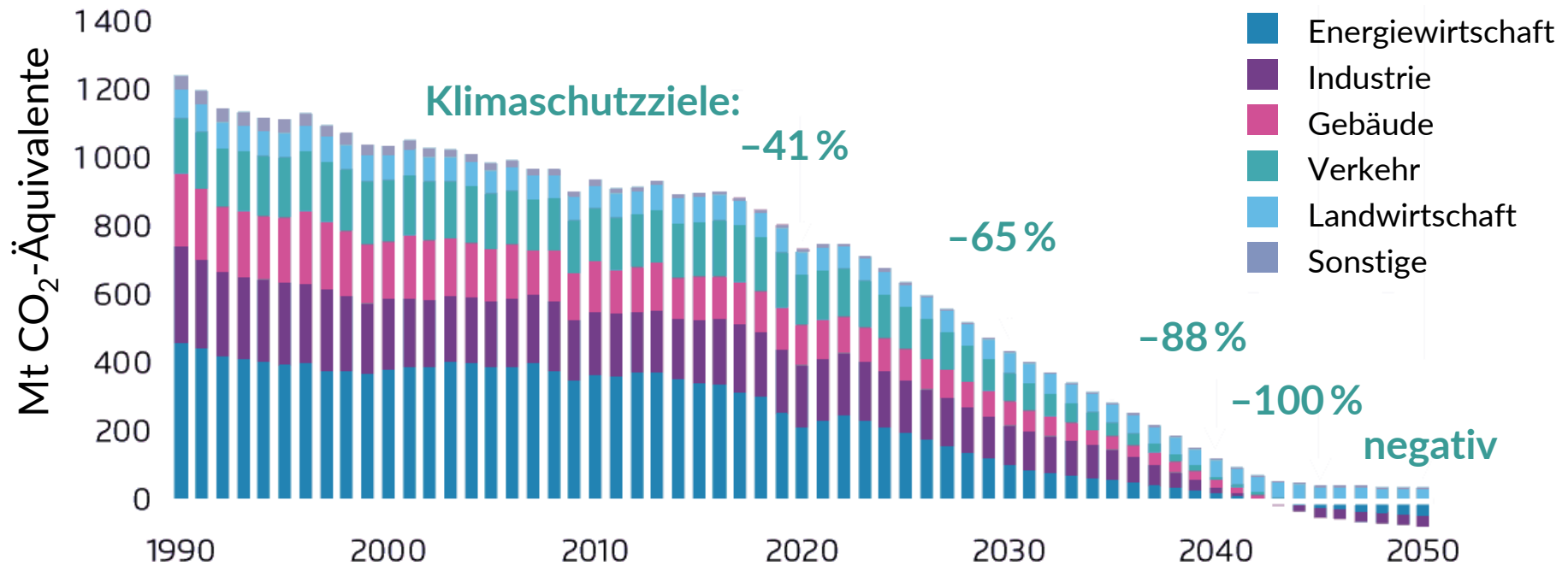
-100%

negativ

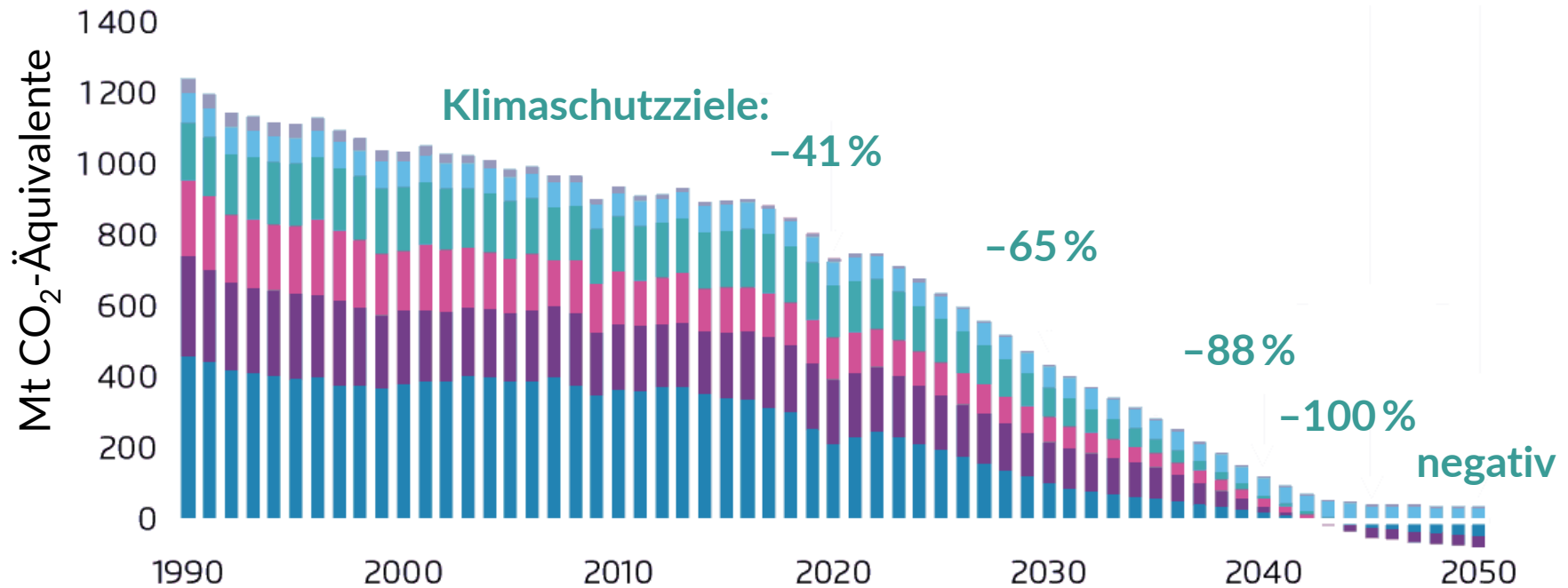
# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)



# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)



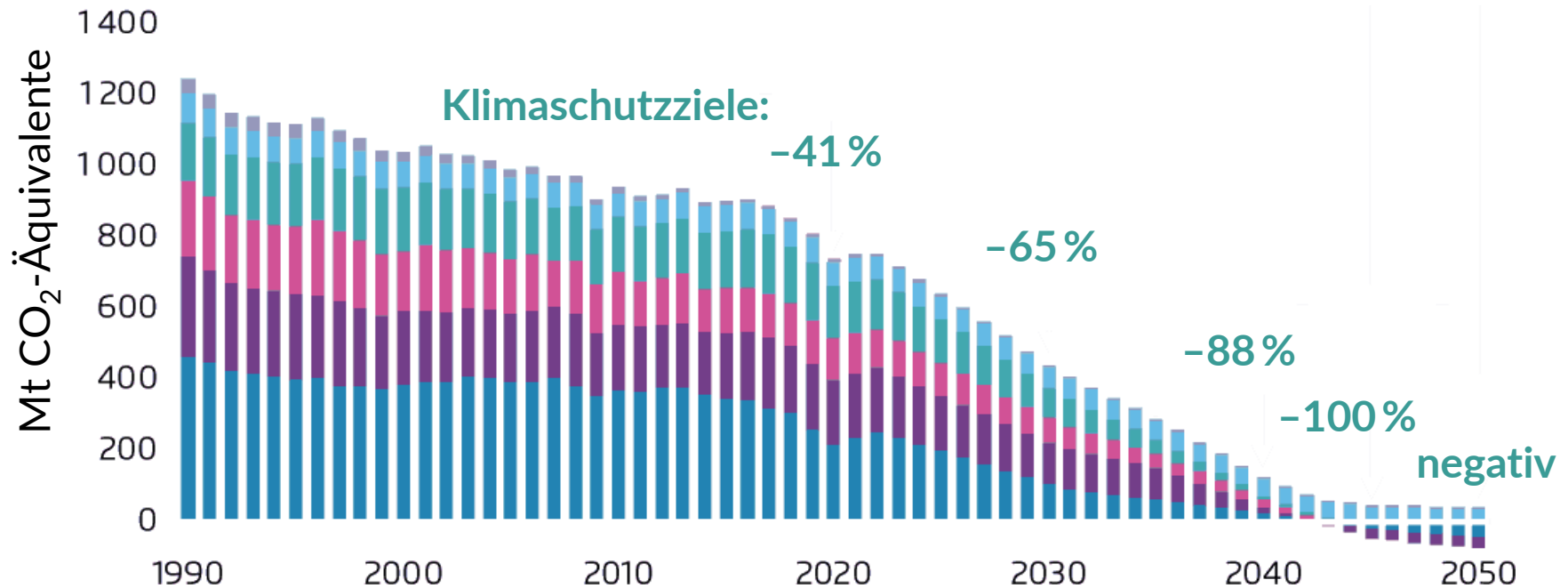
# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)



# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

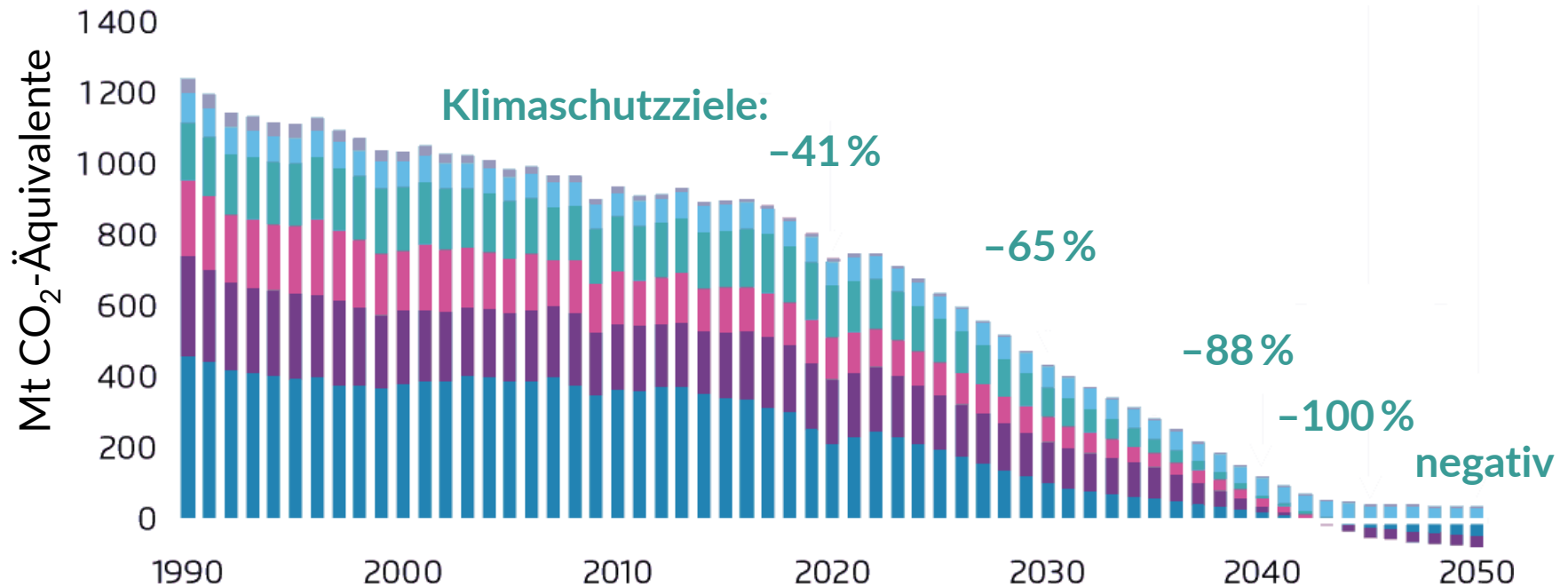
2010-2019  
-14



# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

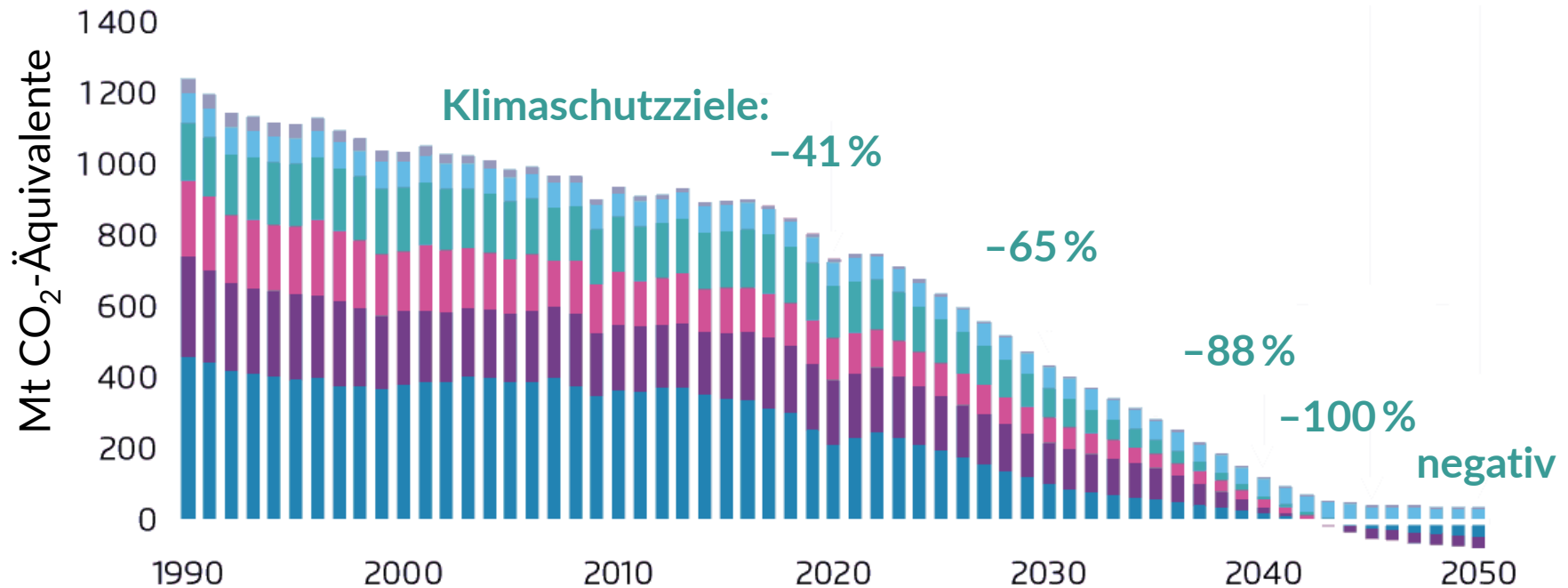
2010-2019	→ 2025
-14	-28



# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

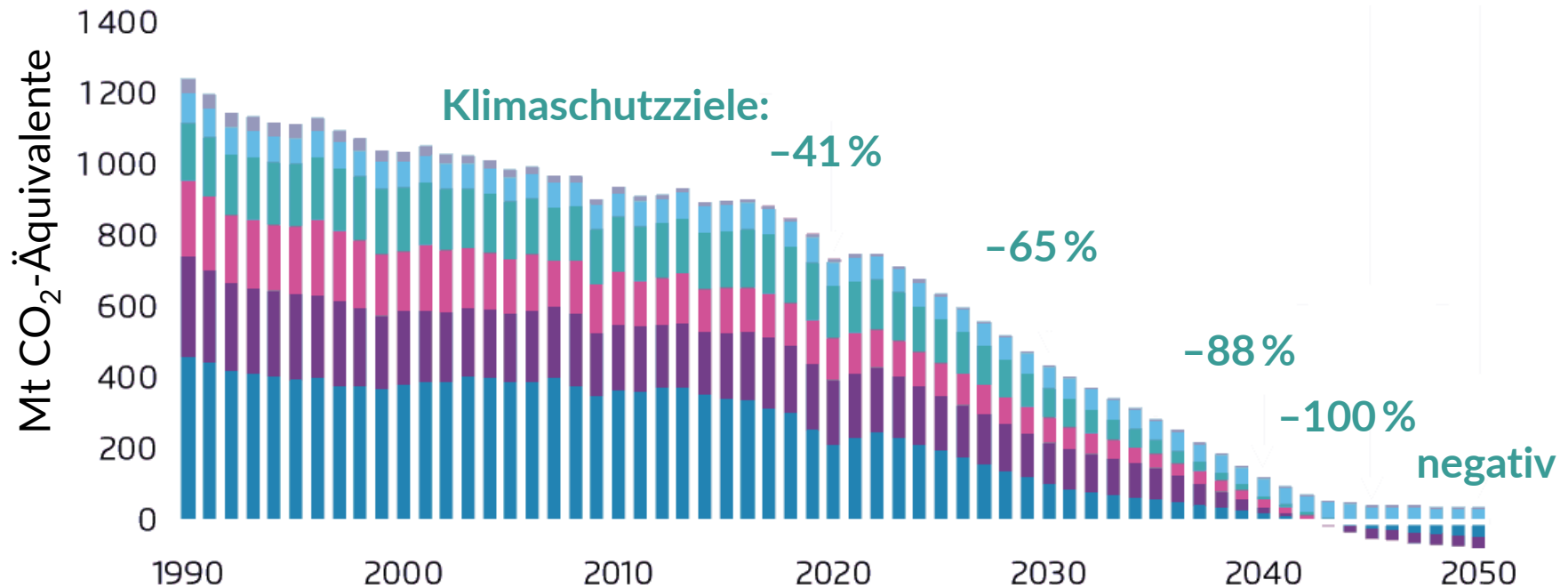
2010-2019	→ 2025	→ 2030
-14	-28	-41



# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

2010-2019	→ 2025	→ 2030	→ 2035
-14	-28	-41	-30

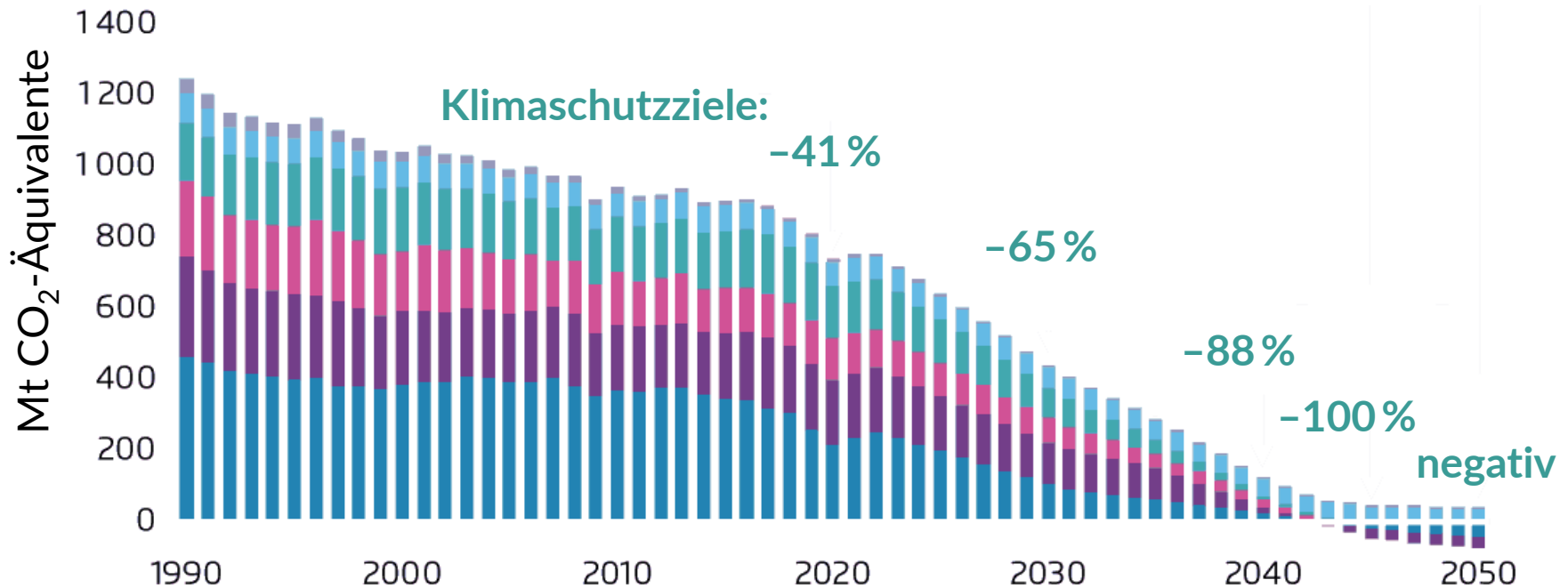




# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

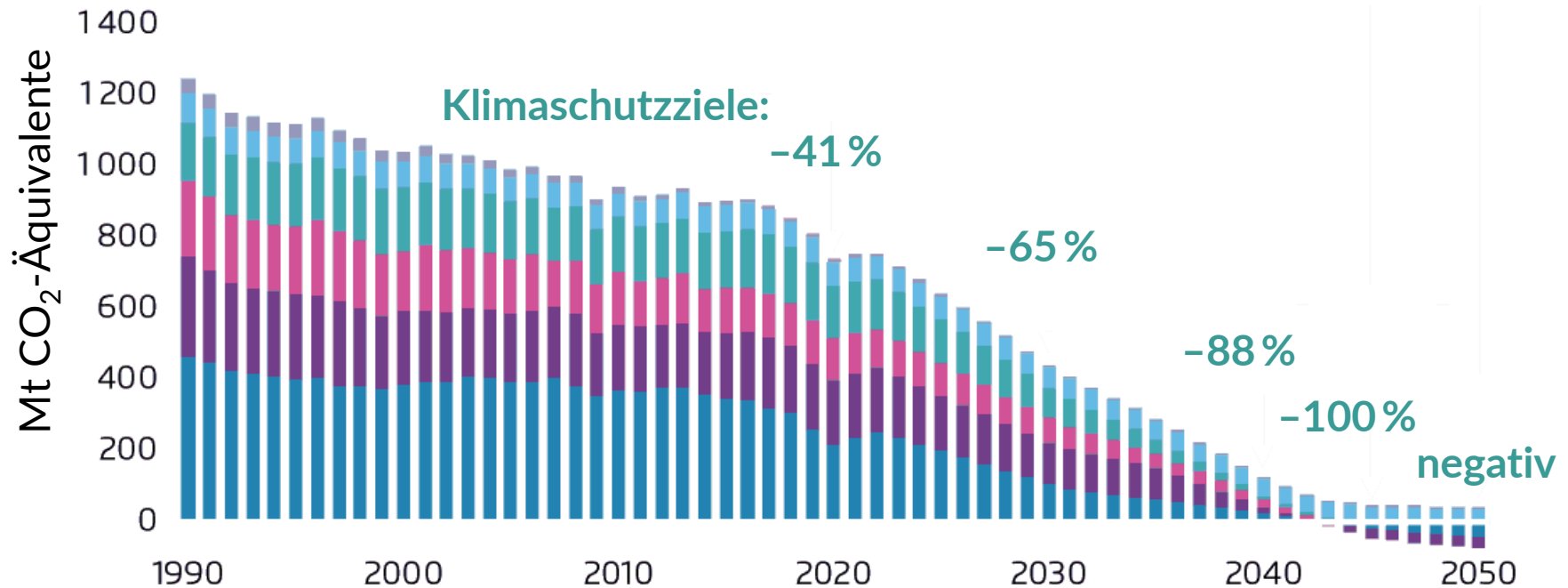
2010-2019	→ 2025	→ 2030	→ 2035	→ 2040
-14	-28	-41	-30	-27



# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

2010-2019	→ 2025	→ 2030	→ 2035	→ 2040	→ 2045
-14	-28	-41	-30	-27	-30

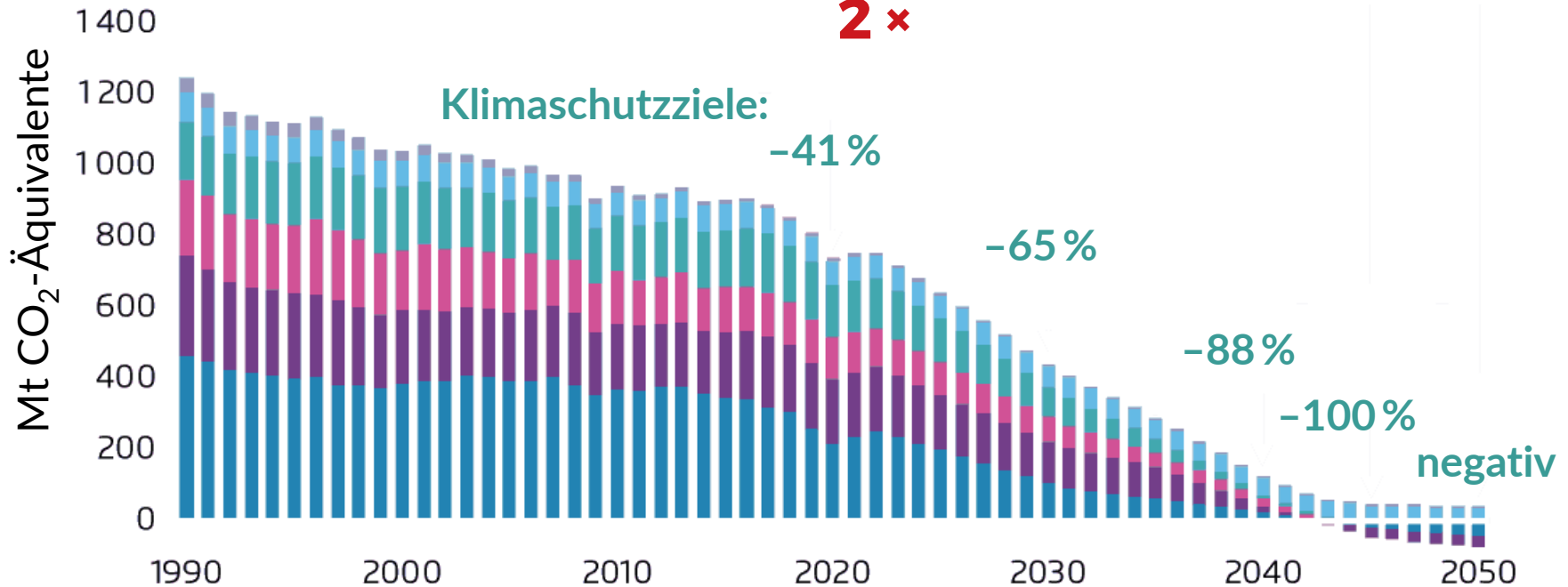


# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

2010-2019	→ 2025	→ 2030	→ 2035	→ 2040	→ 2045
-14	-28	-41	-30	-27	-30

ca.  
**2 x**

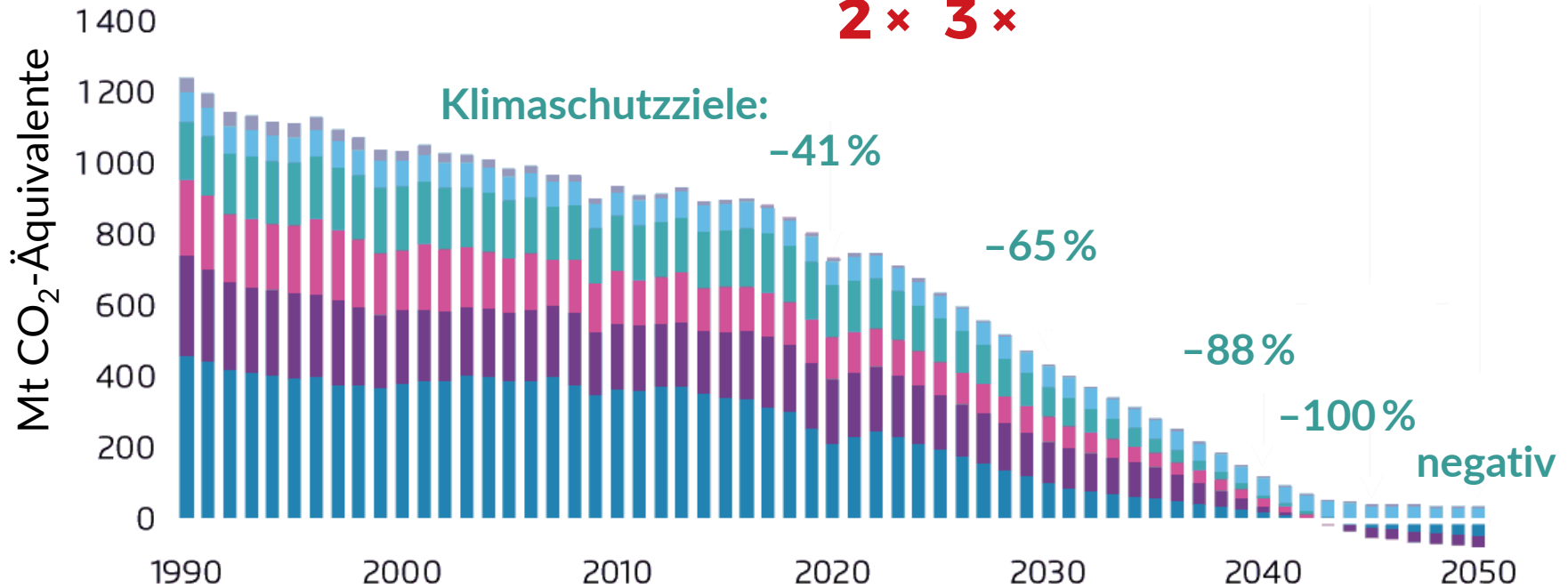


# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

2010-2019	→ 2025	→ 2030	→ 2035	→ 2040	→ 2045
-14	-28	-41	-30	-27	-30

ca. **2x** ca. **3x**



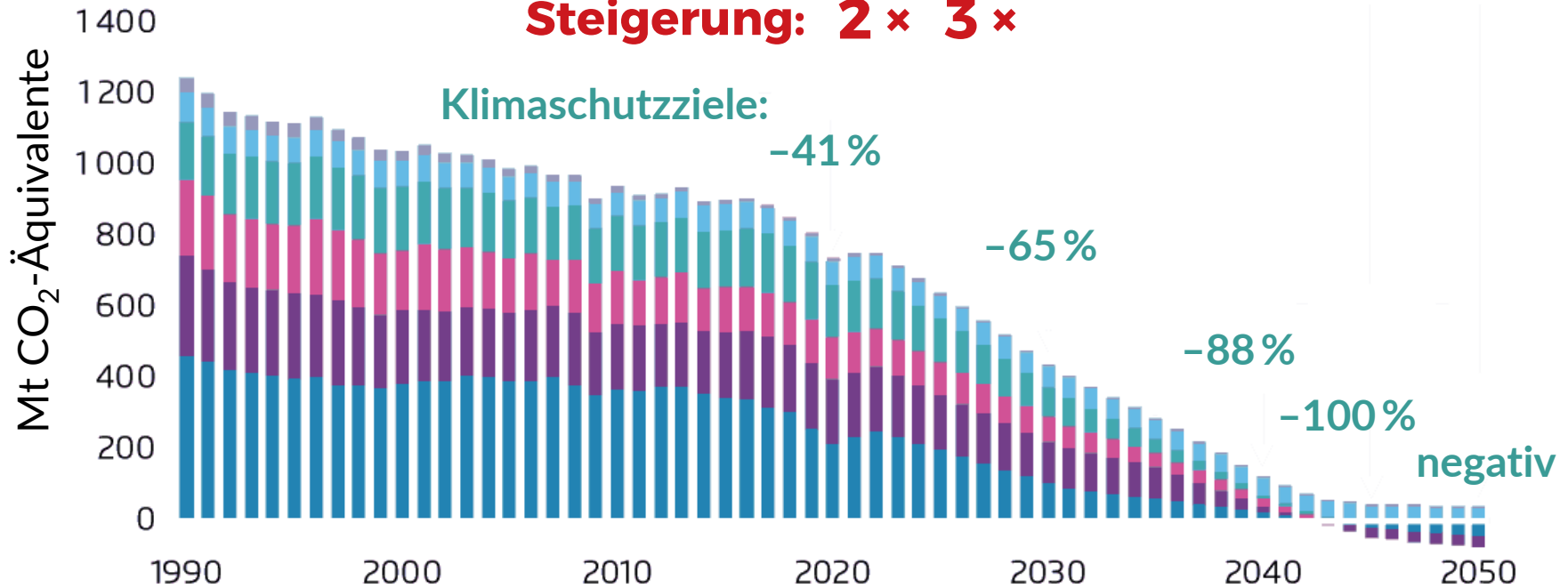
# Mögliche Entwicklung THG-Emissionen passend zum Klimaschutzgesetz 2021 (Agora Energiewende et al. 2021)

Durchschnittliche Minderung pro Jahr in Mt CO<sub>2</sub>-Äquiv.

2010-2019	→ 2025	→ 2030	→ 2035	→ 2040	→ 2045
-14	-28	-41	-30	-27	-30

Steigerung: <sup>ca.</sup> 2 × <sup>ca.</sup> 3 ×

Klimaschutzziele:



# Mögliche Ergänzungen

---

Weitere Folien finden sich unter [files.scientists4future.org](https://files.scientists4future.org):

- Im Ordner „Klima“:
  - Klima\_Budgetrechnungen\_(S4F-Sammlung) ...

# **Ausbau erneuerbarer Energien**

# **Anteil von Wind, Solar und Geothermie/Umweltwärme in 2018 am Energieverbrauch in Deutschland?**



# **Anteil von Wind, Solar und Geothermie/Umweltwärme in 2018 am Energieverbrauch in Deutschland?**

1. ca. 5%

# **Anteil von Wind, Solar und Geothermie/Umweltwärme in 2018 am Energieverbrauch in Deutschland?**

1. ca. 5%
2. ca. 15%

# **Anteil von Wind, Solar und Geothermie/Umweltwärme in 2018 am Energieverbrauch in Deutschland?**

1. ca. 5%
2. ca. 15%
3. ca. 25%

# **Anteil von Wind, Solar und Geothermie/Umweltwärme in 2018 am Energieverbrauch in Deutschland?**

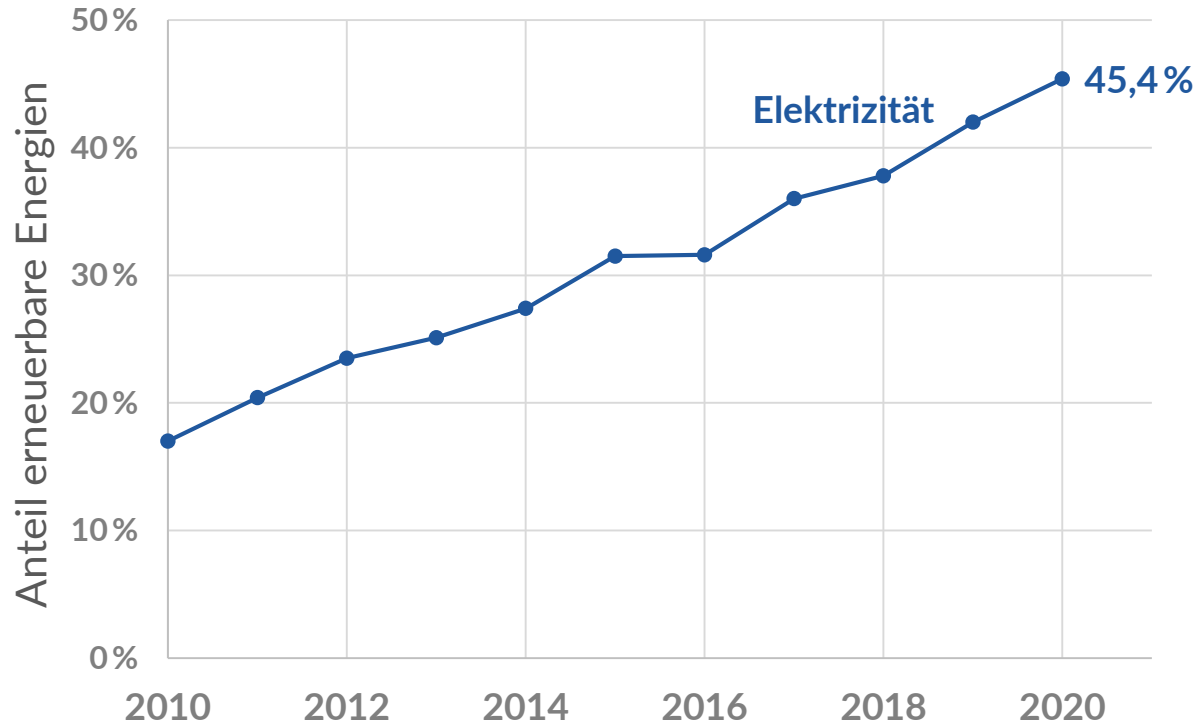
1. ca. 5 %
2. ca. 15 %
3. ca. 25 %
4. ca. 35 %

# **Anteil von Wind, Solar und Geothermie/Umweltwärme in 2018 am Energieverbrauch in Deutschland?**

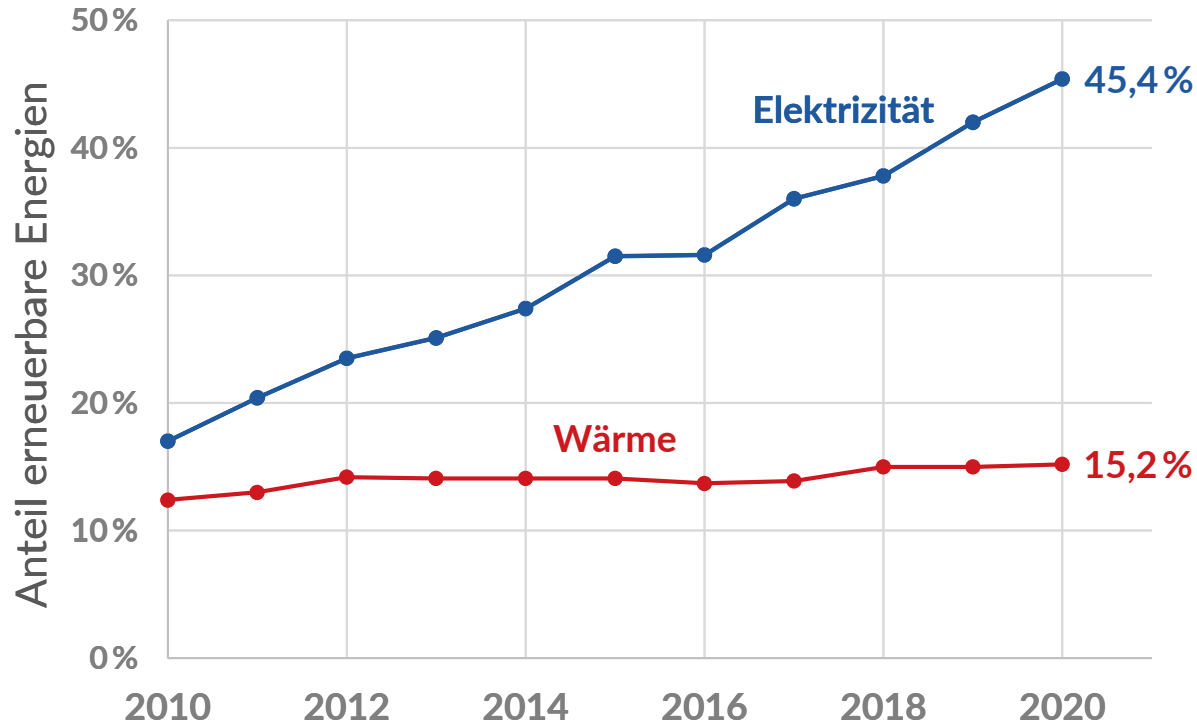
- 1. ca. 5%**
2. ca. 15%
3. ca. 25%
4. ca. 35%

# **Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich**

# Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich

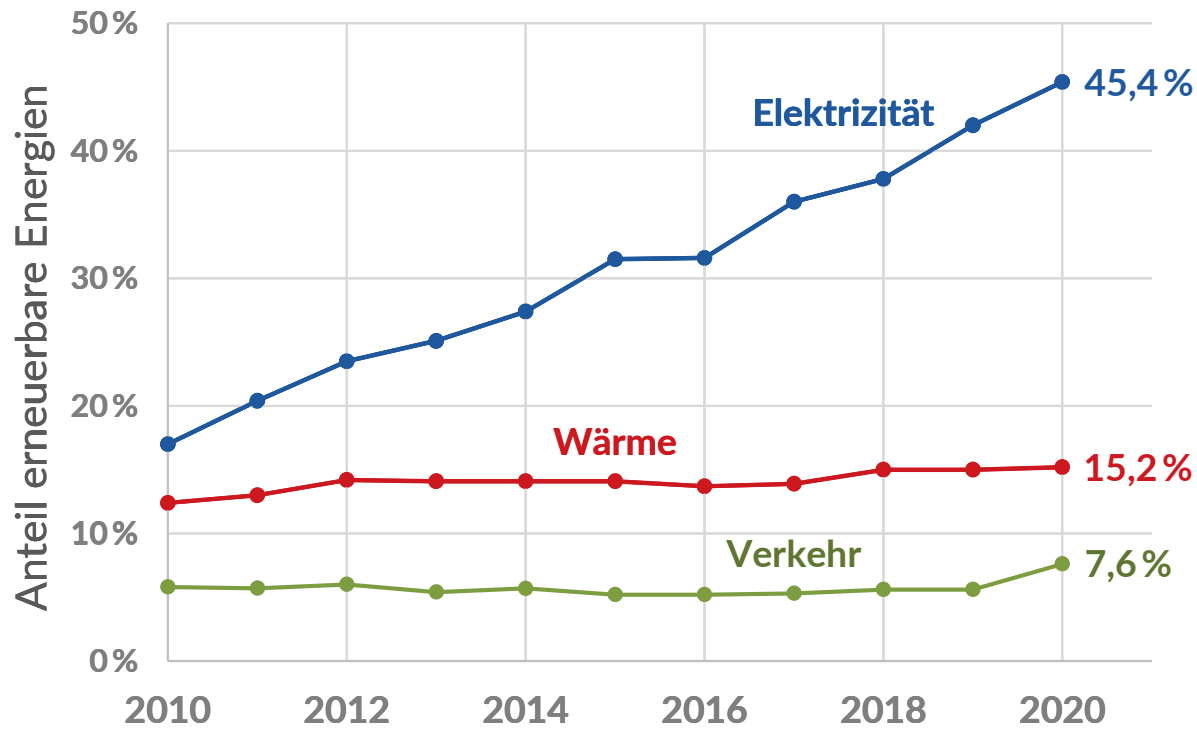


# Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich



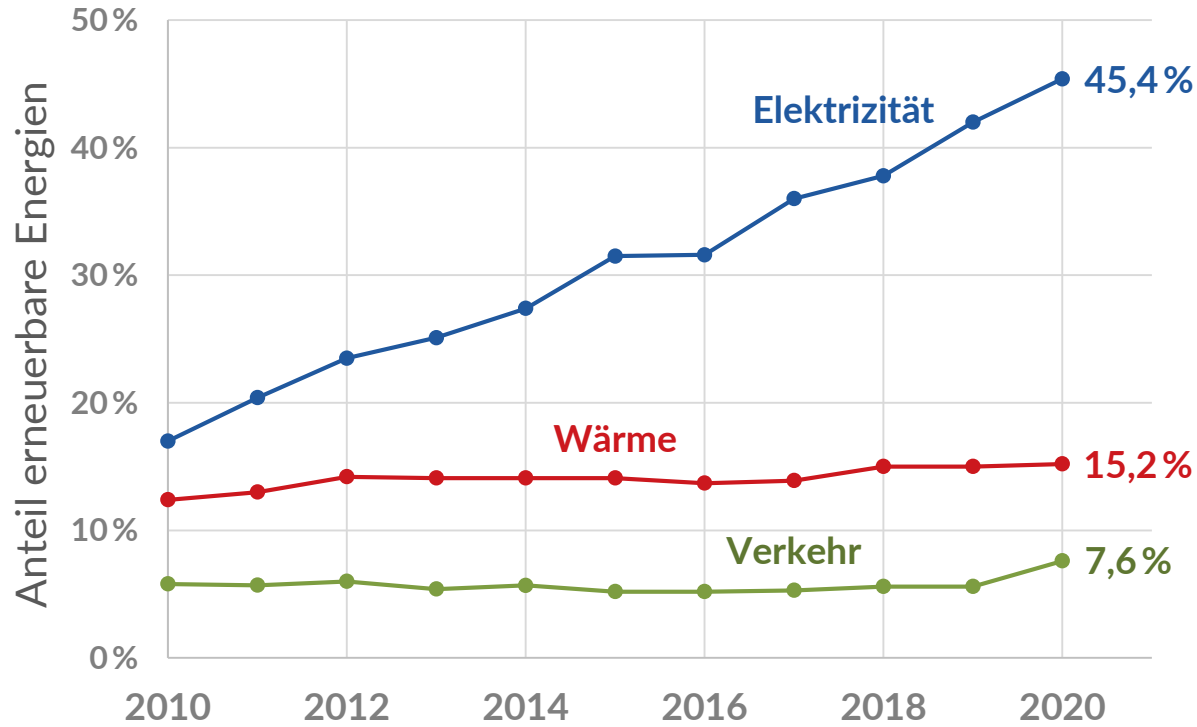


# Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich

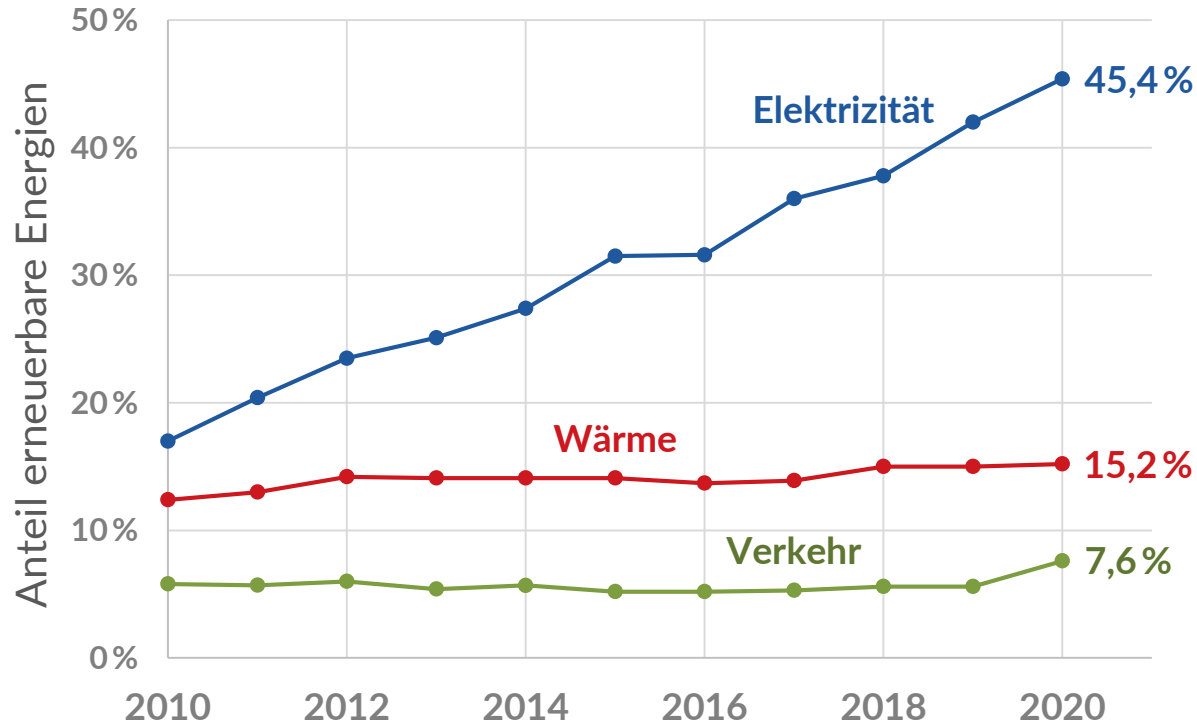


# Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich

Maßnahmen



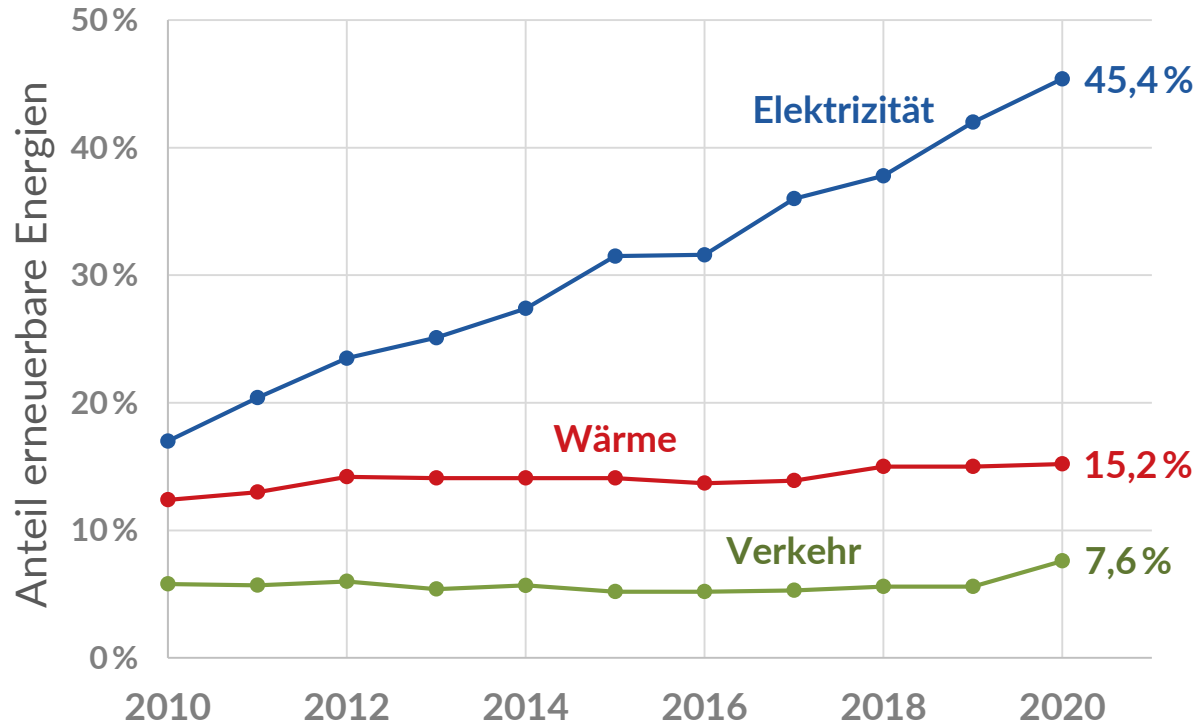
# Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich



## Maßnahmen

→ Wind + PV Ausbauen

# Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich

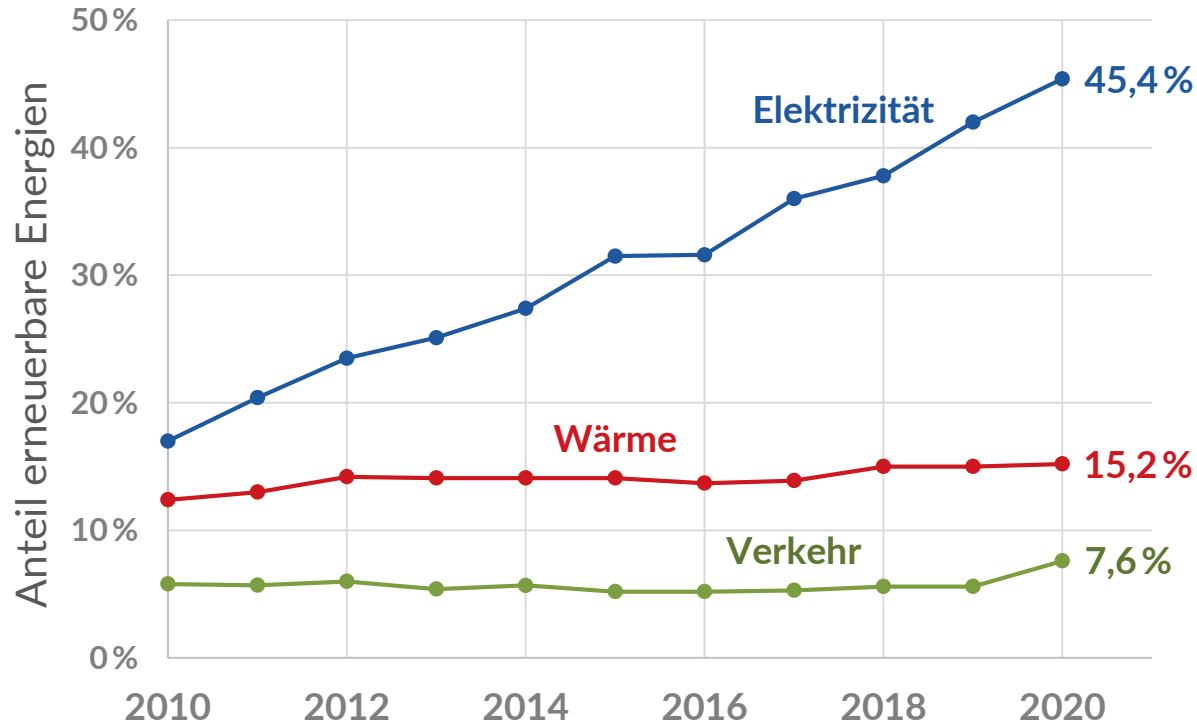


## Maßnahmen

→ Wind + PV Ausbauen

→ Einsparen (Dämmen)  
→ Abwärme + EE nutzen  
Geothermie + Solarthermie direkt  
Wärmepumpe mit erneuerbarem  
Strom (Wind im Winter)

# Der Anteil erneuerbarer Energien ist unterschiedlich



## Maßnahmen

- Wind + PV Ausbauen
- Einsparen (Dämmen)
- Abwärme + EE nutzen  
Geothermie + Solarthermie direkt  
Wärmepumpe mit erneuerbarem Strom (Wind im Winter)
- Einsparen
- Verkehrsmittel ändern  
(z. B. Rad statt Auto)
- Elektrifizieren
- E-Fuels (insbesondere Flugzeuge / Schiffe)

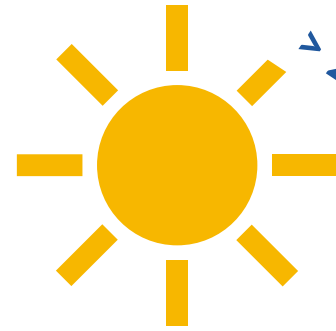
# Potentiale erneuerbare Energien

Aktuell ca. 130 TWh/Jahr  
Techn. Potential:  
ca. 2400 TWh/Jahr



Wind onshore/  
Wind offshore

Aktuell: ca. 50 TWh/ Jahr  
Techn. Potential:  
> 2500 TWh/Jahr



Photovoltaik/  
Solarthermie

aktuell  
ca. 15 TWh/Jahr



Wasserkraft



Geothermie



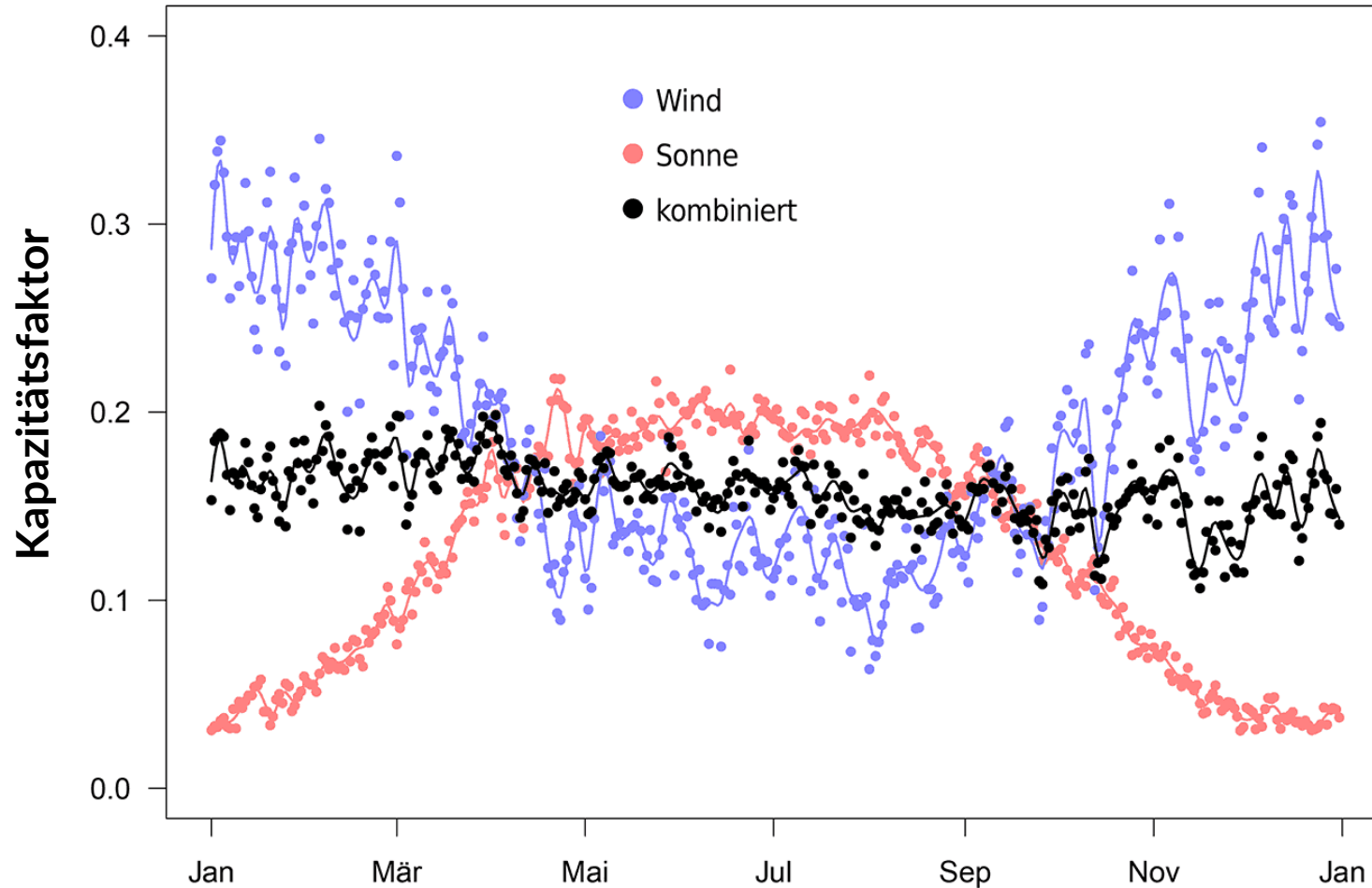
Biomasse  
(Reststoffe)

aktuell  
ca. 50 TWh/Jahr Strom,  
150 TWh Wärme,  
40 TWh/ Jahr Verkehr

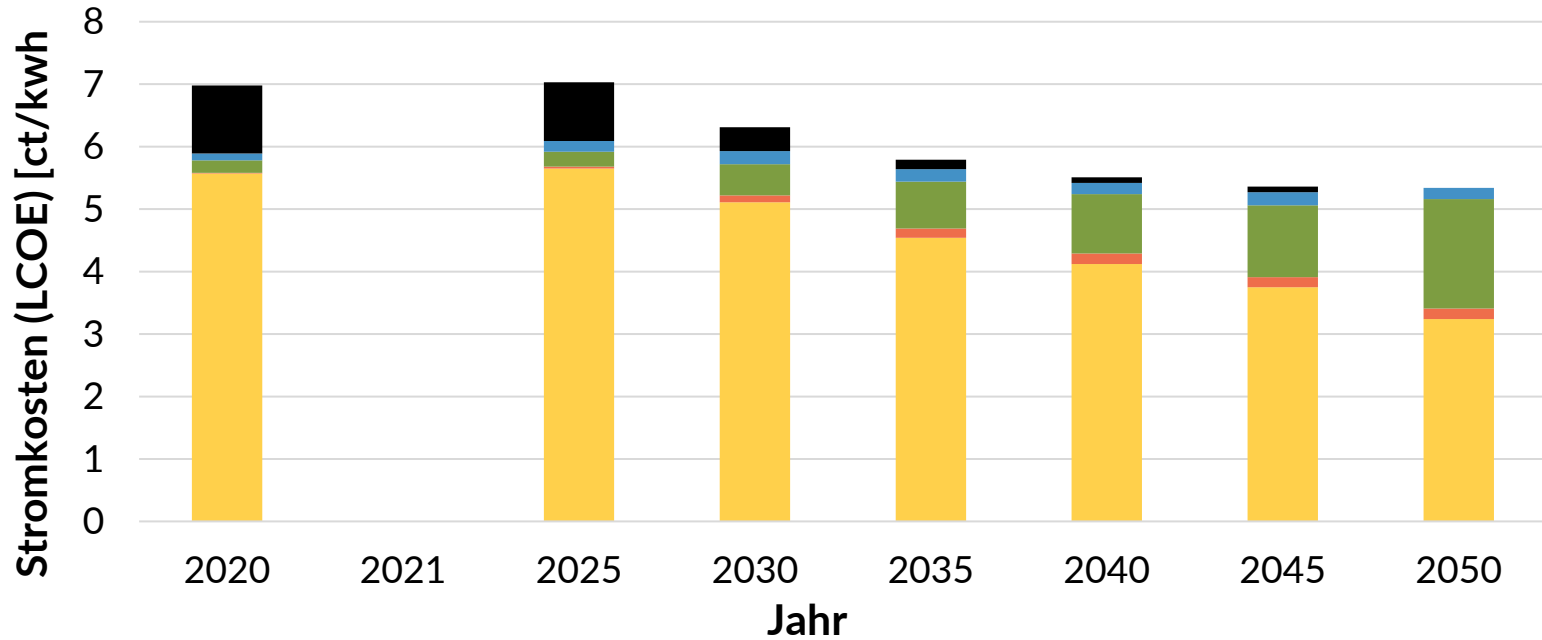
Potential ca. 50 TWh/ Jahr

# Wind und Sonne ergänzen sich im Jahresgang

(Jahresgang Kapazitätsfaktor über Deutschland, Mittelwert 1995–2015)



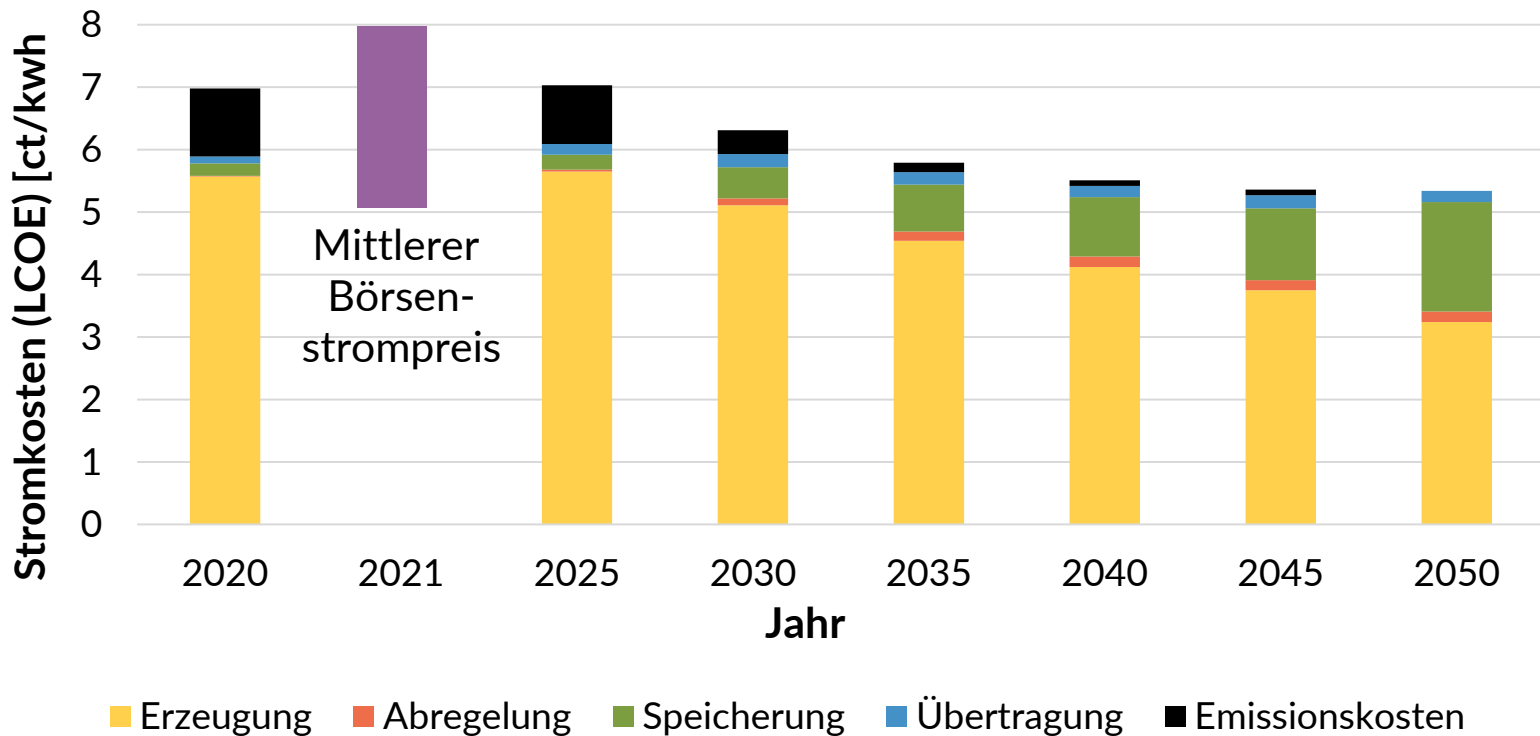
# Entwicklung Stromkosten



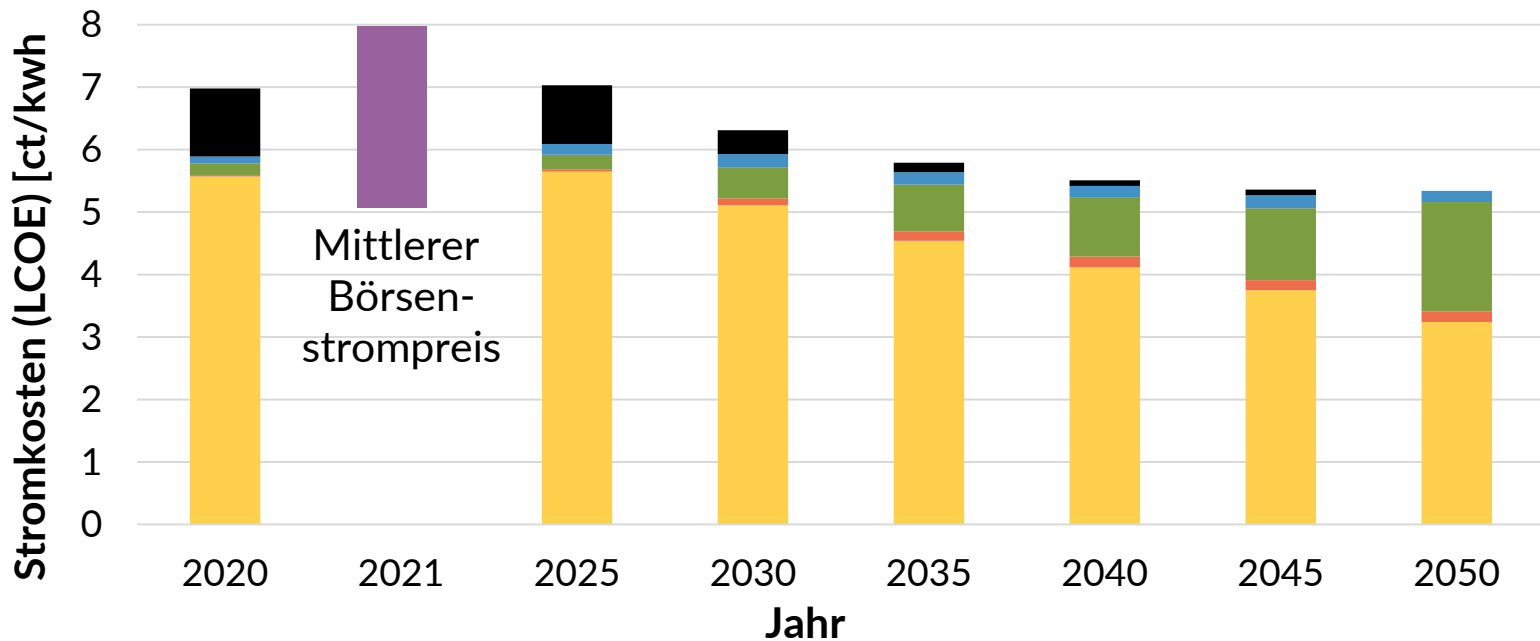
■ Erzeugung ■ Abregelung ■ Speicherung ■ Übertragung ■ Emissionskosten



# Entwicklung Stromkosten



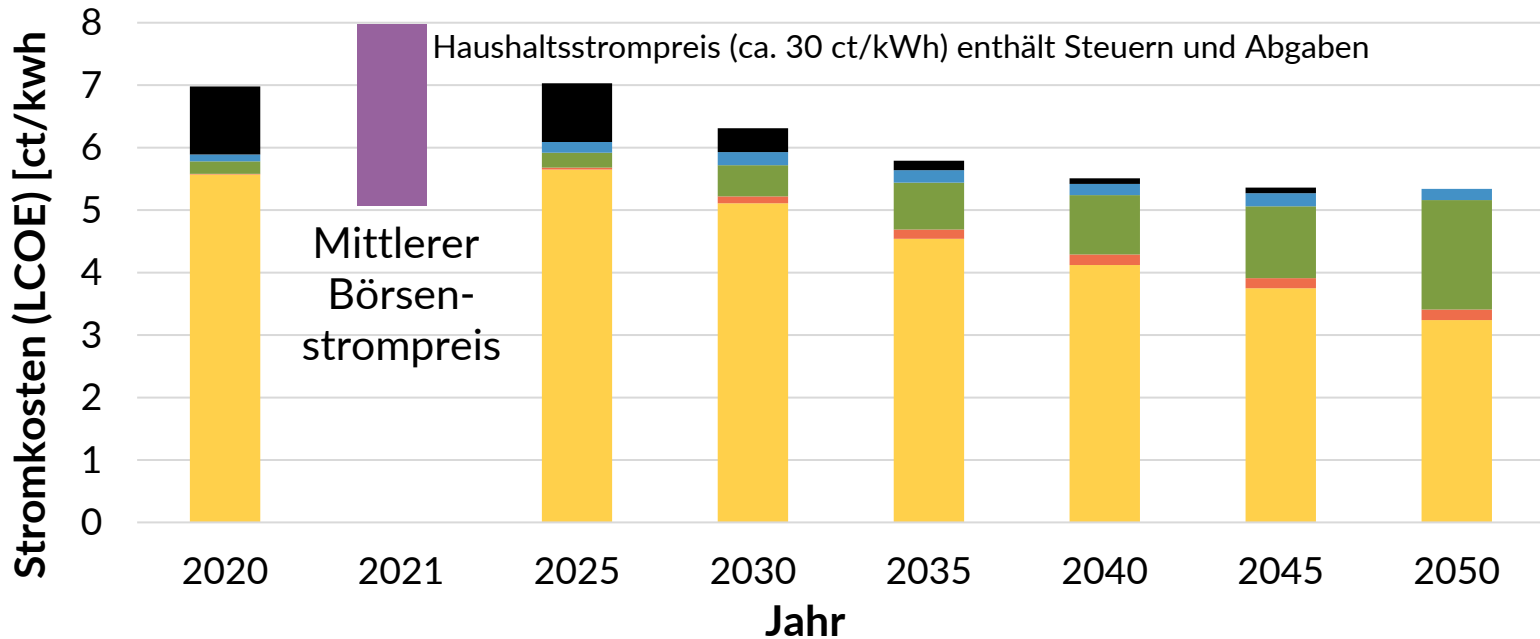
# Entwicklung Stromkosten



■ Erzeugung ■ Abregelung ■ Speicherung ■ Übertragung ■ Emissionskosten

**Kosten eines klimaverträglichen Energiesystems auf längere Sicht nicht unbedingt höher als heute**

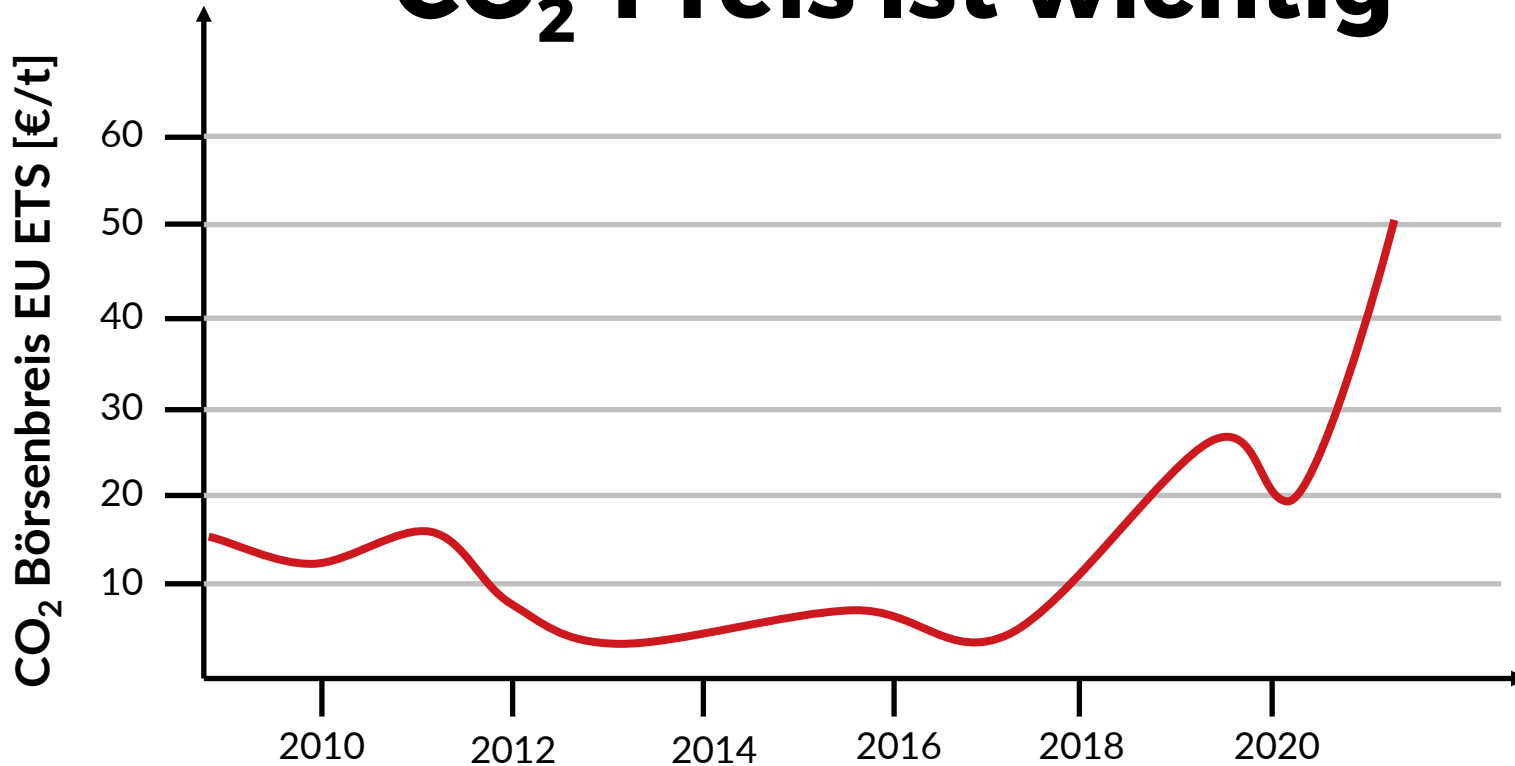
# Entwicklung Stromkosten



■ Erzeugung ■ Abregelung ■ Speicherung ■ Übertragung ■ Emissionskosten

**Kosten eines klimaverträglichen Energiesystems auf längere Sicht nicht unbedingt höher als heute**

# CO<sub>2</sub>-Preis ist wichtig



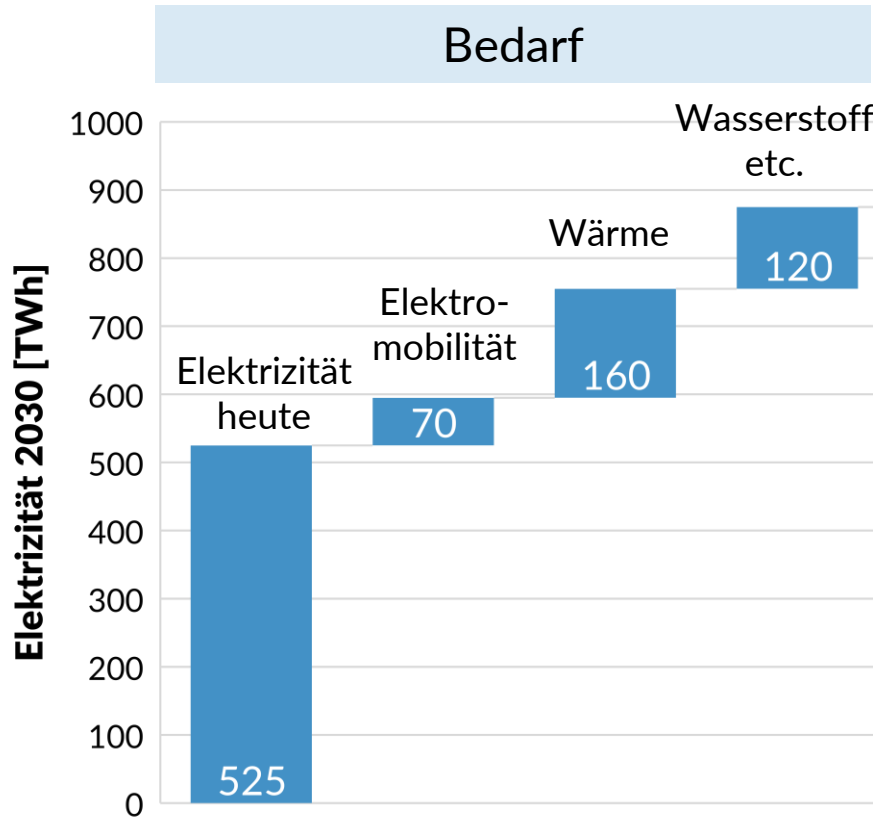
Ab ca. 25 €/t ist Strom aus Freiflächen-PV billiger als Strom aus Braunkohle

# Elektrizitätsbedarf 2030

# Elektrizitätsbedarf 2030

Schätzung zur Einhaltung des CO<sub>2</sub>-Budgets 6,7 Gt ab 2020

# Elektrizitätsbedarf 2030



Schätzung zur Einhaltung des CO<sub>2</sub>-Budgets 6,7 Gt ab 2020

# Elektrizitätsbedarf 2030

Erzeugung

Wind Land

Wind See

PV

Sonstige



# Elektrizitätsbedarf 2030

Erzeugung

Wind Land

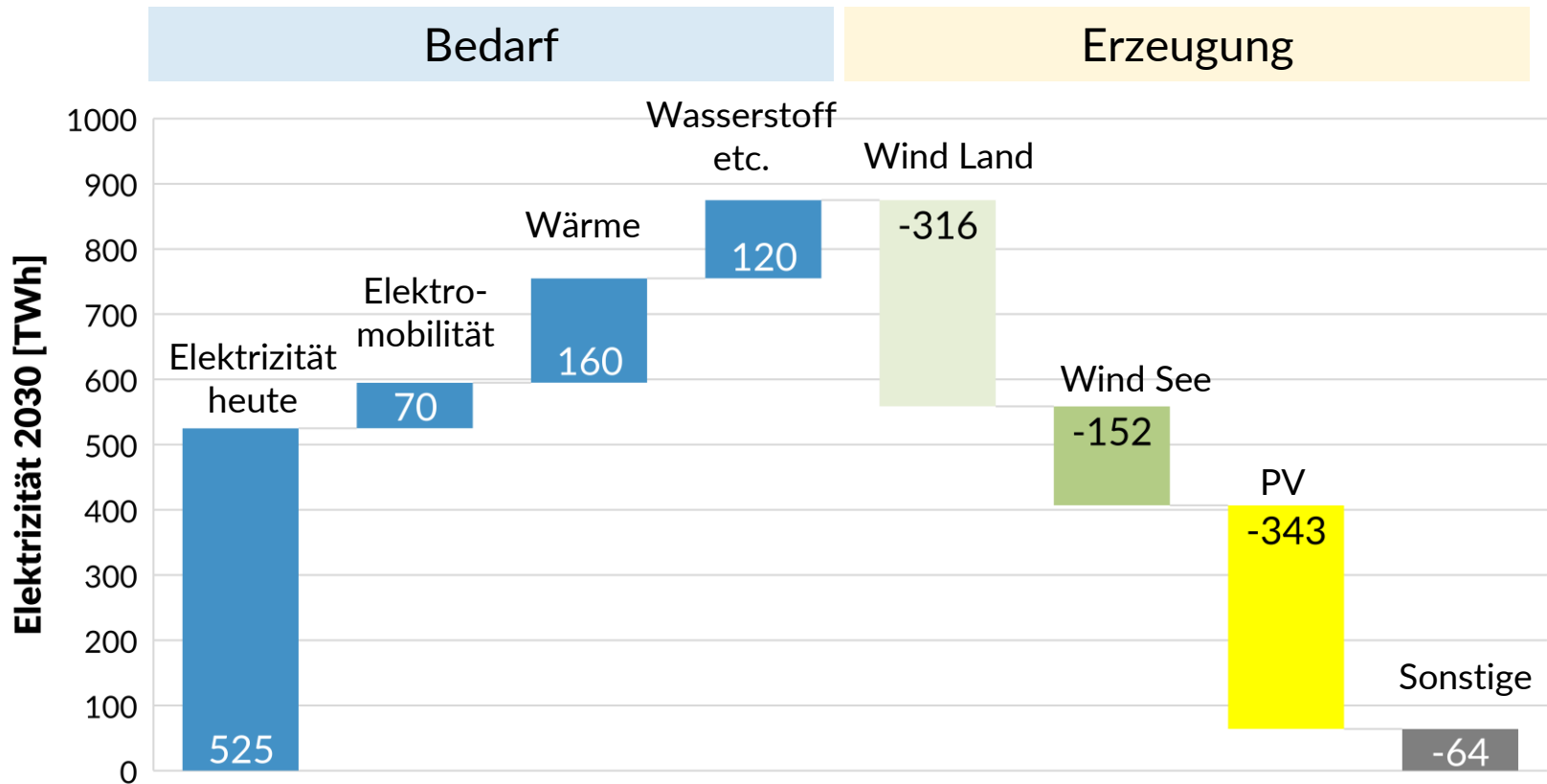
Wind See

PV

Sonstige

Schätzung zur Einhaltung des CO<sub>2</sub>-Budgets 6,7 Gt ab 2020

# Elektrizitätsbedarf 2030



Schätzung zur Einhaltung des CO<sub>2</sub>-Budgets 6,7 Gt ab 2020

# Flächenbedarf

Heute [%]



Erschließbares  
Potential EE [%]



**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

Heute [%]



Erschließbares  
Potential EE [%]

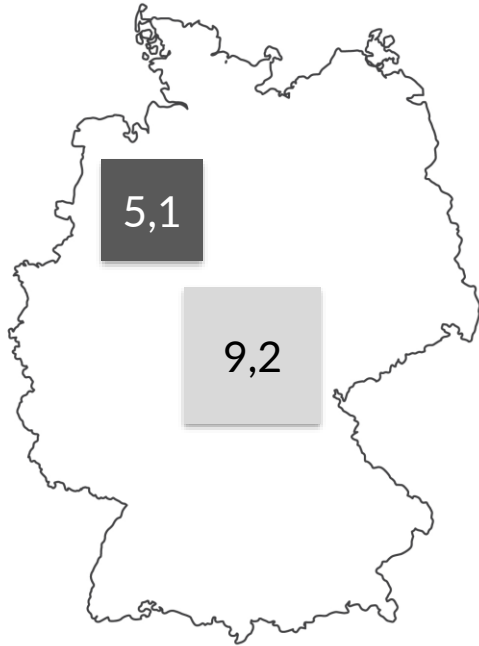


Verkehr

**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

Heute [%]



Siedlungsflächen

Verkehr

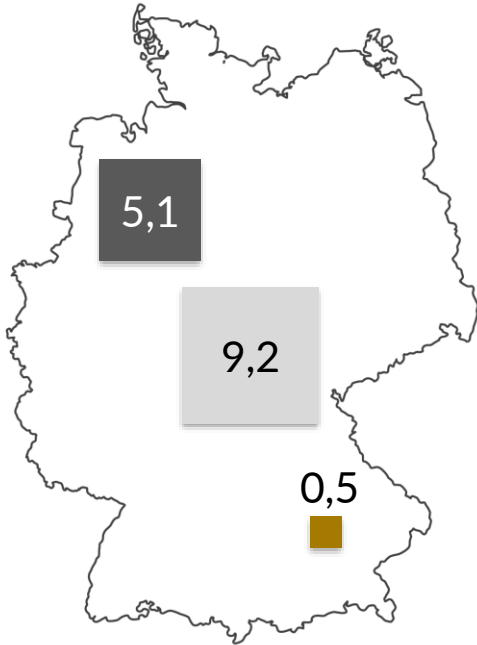
Erschließbares  
Potential EE [%]



**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

Heute [%]



Siedlungsflächen

Verkehr

Rohstoffgewinnung

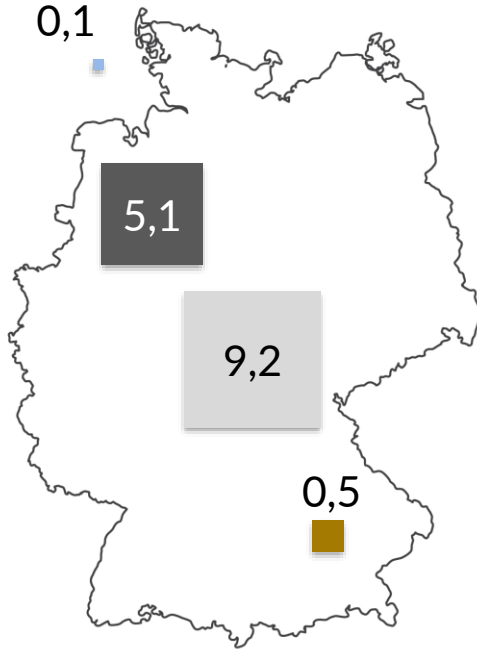
Erschließbares  
Potential EE [%]



**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

Heute [%]



Windenergie See

Siedlungsflächen

Verkehr

Rohstoffgewinnung

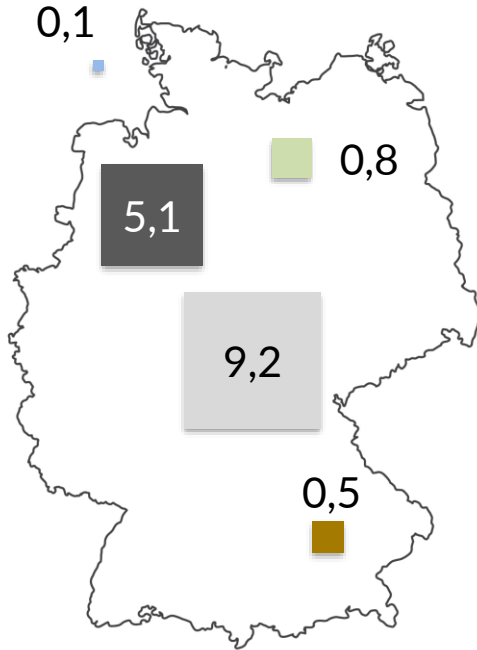
Erschließbares  
Potential EE [%]



**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

## Heute [%]



Windenergie See

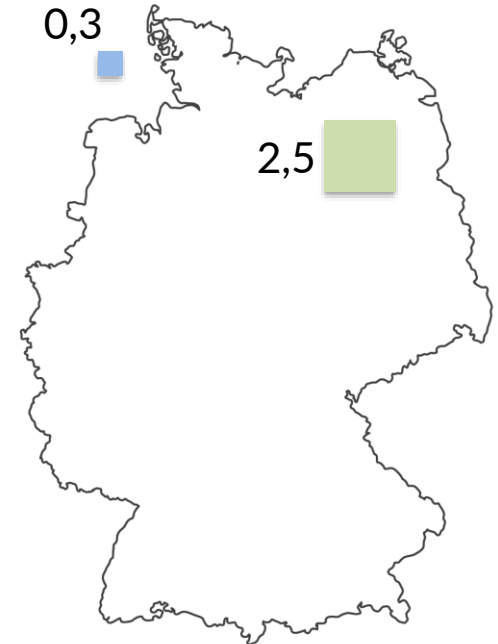
Windenergie Land

Siedlungsflächen

Verkehr

Rohstoffgewinnung

## Erschließbares Potential EE [%]

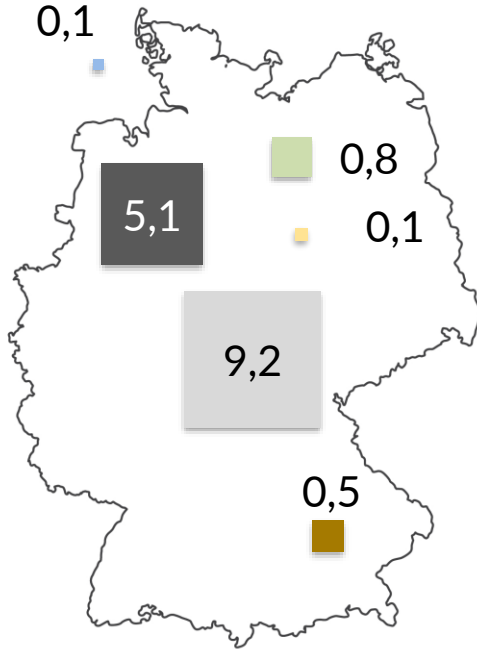


**Es gibt ausreichend Fläche für 100% EE Versorgung**



# Flächenbedarf

## Heute [%]



Windenergie See

Windenergie Land

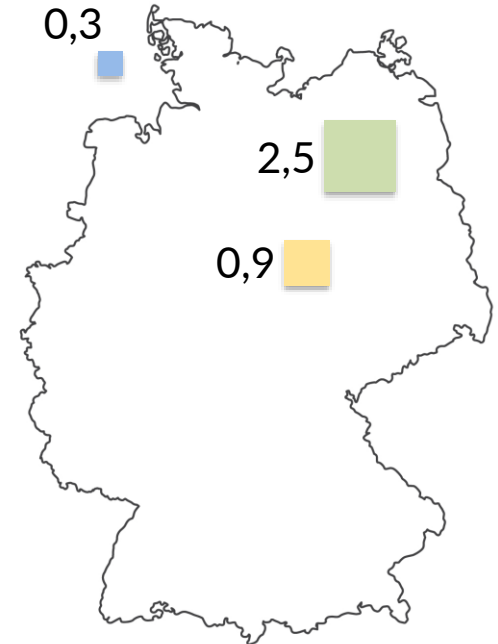
Solarenergie auf Freiflächen  
restriktionsfrei

Siedlungsflächen

Verkehr

Rohstoffgewinnung

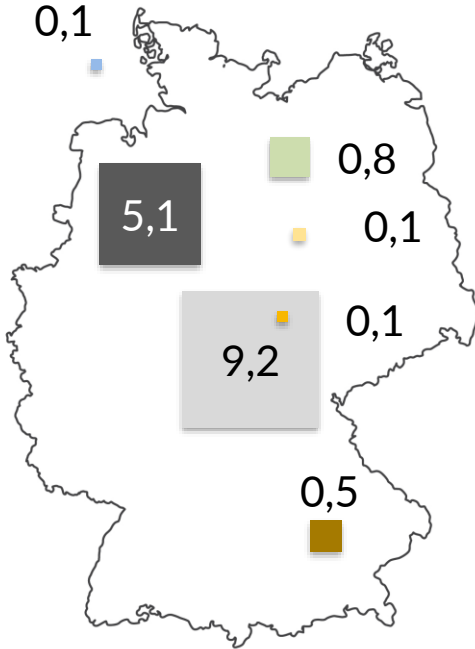
## Erschließbares Potential EE [%]



**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

## Heute [%]



Windenergie See

Windenergie Land

Solarenergie auf Freiflächen  
restriktionsfrei

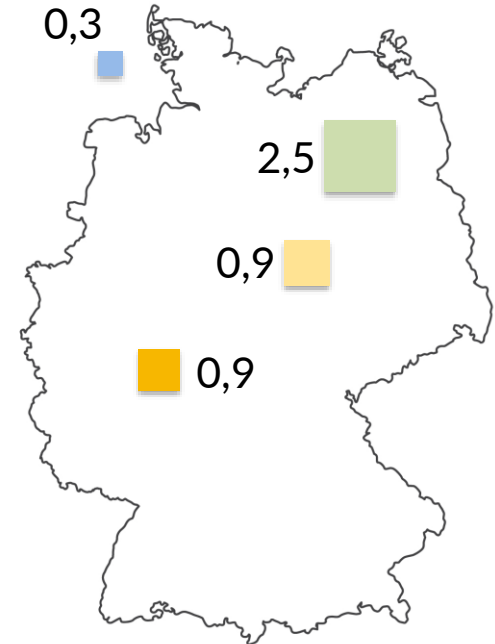
Solarenergie auf  
Siedlungsflächen

Siedlungsflächen

Verkehr

Rohstoffgewinnung

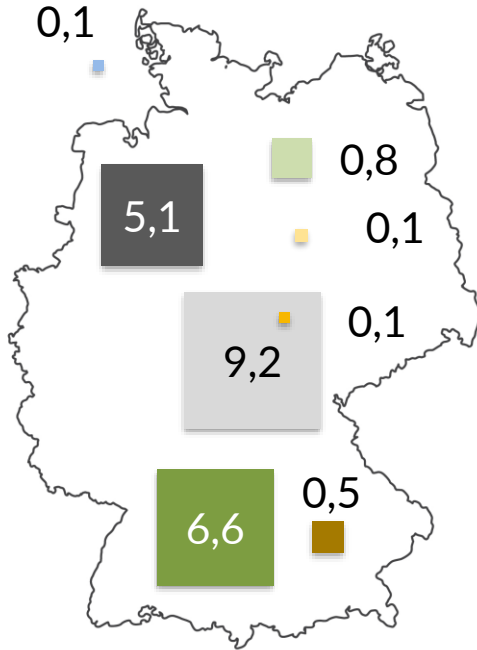
## Erschließbares Potential EE [%]



**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

## Heute [%]



Windenergie See

Windenergie Land

Solarenergie auf Freiflächen  
restriktionsfrei

Solarenergie auf  
Siedlungsflächen

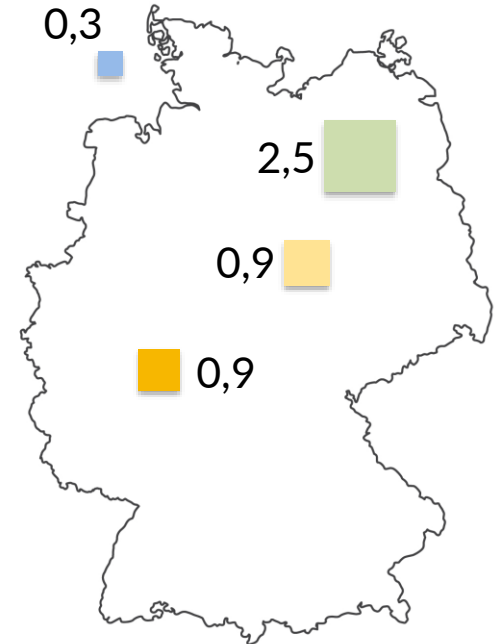
Siedlungsflächen

Verkehr

Rohstoffgewinnung

Energiepflanzen auf Nutzflächen

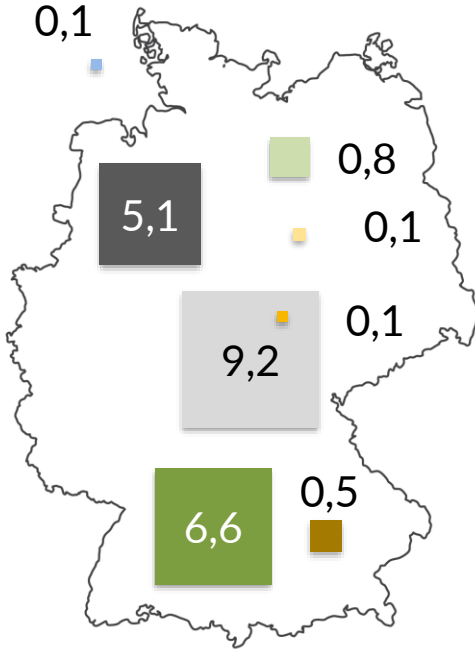
## Erschließbares Potential EE [%]



**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

# Flächenbedarf

## Heute [%]



238 TWh  
152 TWh  
35 TWh  
2500 TWh

Windenergie See

Windenergie Land

Solarenergie auf Freiflächen  
restriktionsfrei

Solarenergie auf  
Siedlungsflächen

Siedlungsflächen

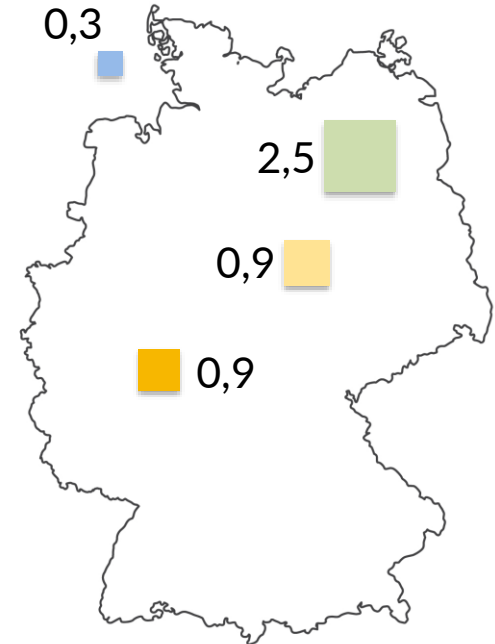
Verkehr

Rohstoffgewinnung

Energiepflanzen auf Nutzflächen

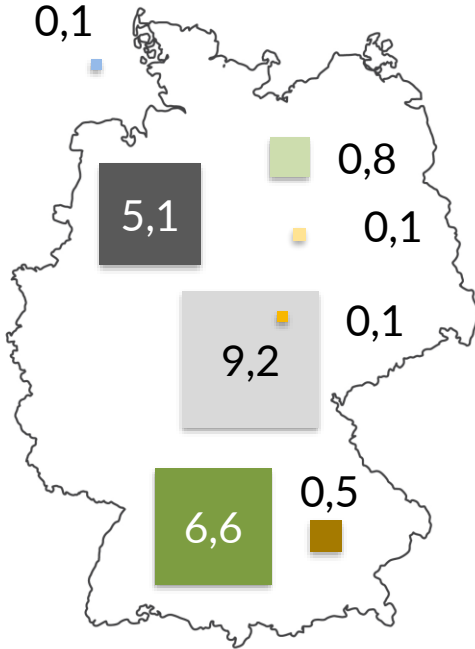
**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

## Erschließbares Potential EE [%]



# Flächenbedarf

## Heute [%]



238 TWh  
152 TWh  
35 TWh  
2500 TWh

Windenergie See

Windenergie Land

Solarenergie auf Freiflächen  
restriktionsfrei

Solarenergie auf  
Siedlungsflächen

Siedlungsflächen

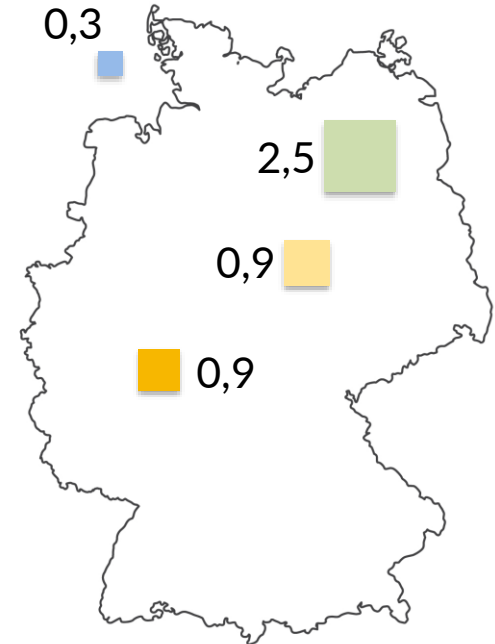
Verkehr

Rohstoffgewinnung

Energiepflanzen auf Nutzflächen

**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

## Erschließbares Potential EE [%]

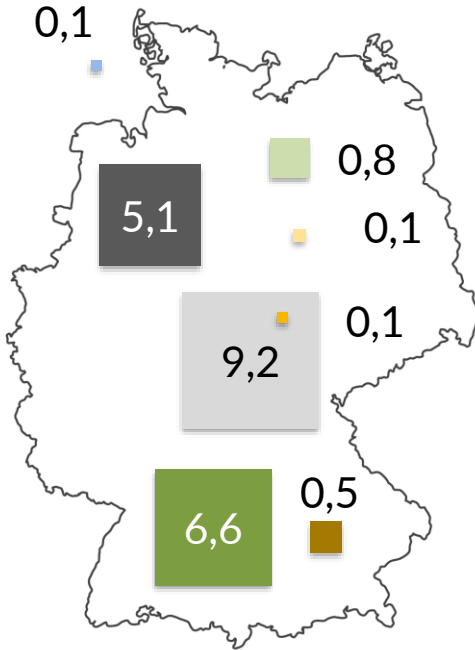


~1750 TWh Strom

Zusätzlich: Wasser, Geothermie, Pflanzenreststoffe,  
Solar auf sonstigen Freiflächen >>1000 TWh

# Flächenbedarf

## Heute [%]



238 TWh Strom  
152 TWh Wärme  
35 TWh Kraftstoff  
2500 TWh Endenergiebedarf DE

Windenergie See

Windenergie Land

Solarenergie auf Freiflächen  
restriktionsfrei

Solarenergie auf  
Siedlungsflächen

Siedlungsflächen

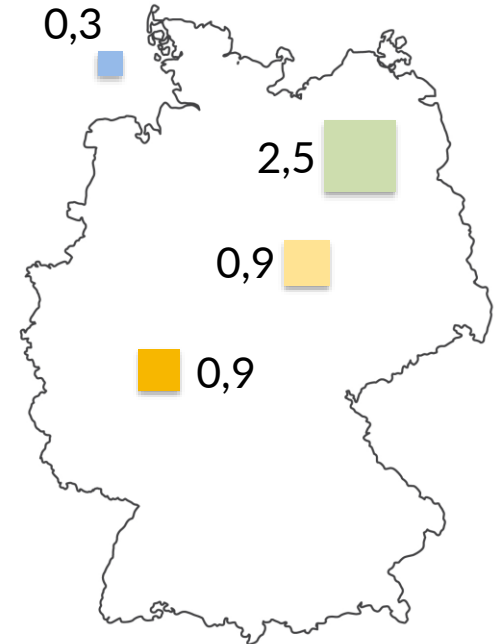
Verkehr

Rohstoffgewinnung

Energiepflanzen auf Nutzflächen

**Es gibt ausreichend Fläche  
für 100% EE Versorgung**

## Erschließbares Potential EE [%]



~1750 TWh Strom

Zusätzlich: Wasser, Geothermie, Pflanzenreststoffe,  
Solar auf sonstigen Freiflächen >>1000 TWh

# Flächenbedarf im Vergleich

10 000 MWh  
Strom / Jahr

# Flächenbedarf im Vergleich

PV-Freifläche

10 000 MWh  
Strom / Jahr

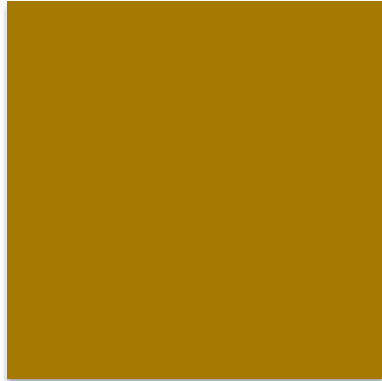


# Flächenbedarf im Vergleich

Energiepflanzen  
für Biogas

PV-Freifläche

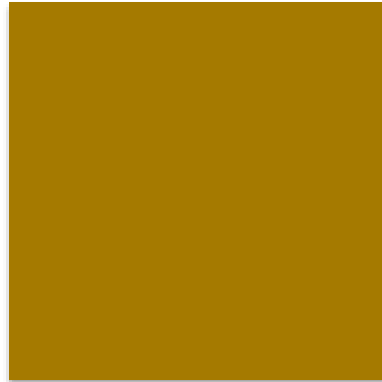
10 000 MWh  
Strom / Jahr



# Flächenbedarf im Vergleich

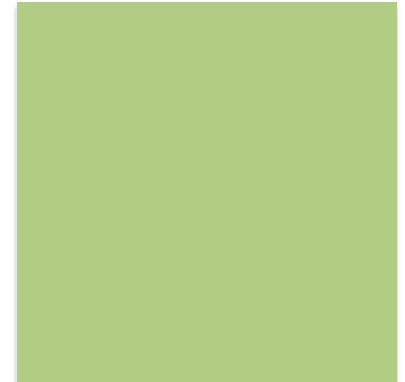
10 000 MWh  
Strom / Jahr

Energiepflanzen  
für Biogas



500 ha Acker

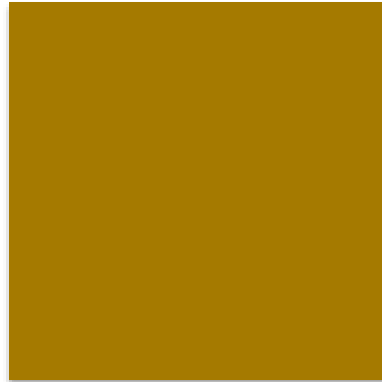
PV-Freifläche



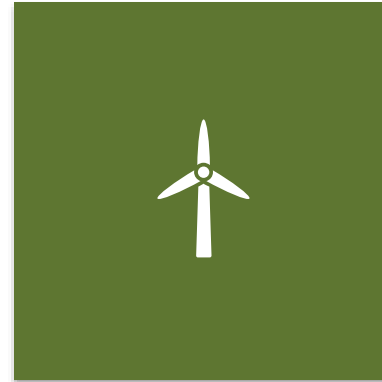
# Flächenbedarf im Vergleich

10 000 MWh  
Strom / Jahr

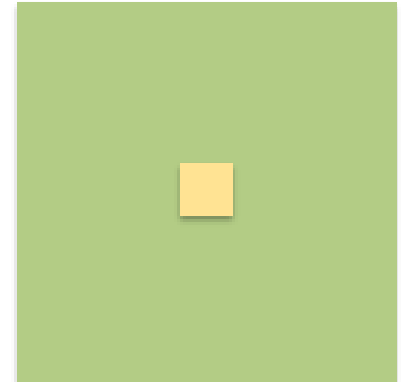
Energiepflanzen  
für Biogas



500ha Acker



PV-Freifläche

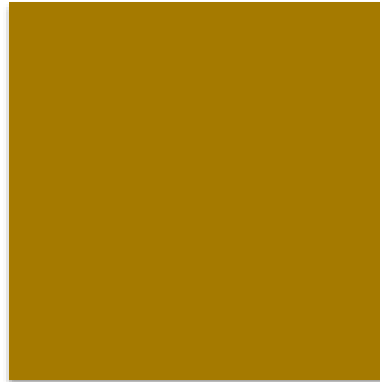


490ha Naturschutz  
10ha PV-Freifläche

# Flächenbedarf im Vergleich

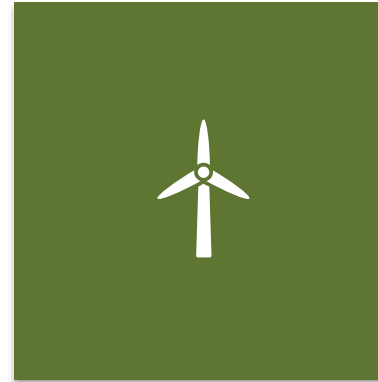
10 000 MWh  
Strom / Jahr

Energiepflanzen  
für Biogas

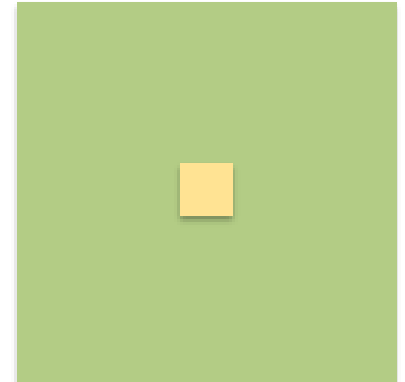


500ha Acker

1 Windrad



PV-Freifläche

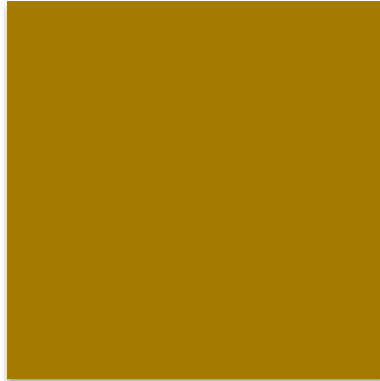


490ha Naturschutz  
10ha PV-Freifläche

# Flächenbedarf im Vergleich

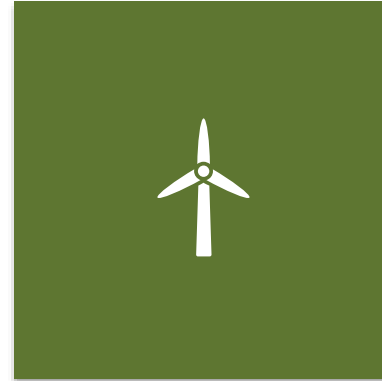
10 000 MWh  
Strom / Jahr

Energiepflanzen  
für Biogas



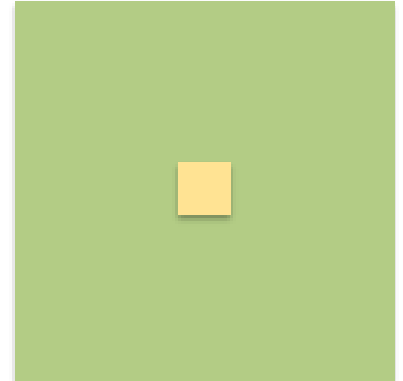
500 ha Acker

1 Windrad



500 ha  
Holzplantage

PV-Freifläche

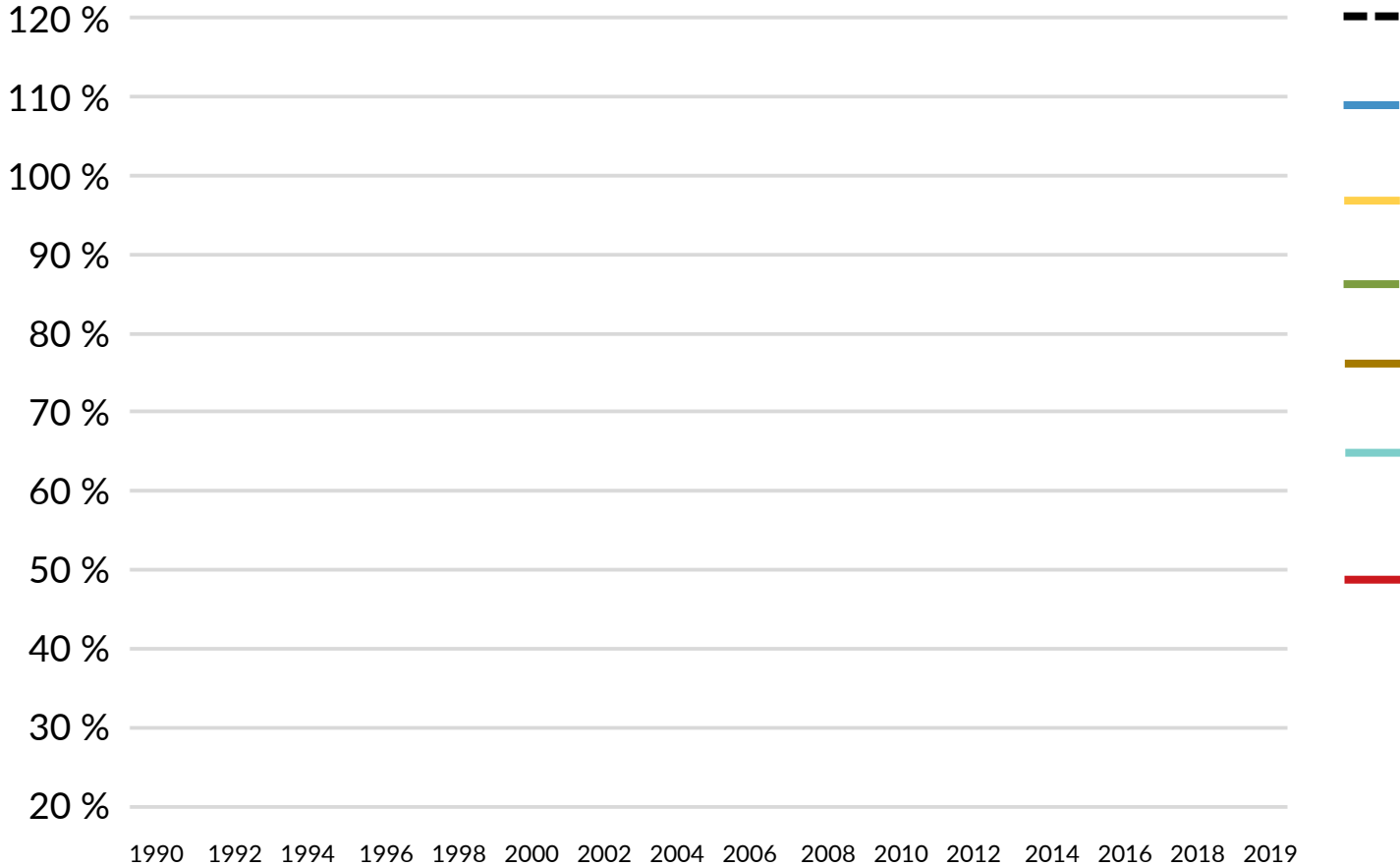


490 ha Naturschutz  
10 ha PV-Freifläche

**Transportsektor**

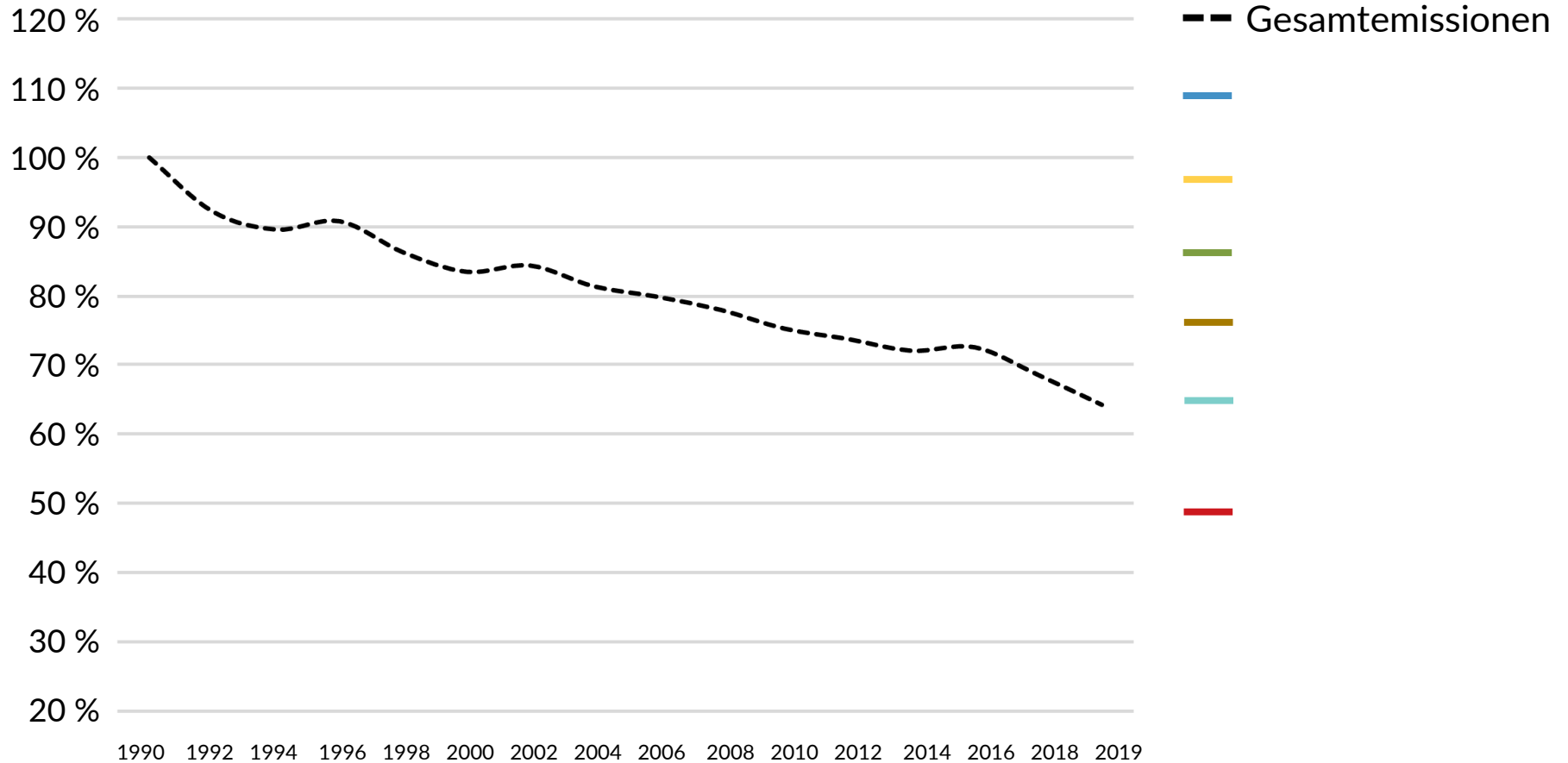
**Beispiel Deutschland**

# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen

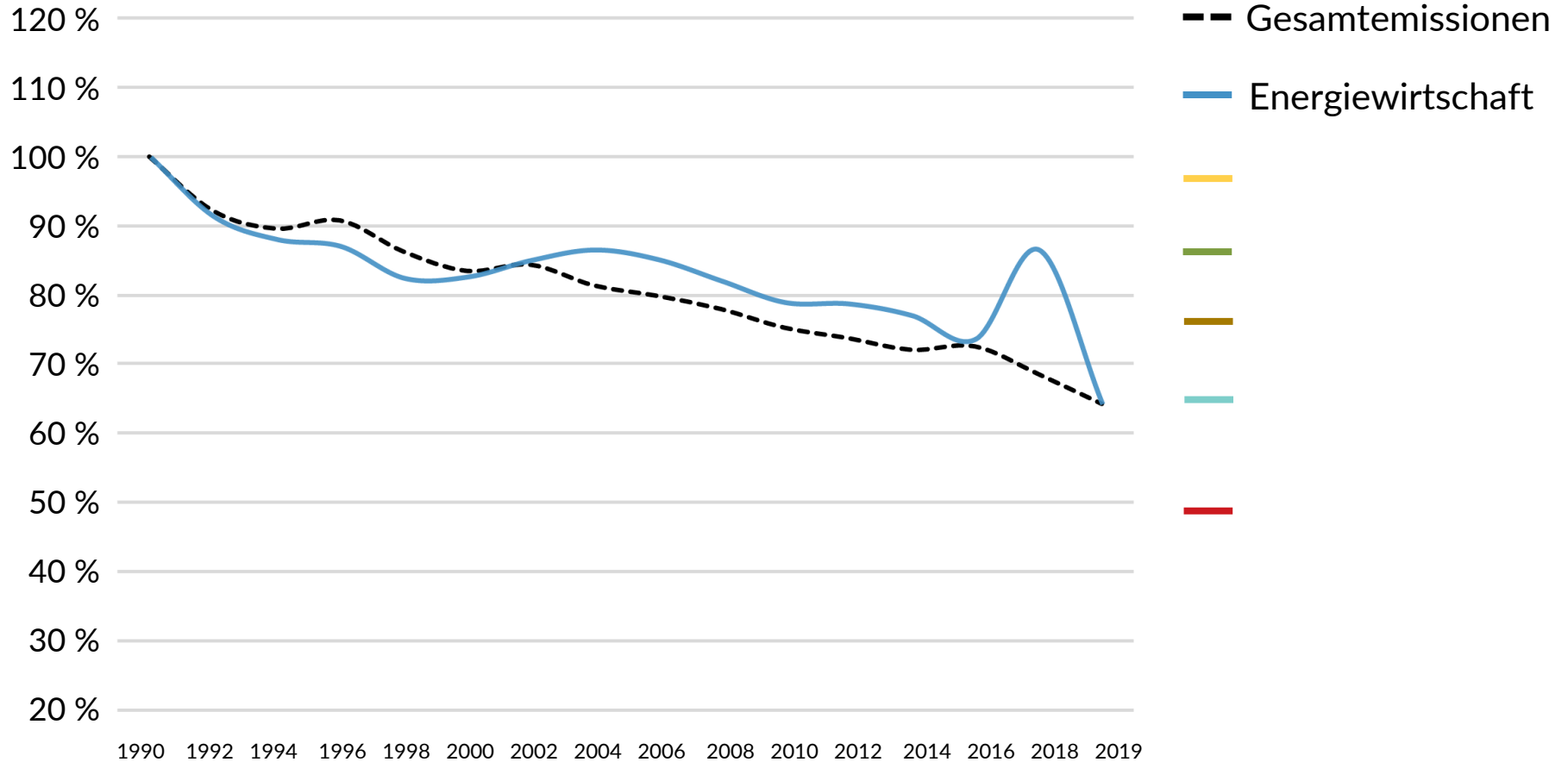




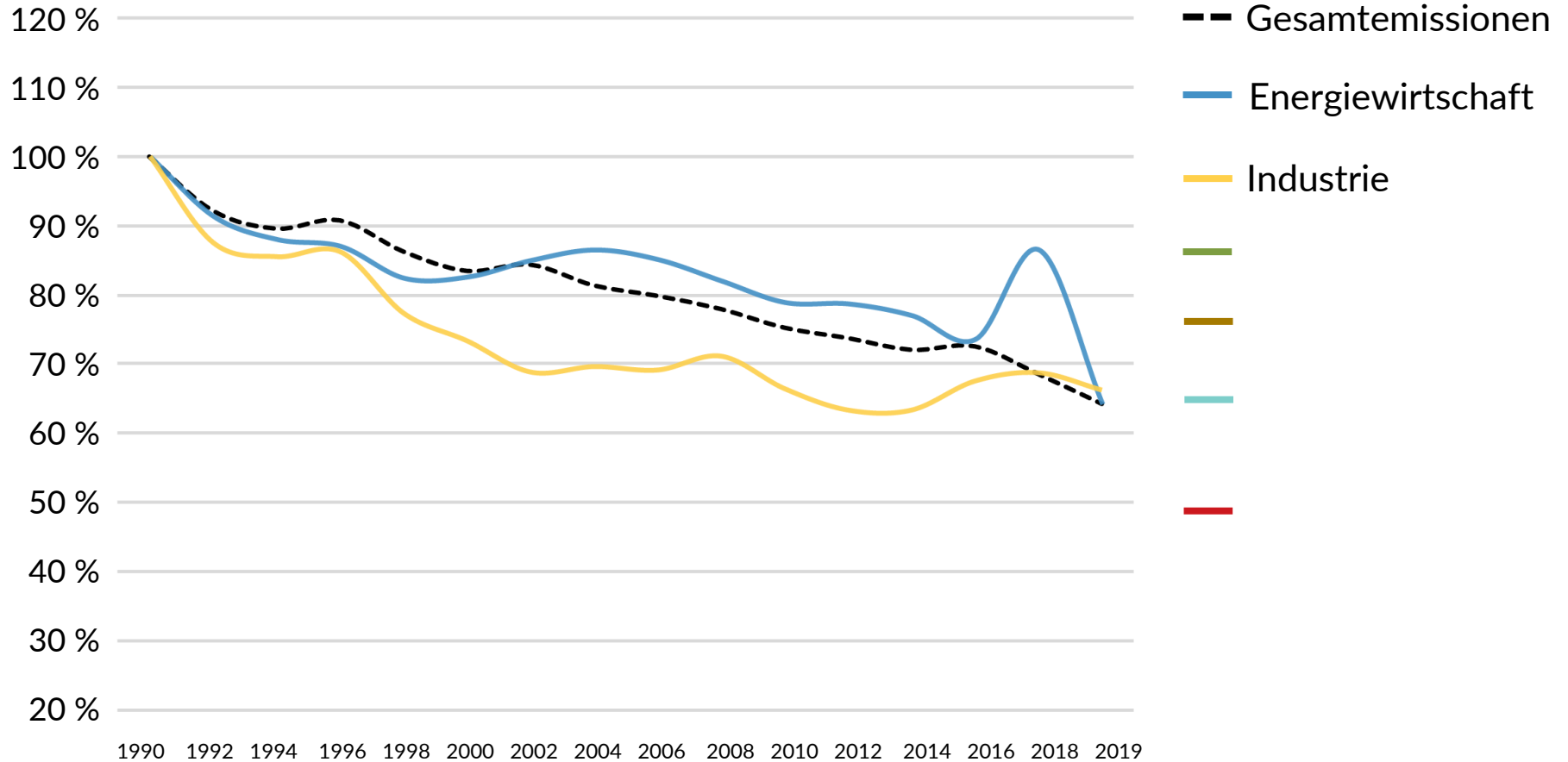
# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen



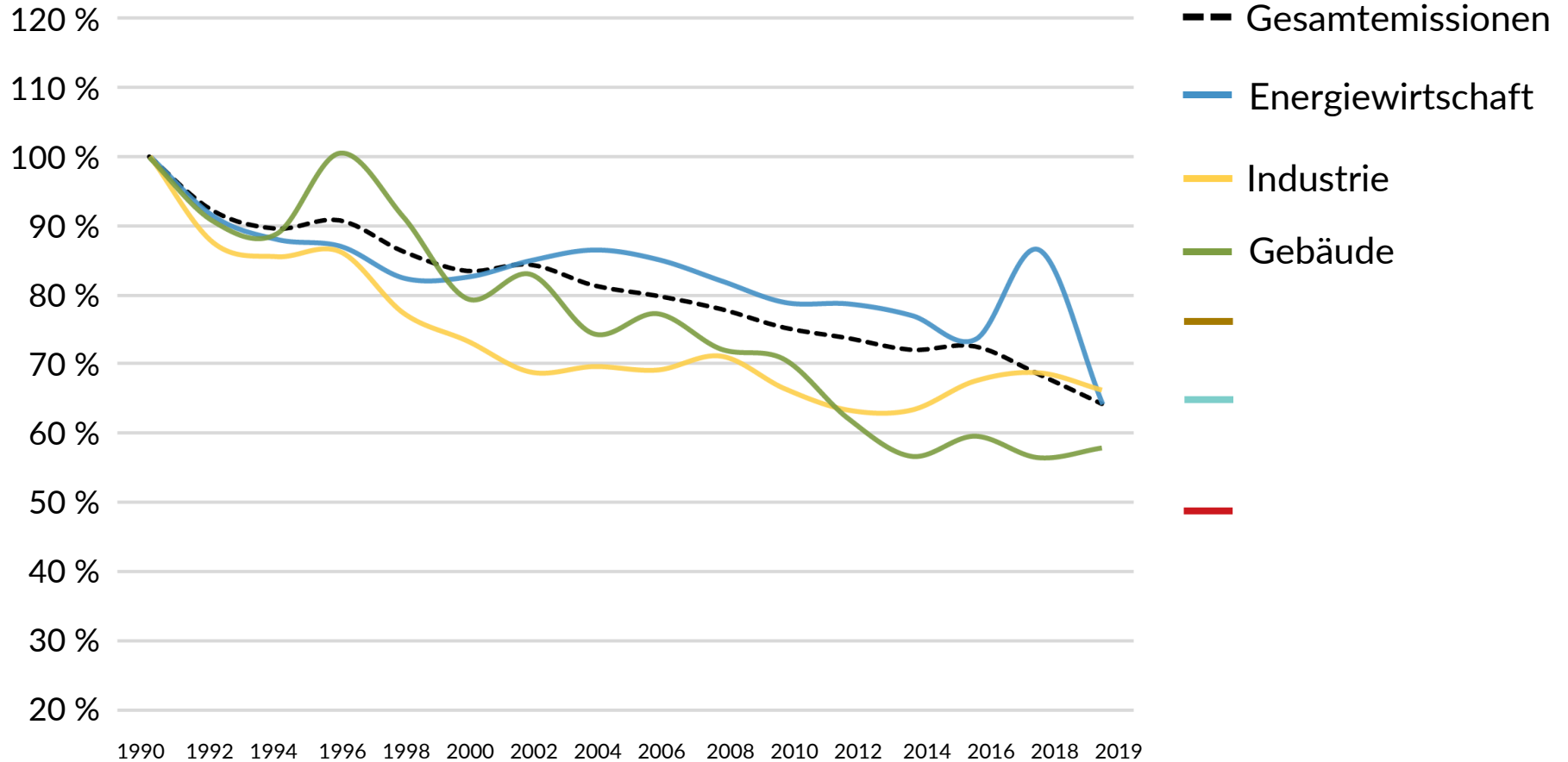
# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen



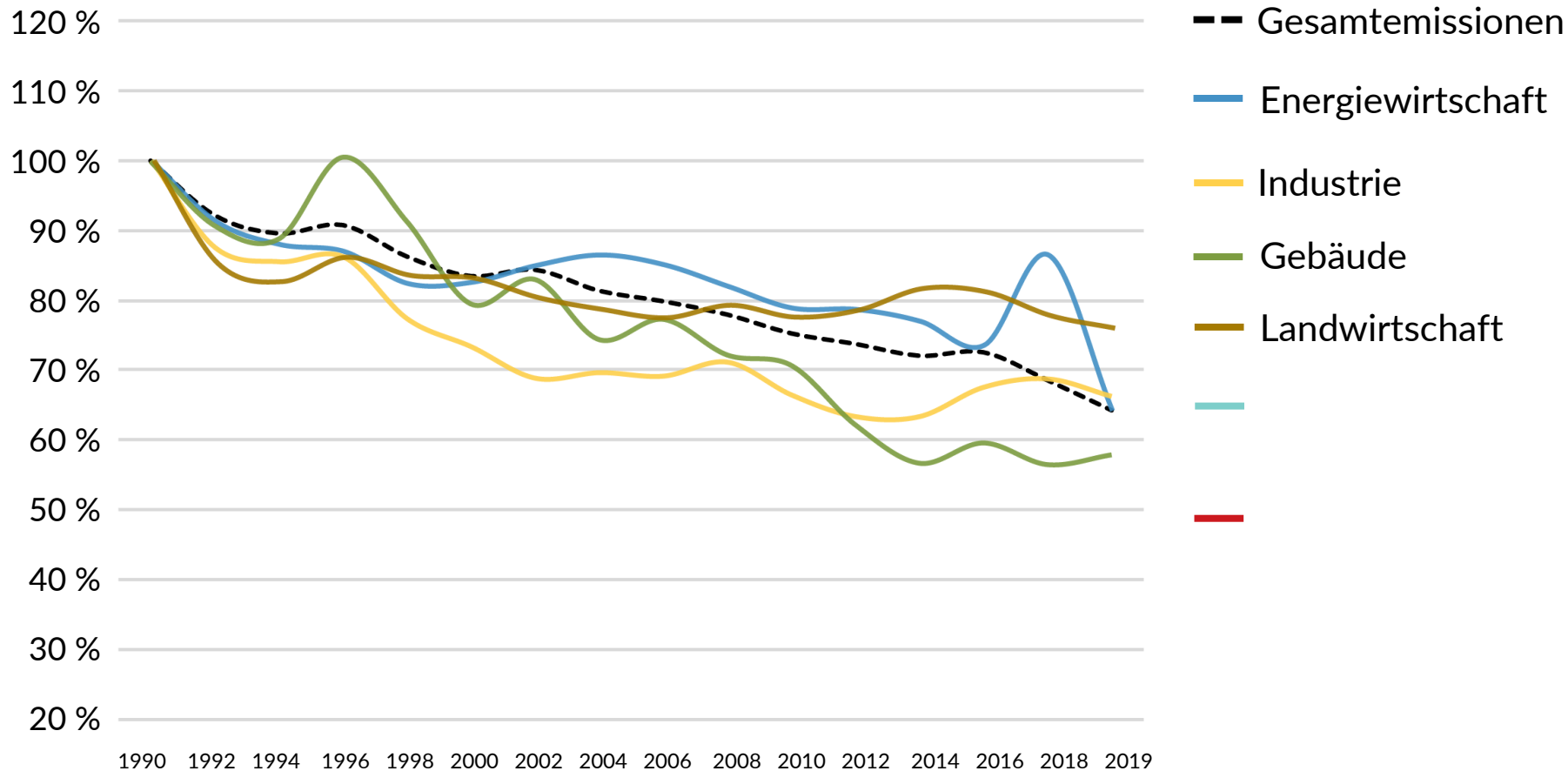
# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen



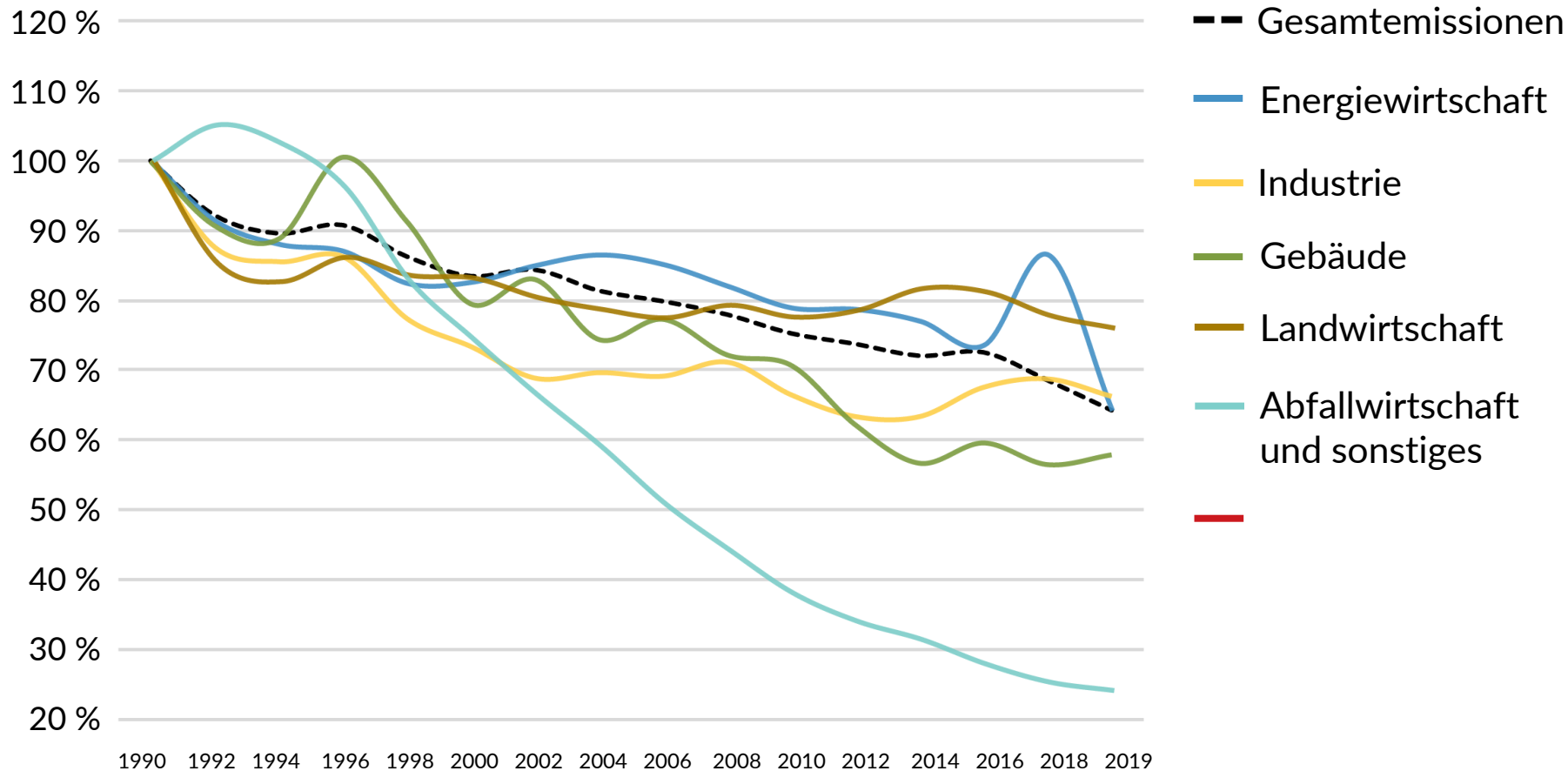
# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen



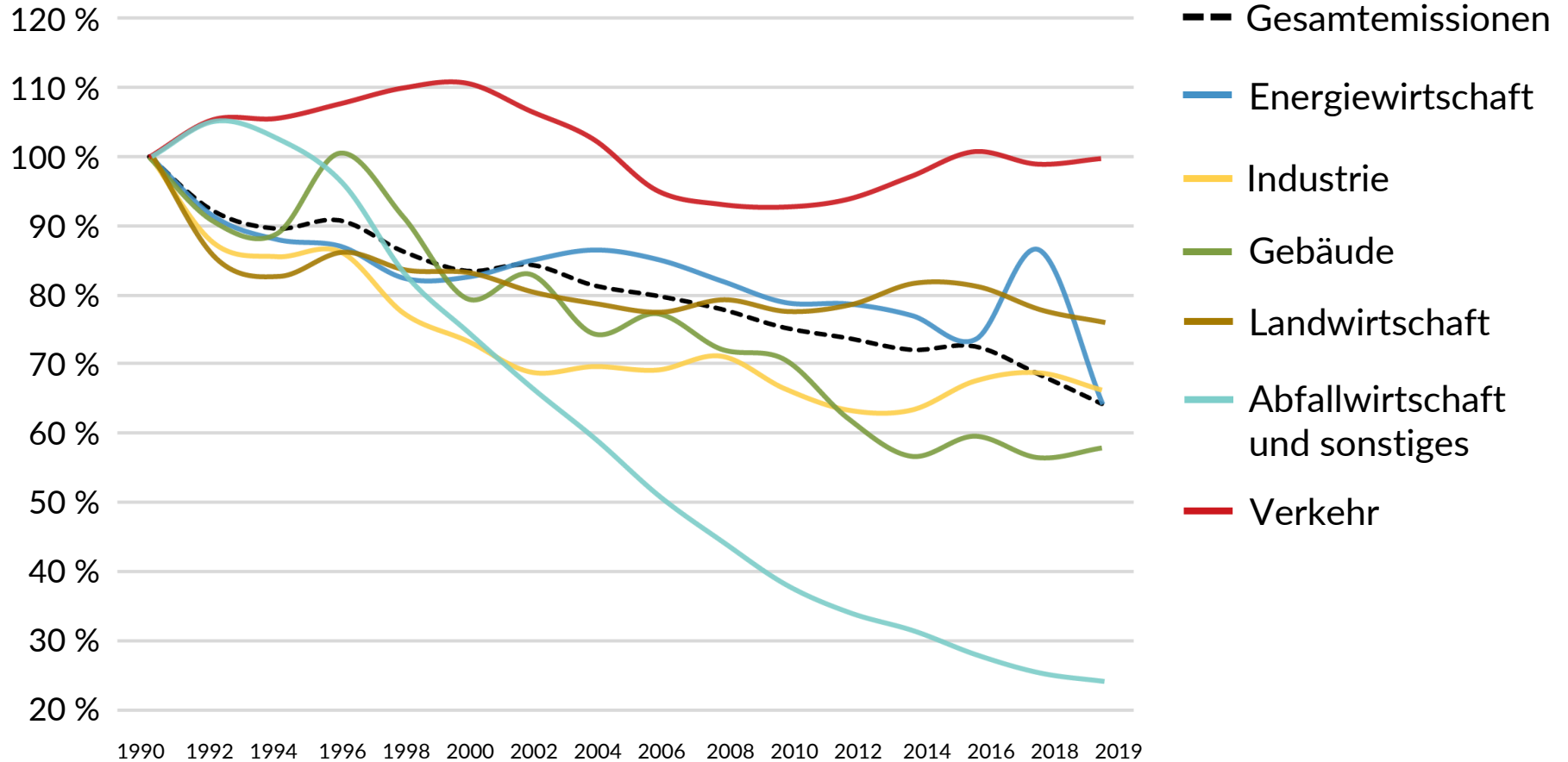
# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen



# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen



# Herausforderung: CO<sub>2</sub>-Emissionen



# Transport und Mobilität in Deutschland

Kraftstoffe

Elektrisch

**HEUTE**

Schifffahrt

Schiene

Flugzeuge

große LKW

kleine LKW

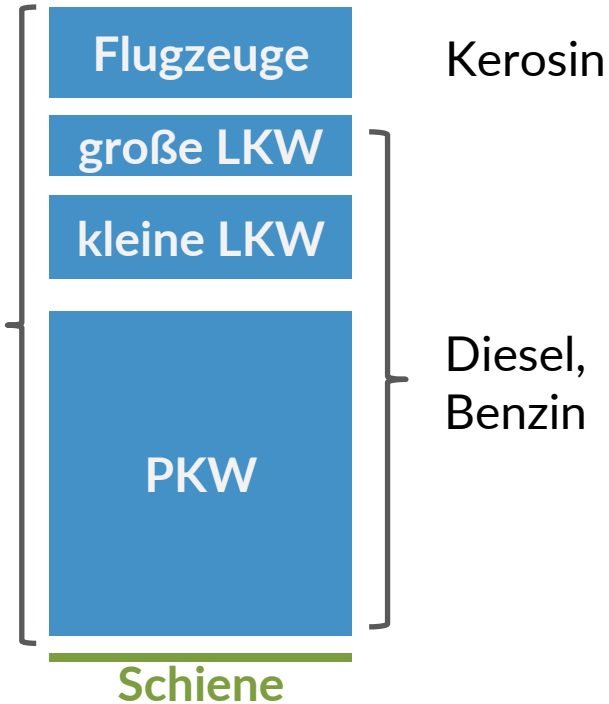
PKW

Schiene

Kerosin

Diesel,  
Benzin

765 TWh  
Fossile  
Kraftstoffe





# Transport und Mobilität in Deutschland

Kraftstoffe

Elektrisch

**HEUTE**

Schifffahrt

Schiene

Flugzeuge

große LKW

kleine LKW

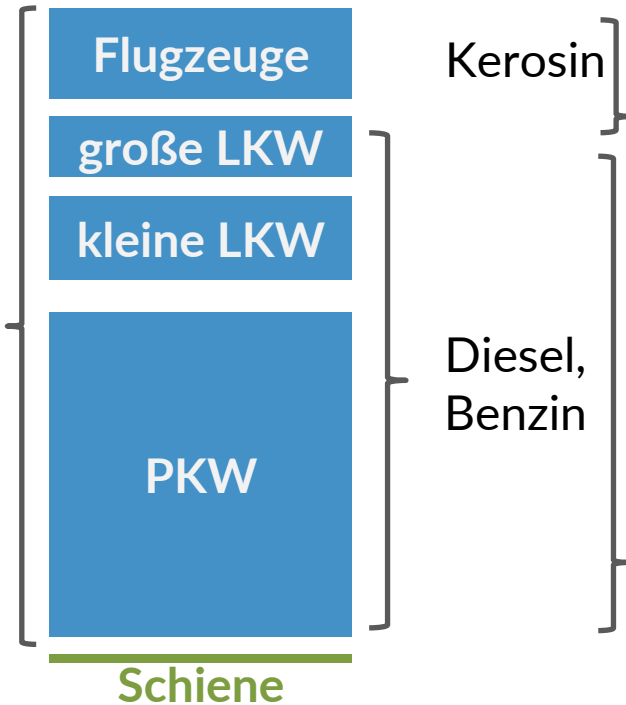
PKW

Schiene

Kerosin

Diesel,  
Benzin

765 TWh  
Fossile  
Kraftstoffe



# Transport und Mobilität in Deutschland

Kraftstoffe

Elektrisch

## HEUTE

Schifffahrt

Schiene

Flugzeuge

große LKW

kleine LKW

PKW

Schiene

Kerosin

Diesel,  
Benzin

## MORGEN

### H<sub>2</sub> & e-Fuels

Flugzeuge

50 % große LKW

160  
TWh

Plus:  
160 TWh  
Energieaufwand  
für Herstellung

↓ 50 % große LKW

kleine LKW

PKW

≤ 200  
TWh

765 TWh  
Fossile  
Kraftstoffe

# Transport und Mobilität in Deutschland

Kraftstoffe

Elektrisch

## HEUTE

Schifffahrt

Schiene

Flugzeuge

große LKW

kleine LKW

PKW

Schiene

Kerosin

Diesel,  
Benzin

## MORGEN

### H<sub>2</sub> & e-Fuels

Flugzeuge

50 % große LKW

160  
TWh

Plus:  
160 TWh  
Energieaufwand  
für Herstellung

↓ 50 % große LKW

kleine LKW

PKW

≤ 200  
TWh

≤ 520 TWh  
Strom

765 TWh  
Fossile  
Kraftstoffe

# Personen-Mobilität

# Personen-Mobilität

A

B

C

D

E

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

B

C

D

E

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

C

D

E

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

C

D

E

F

G



# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Nachtzüge ausbauen

C

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

D

E

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

Nachtzüge ausbauen

C

Batterie-Busse

D

E

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

Nachtzüge ausbauen

C

Batterie-Busse

D

Batterie-PKW

E

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

Nachtzüge ausbauen

C

Batterie-Busse

Batterie-PKW im  
Car-Sharing

D

Batterie-PKW

E

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

Nachtzüge ausbauen

C

Batterie-Busse

Batterie-PKW im  
Car-Sharing

D

Batterie-PKW

E

H<sub>2</sub>-Brennstoffzellen-Busse

F

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

Nachtzüge ausbauen

C

Batterie-Busse

Batterie-PKW im  
Car-Sharing

D

Batterie-PKW

E

H<sub>2</sub>-Brennstoffzellen-Busse

F

Syn-Fuel-PKW

G

# Personen-Mobilität

A

Fuß- und Radverkehr stärken

Verkehr vermeiden

B

Bahn & ÖPNV stärken

Bahn & ÖPNV elektrifizieren

Nachtzüge ausbauen

C

Batterie-Busse

Batterie-PKW im  
Car-Sharing

D

Batterie-PKW

E

H<sub>2</sub>-Brennstoffzellen-Busse

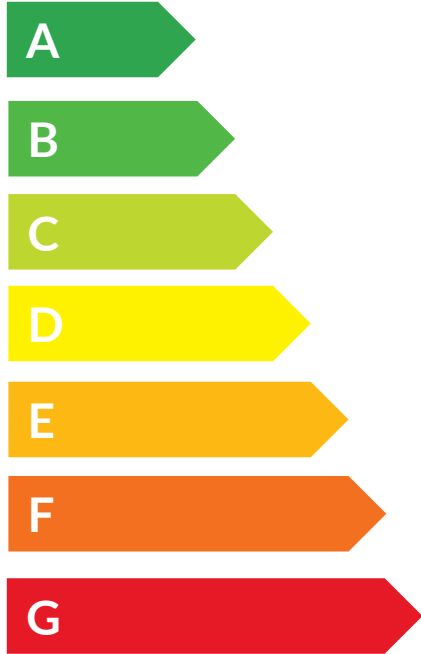
F

Syn-Fuel-PKW

G

Fliegen mit synthetischem Kerosin

# Güter-Transport





# Güter-Transport

A

B

C

D

E

F

G

Transporte vermeiden

# Güter-Transport

A

B

C

D

E

F

G

Transporte vermeiden

Güterzüge / Bahnstrecken elektrifizieren

# Güter-Transport

A

B

C

D

E

F

G

Transporte vermeiden

Güterzüge / Bahnstrecken elektrifizieren

LKW-Verkehr elektrifizieren (Batterie, Oberleitungen)

# Güter-Transport

A

Transporte vermeiden

B

Güterzüge / Bahnstrecken elektrifizieren

C

LKW-Verkehr elektrifizieren (Batterie, Oberleitungen)

D

H<sub>2</sub>-LKW / H<sub>2</sub>-Lokomotiven

E

F

G

# Güter-Transport

A

Transporte vermeiden

B

Güterzüge / Bahnstrecken elektrifizieren

C

LKW-Verkehr elektrifizieren (Batterie, Oberleitungen)

D

H<sub>2</sub>-LKW / H<sub>2</sub>-Lokomotiven

E

Syn-Fuel Schiffe

F

G

# Güter-Transport

A

Transporte vermeiden

B

Güterzüge / Bahnstrecken elektrifizieren

C

LKW-Verkehr elektrifizieren (Batterie, Oberleitungen)

D

H<sub>2</sub>-LKW / H<sub>2</sub>-Lokomotiven

E

Syn-Fuel Schiffe

F

G

Syn-Fuel Frachtflieger

# Hinweis an Nutzer: innen

Die Elektrifizierung des Verkehrs ist ein wichtiger, aber nicht der einzige Baustein. Erforderlich ist nicht nur eine Antriebswende, sondern eine Verkehrswende.

Siehe dazu auch zwei S4F-Spotlights zur Verkehrswende hier:  
[https://files.scientists4future.org/index.php?path=54\\_\\_Mobilität\\_und\\_Verkehr](https://files.scientists4future.org/index.php?path=54__Mobilität_und_Verkehr)



**Verkehrspolitik als Gesellschaftspolitik**

Spotlight zum Thema  
**Verkehrswende**

Version: 4. März 2021  
Inhalt finalisiert November 2020

Prof. Dr. Oliver Schwedes  
Scientists for Future

CC BY-SA 4.0: einige Grafiken, Fotos, Legos abweichend  
lizenziert bzw. unter Zitatrecht; vollständige Dokumentation ist  
unter [info-de.scientists4future.org/präsentationen/](https://info-de.scientists4future.org/präsentationen/)  
in den Follennotizen der Originaldateien verfügbar.

Gefördert durch

Umwelt  
Bundesamt



**Verkehrswende-Konzepte**

Spotlight zum Thema:  
**Verkehrswende**

Version: 4. März 2021  
Inhalt finalisiert Oktober 2020

Thomas Krieger, M.Sc.  
Scientists for Future

CC BY-SA 4.0: einige Grafiken, Fotos, Legos abweichend  
lizenziert bzw. unter Zitatrecht; vollständige Dokumentation ist  
unter [info-de.scientists4future.org/präsentationen/](https://info-de.scientists4future.org/präsentationen/)  
in den Follennotizen der Originaldateien verfügbar.

Gefördert durch

Umwelt  
Bundesamt

**Wärme**



**Beispiel Deutschland**

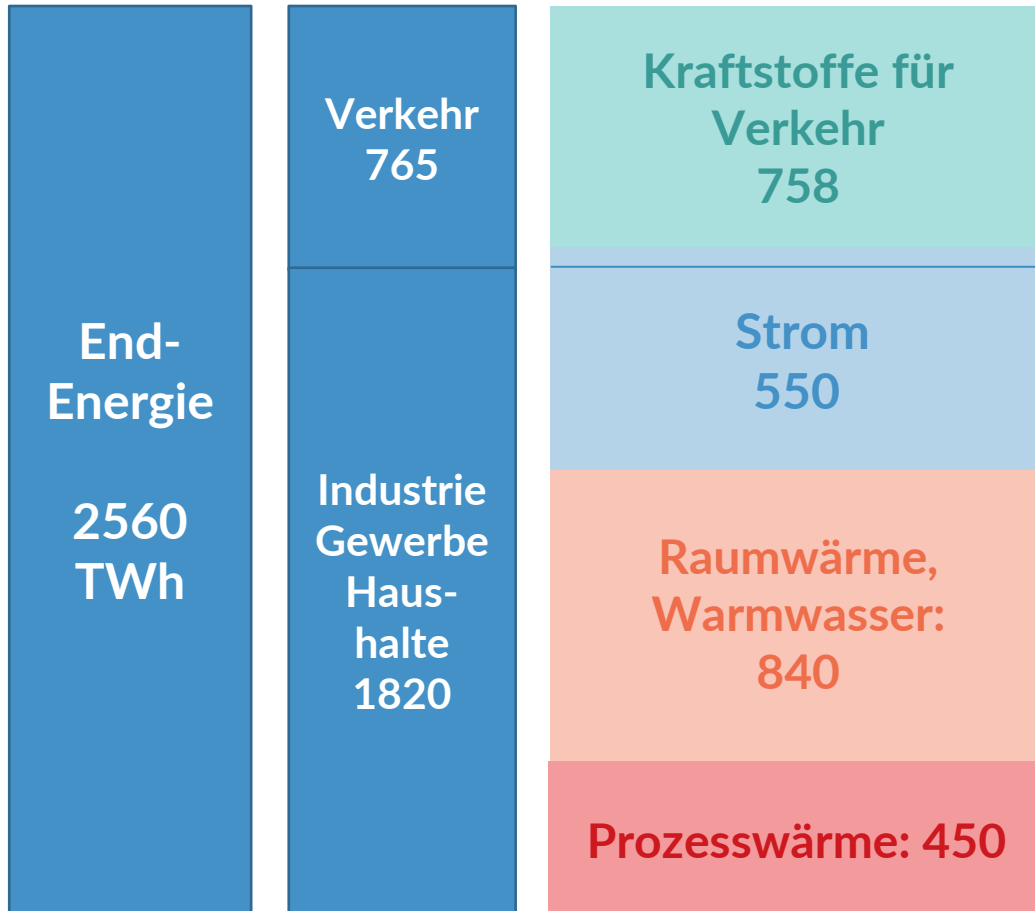
# Gebäudewärme

Weitere Informationen unter anderem zu Wärmenetzen, kommunaler Wärmeleitplanung, Energiebilanz eines Hauses ... findet ihr in der Veröffentlichung:

„Klimaverträgliche Energieversorgung für Deutschland – 16 Orientierungspunkte“  
(<https://doi.org/10.5281/zenodo.4409334>)

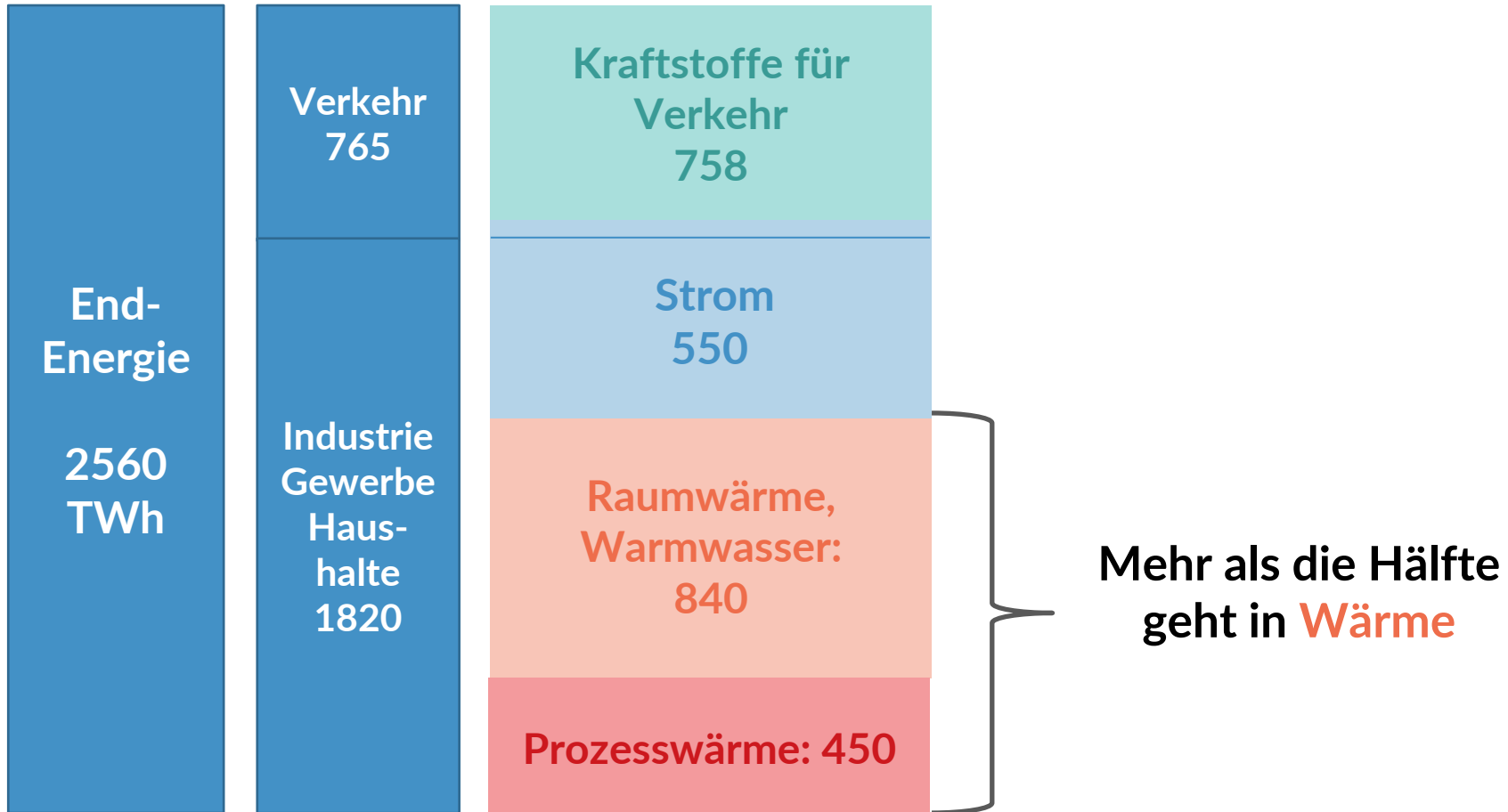
Hierzu gibt es einen begleitenden Foliensatz (mit vielen identischen, aber auch zusätzlich Folien). Ihr findet diesen unter <https://files.scientists4future.org/> im Ordner „52. Energiesystem“ unter dem Namen „Vortrag 16 Orientierungspunkte Energiewende-S4F (Gerhards Klafka Urban Hagedorn Golla Jordan 2021-06)“

# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



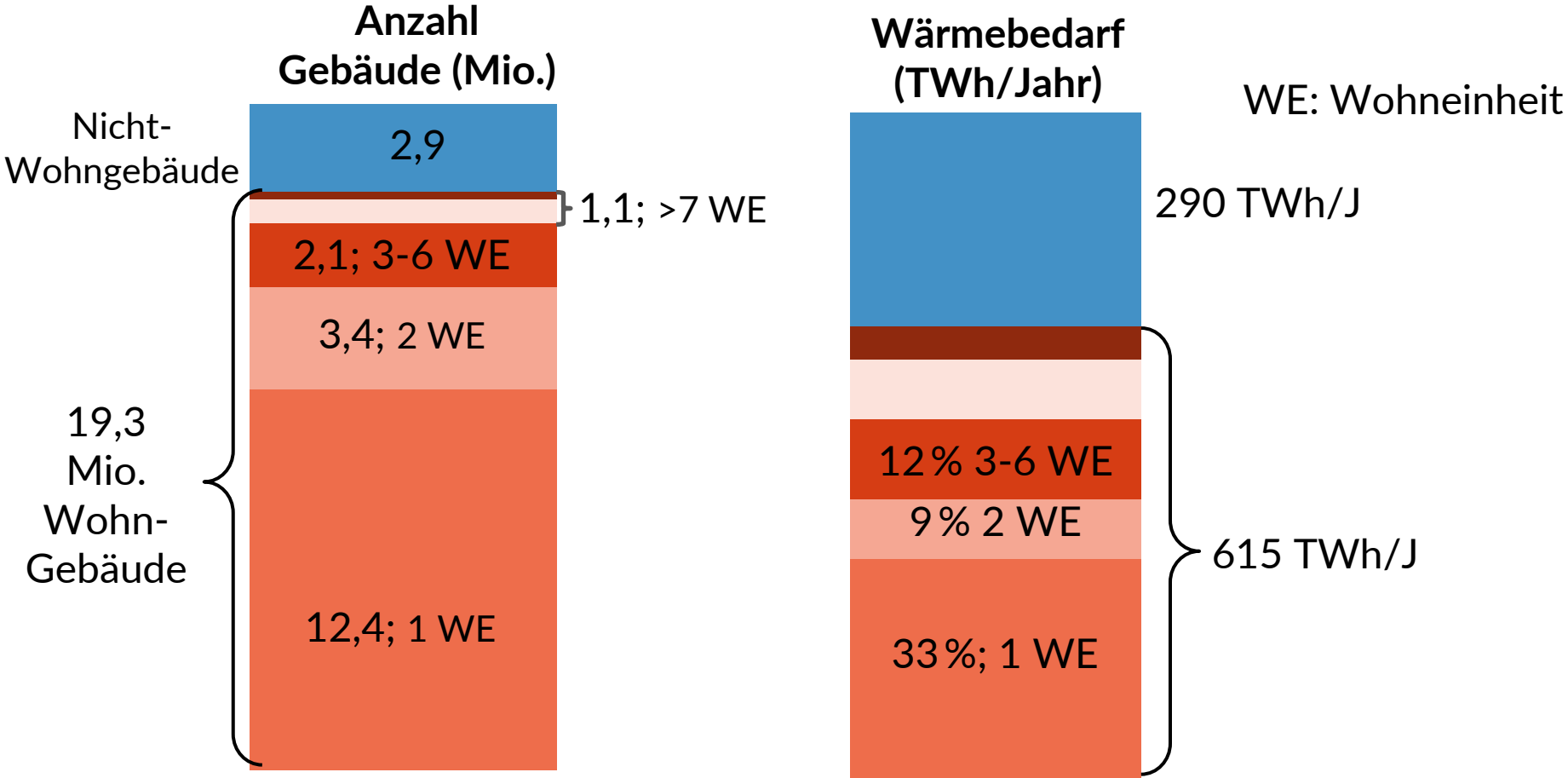
Deutschland 2017, alle Angaben in TWh

# Endenergiebedarf nach Sektoren 2017



Deutschland 2017, alle Angaben in TWh

# Wärmebedarf Gebäude (2015)



# Die meiste Energie brauchen die vielen älteren Gebäude

19,3 Millionen  
Wohngebäude in DE

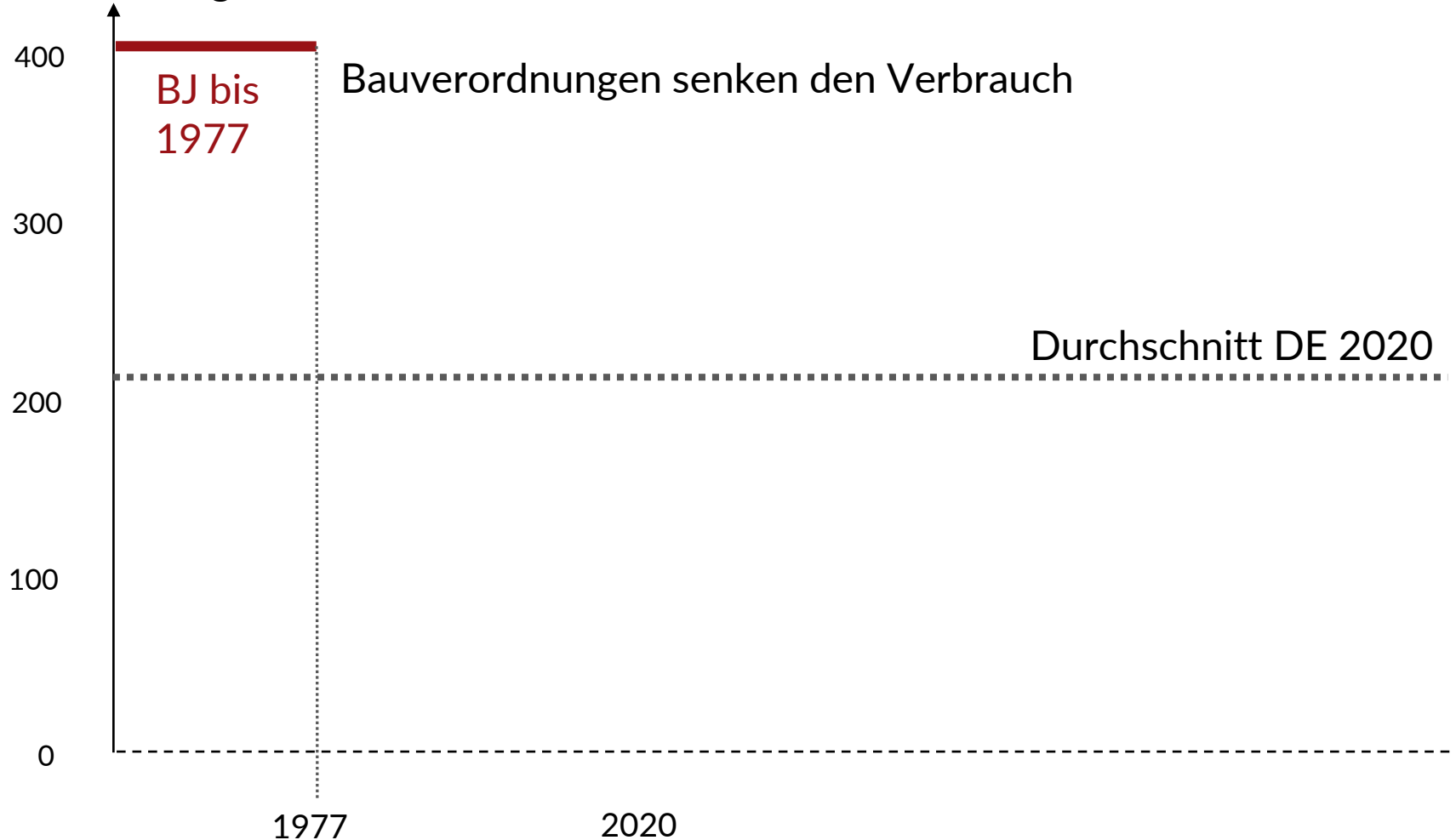
63 %  
aller Gebäude  
sind vor 1977 gebaut

Energieverbrauch: 615 TWh

70%  
der Energie  
für ältere  
Wohngebäude  
(BJ vor 1977)

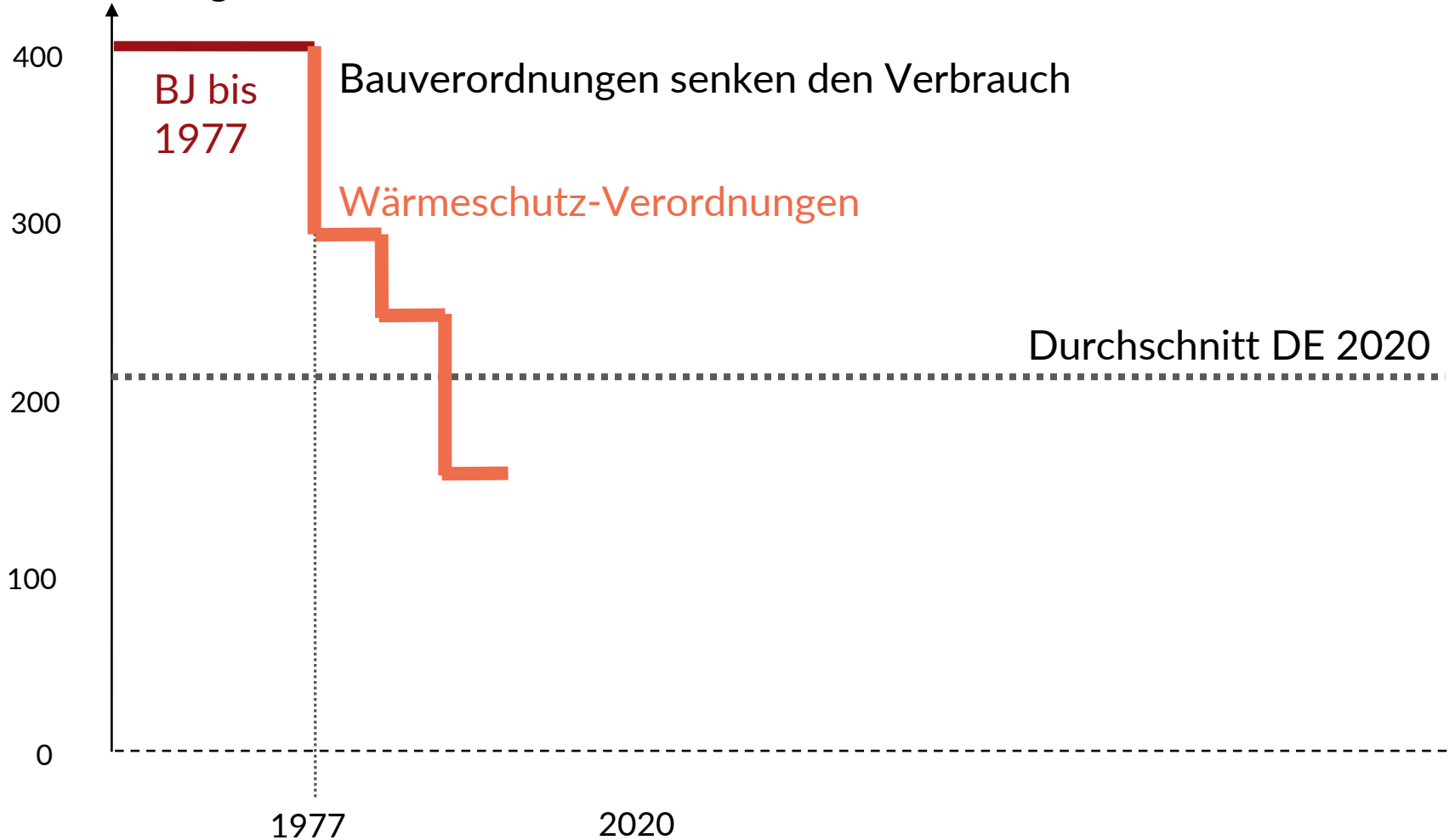
# Gebäude können wenig Energie verbrauchen

Primärenergiebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>·Jahr)]



# Gebäude können wenig Energie verbrauchen

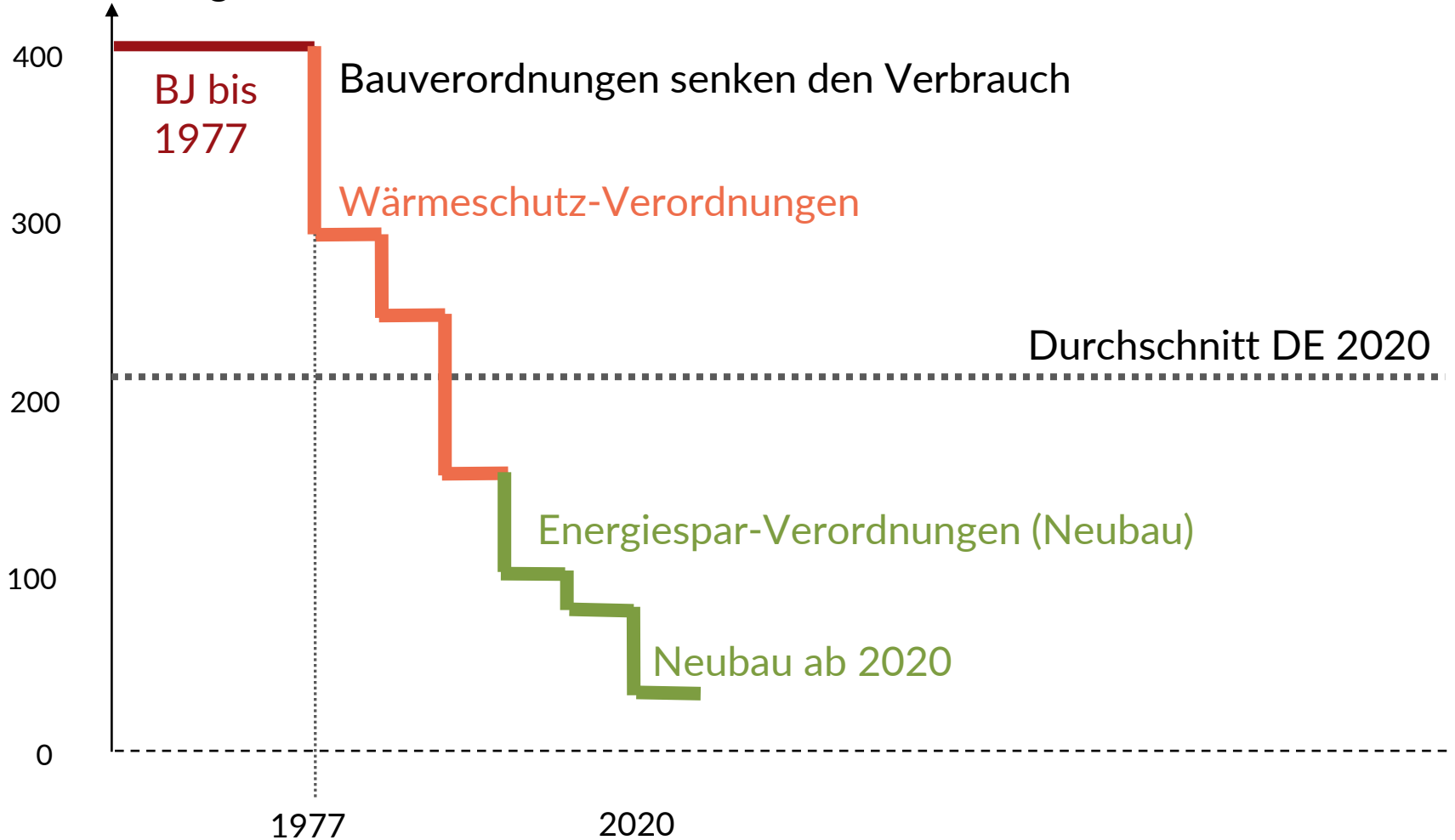
Primärenergiebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>·Jahr)]





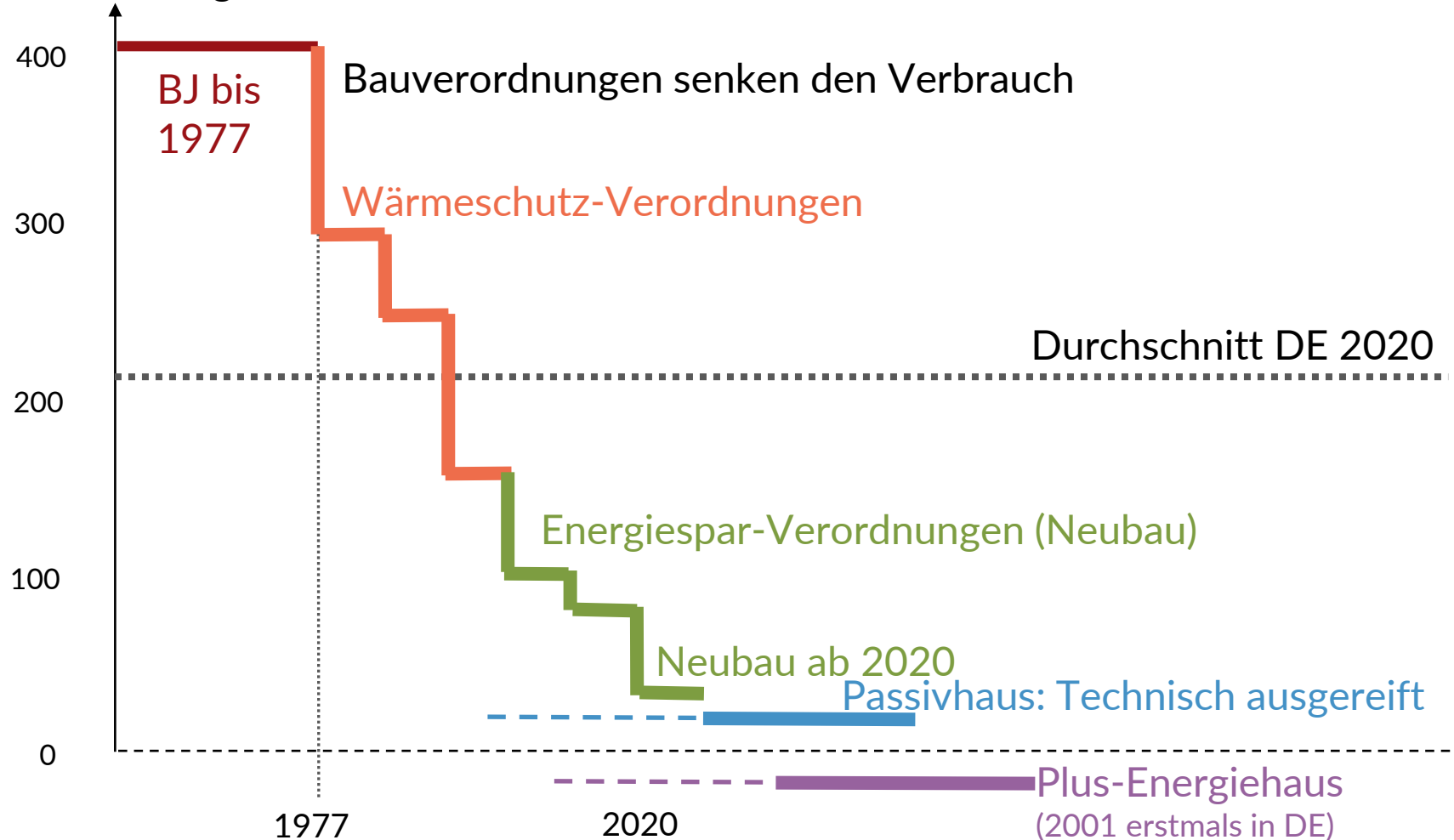
# Gebäude können wenig Energie verbrauchen

Primärenergiebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>·Jahr)]



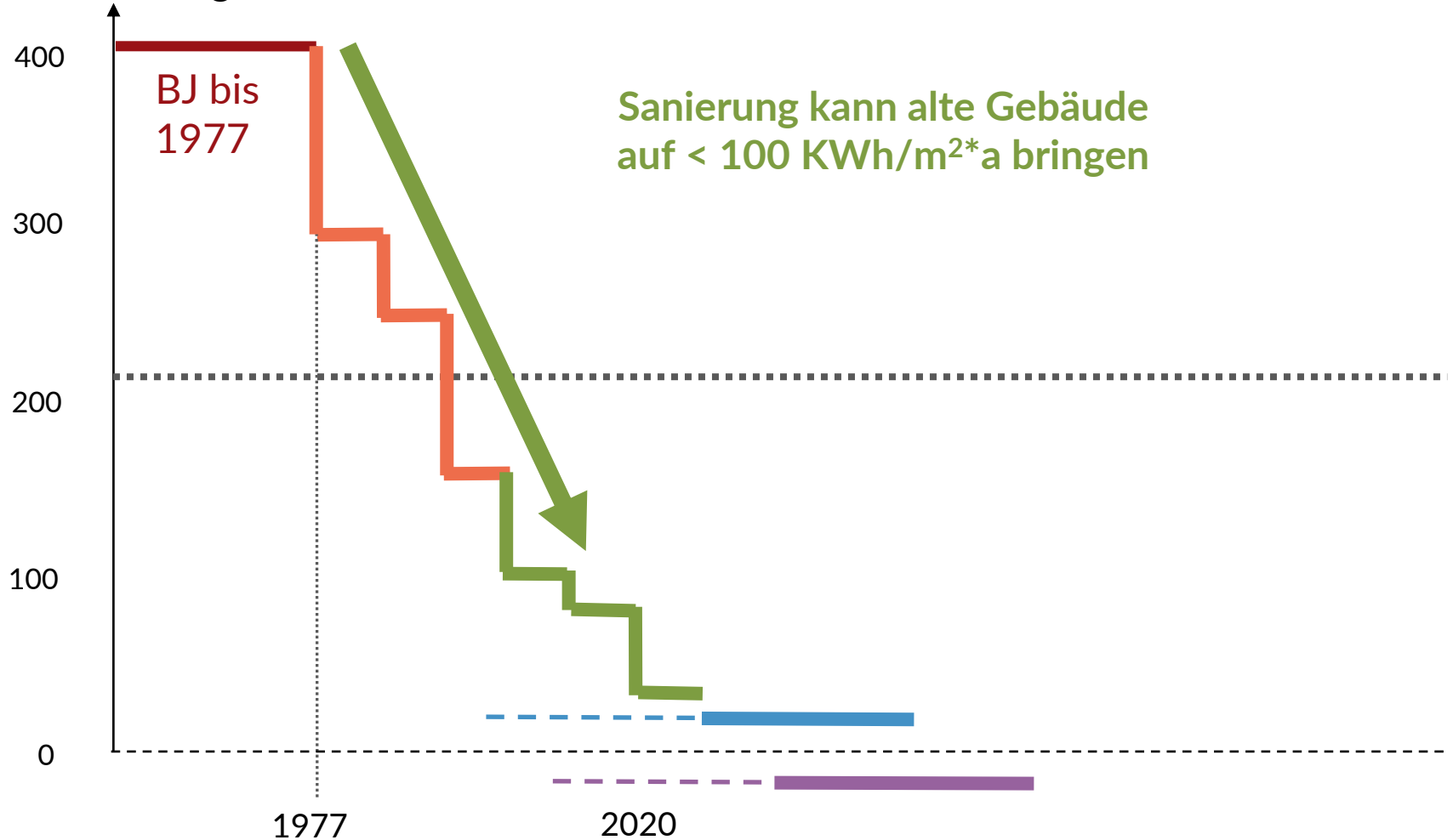
# Gebäude können wenig Energie verbrauchen

Primärenergiebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>·Jahr)]



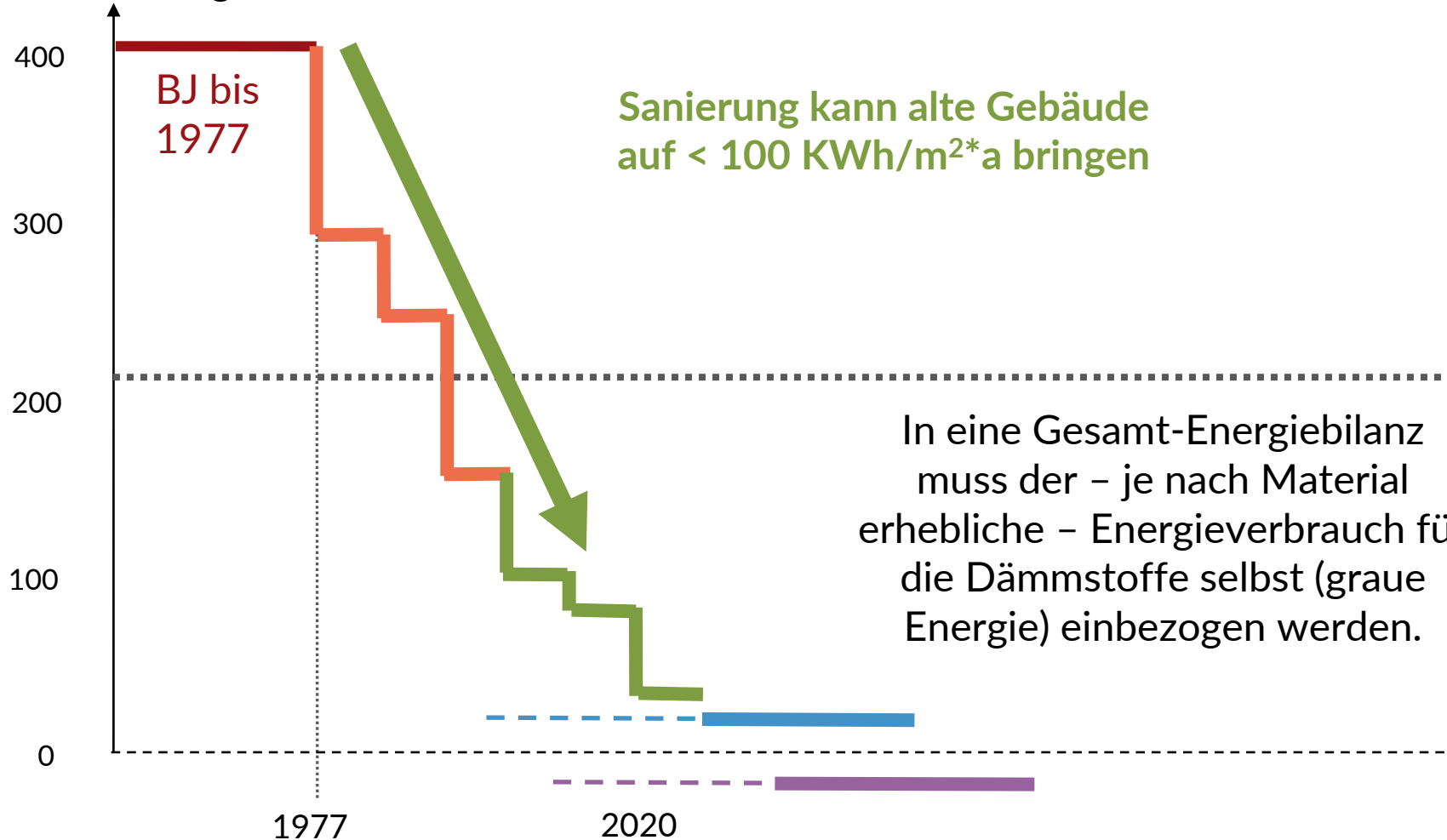
# Sanieren kann viel Energie sparen

Primärenergiebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>·Jahr)]

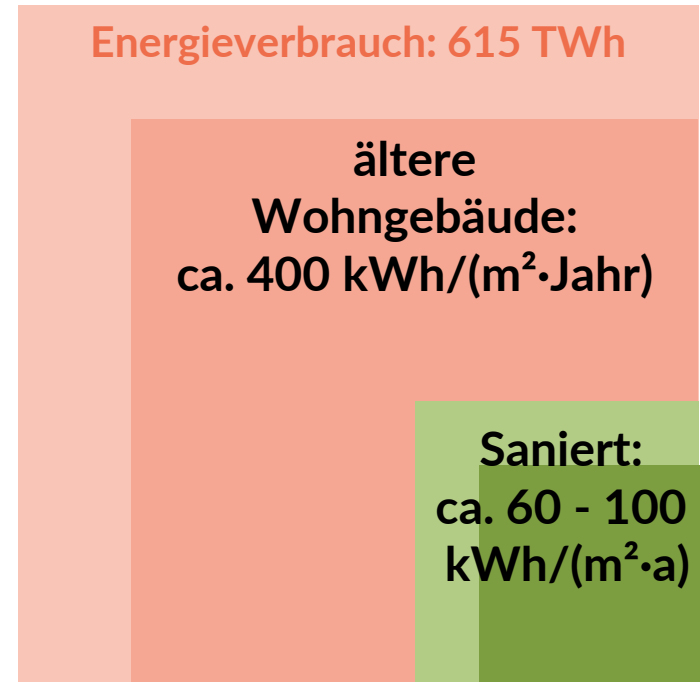
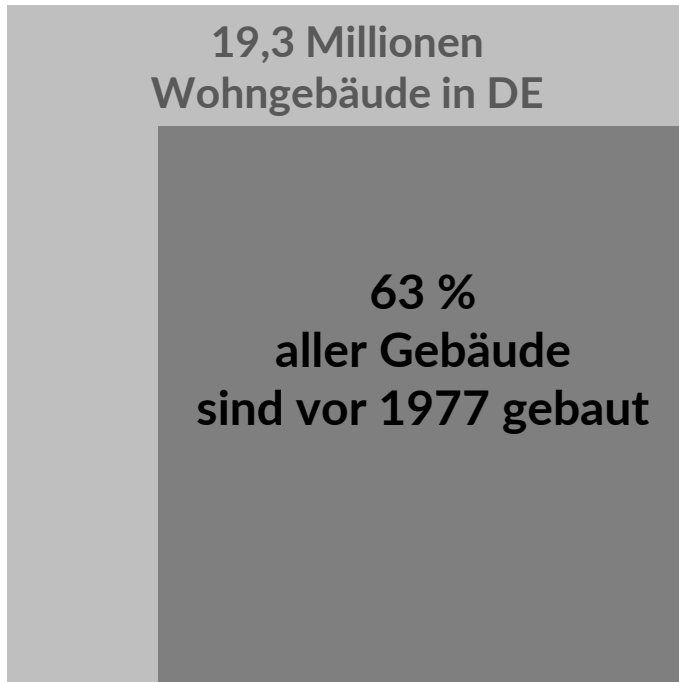


# Sanieren kann viel Energie sparen

Primärenergiebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>·Jahr)]



# Sanieren kann viel Energie sparen



In eine Gesamt-Energiebilanz muss der – je nach Material erhebliche – Energieverbrauch für die Dämmstoffe selbst (graue Energie) einbezogen werden.

# Graue Energie

Ein wichtiger Aspekt bei Gebäuden ist die so genannte graue Energie.

Damit wird der Energieverbrauch bezeichnet der zu Herstellung Lagerung, Transport, Verarbeitung und Entsorgung von Produkten aufgewendet wird.

In Baustoffen stecken erhebliche Mengen graue Energie.

Wenn man den Energieverbrauch von Gebäuden im Hinblick auf zu erreichende Klimaziele betrachtet, muss diese graue Energie in der gesamten Energiebilanz mit betrachtet werden.

Eine Stellungnahme dazu hier: <https://www.baustoffwissen.de/kategorie-ausbildung/azubi-ratgeber/hintergrundwissen/graue-energie-bei-baustoffen/>

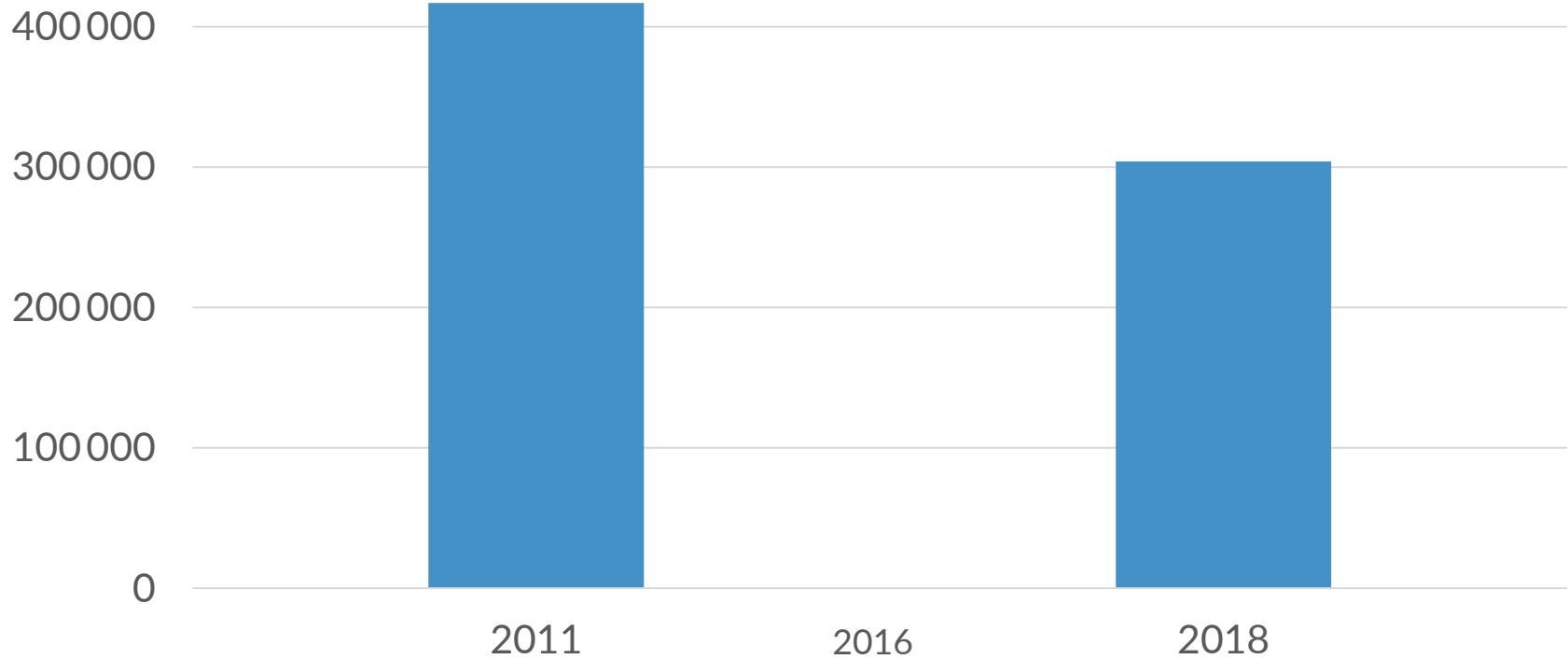
(Weitere Quellen in den Notizen)

**Arbeitsmarkt**

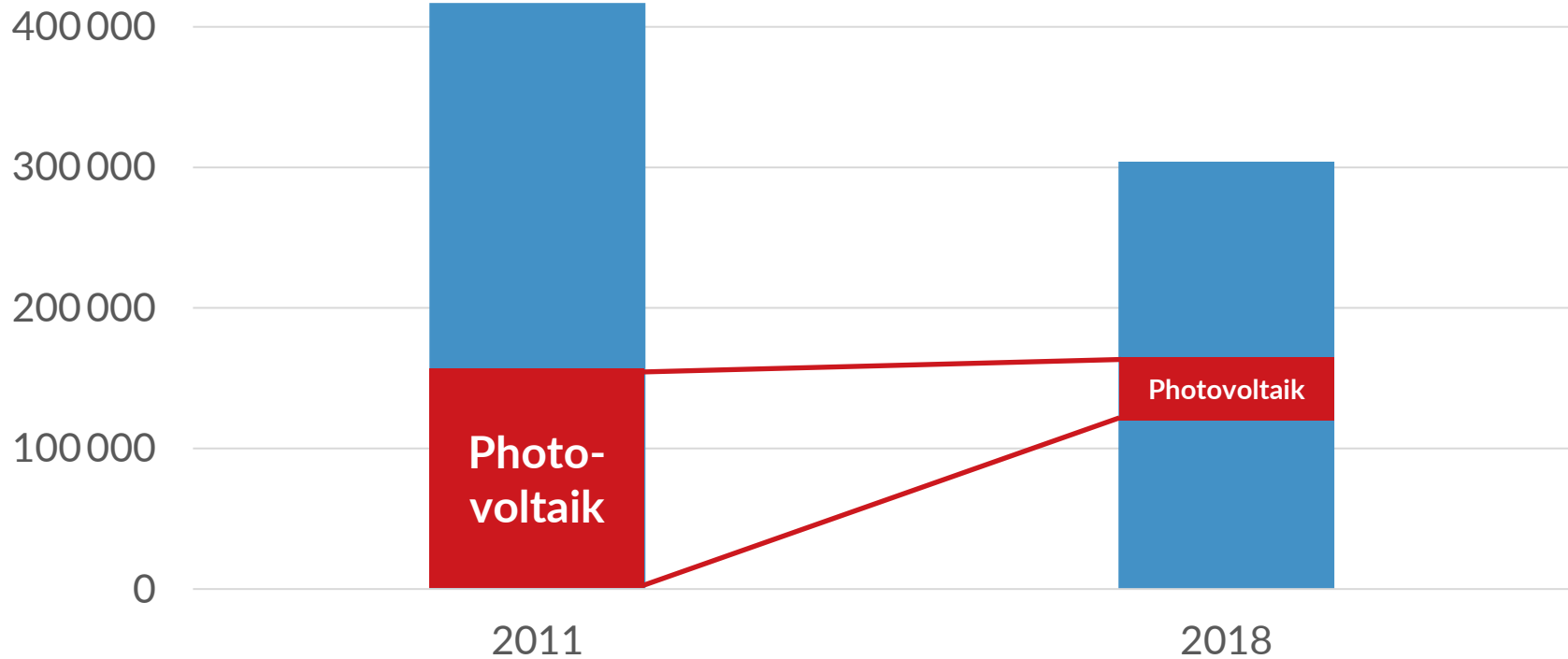
# **Wie wirkt die Energiewende auf Arbeitsplätze?**



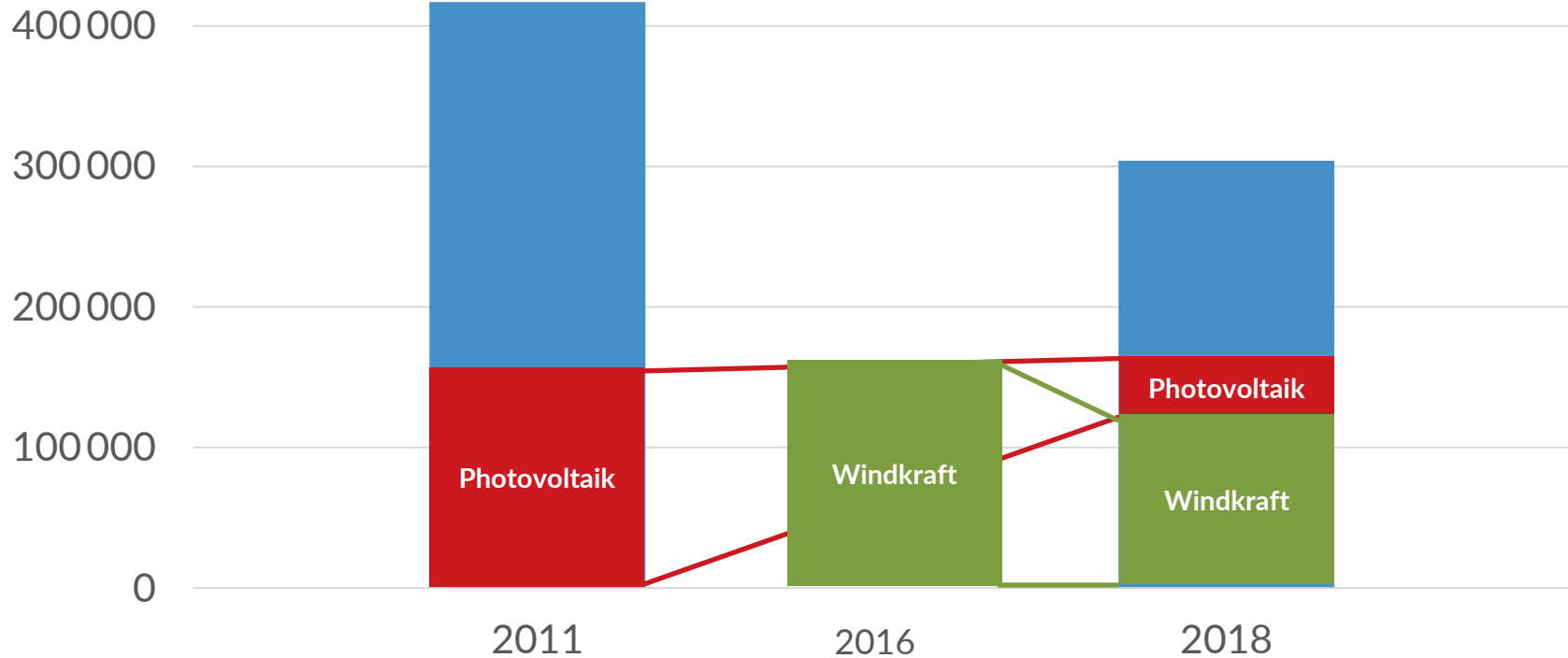
# Beschäftigte im Bereich erneuerbare Energien



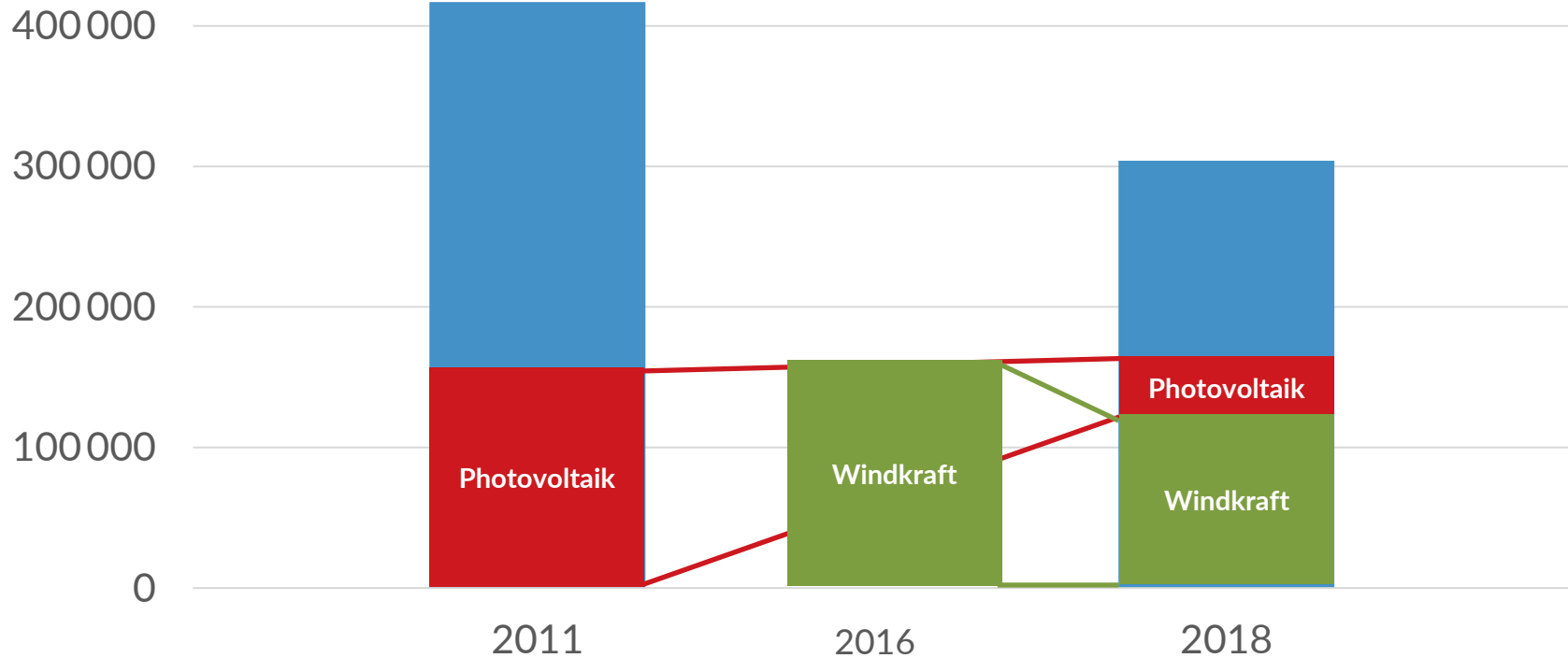
# Der Rückgang des PV-Ausbaus kostete Arbeitsplätze



# Der Rückgang des Windenergie-Ausbaus kostete Arbeitsplätze



# Der Rückgang des Windenergie-Ausbaus kostete Arbeitsplätze



# Beispielrechnung Arbeitskräfte bis 2030

Bis 2030 Aufbau von

- ca. 350 GW Photovoltaik (Zubau um ca. 300 GW)
- ca. 150 GW On- und Offshore-Windkraft (Zubau um ca. 85 GW)

# Beispielrechnung Arbeitskräfte bis 2030

Bis 2030 Aufbau von

- ca. 350 GW Photovoltaik (Zubau um ca. 300 GW)
  - ca. 150 GW On- und Offshore-Windkraft (Zubau um ca. 85 GW)
- Zunahme der Arbeitsplätze um mindestens 250 000 allein für Aufbau, Betrieb und Wartung

# Beispielrechnung Arbeitskräfte bis 2030

Bis 2030 Aufbau von

- **ca. 350 GW Photovoltaik (Zubau um ca. 300 GW)**
  - **ca. 150 GW On- und Offshore-Windkraft (Zubau um ca. 85 GW)**
- Zunahme der Arbeitsplätze um mindestens 250 000 allein für Aufbau, Betrieb und Wartung
- kann wegfallende Arbeitsplätze in der fossilen Energiebranche voraussichtlich mehr als kompensieren

# Beispielrechnung Arbeitskräfte bis 2030

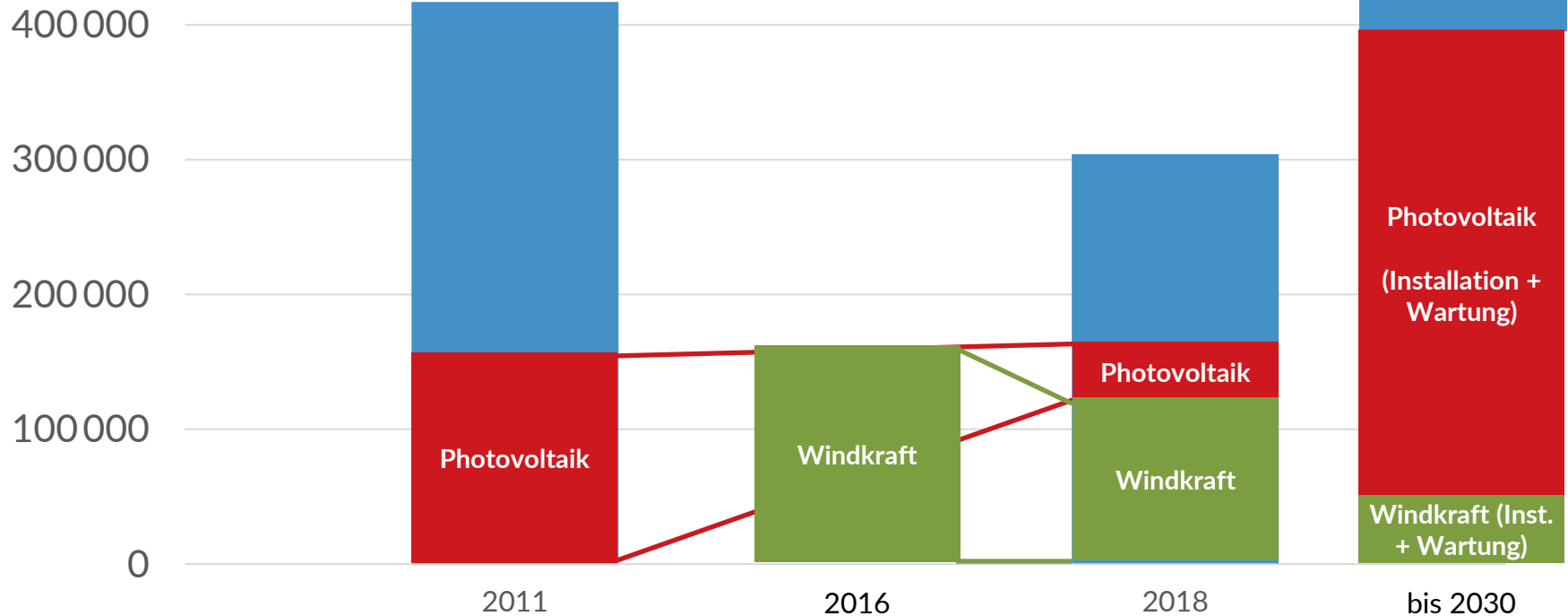
Bis 2030 Aufbau von

- **ca. 350 GW Photovoltaik (Zubau um ca. 300 GW)**
- **ca. 150 GW On- und Offshore-Windkraft (Zubau um ca. 85 GW)**

- Zunahme der Arbeitsplätze um mindestens 250 000 allein für Aufbau, Betrieb und Wartung
- kann wegfallende Arbeitsplätze in der fossilen Energiebranche voraussichtlich mehr als kompensieren
- Produktion, Forschung und Entwicklung sowie indirekte Arbeitsmarkteffekte noch nicht einbezogen



# Wenn Deutschland Wind und PV kräftig ausbaut...



# Rahmenbedingungen

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen
- Flexibilisierung der Windenergie-Abstandsregelung zu Wohn-, Gewerbe, Industrie- und Infrastruktur

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen
- Flexibilisierung der Windenergie-Abstandsregelung zu Wohn-, Gewerbe, Industrie- und Infrastruktur
- Entwicklung neuer Lösungen für die Berücksichtigung des Artenschutzes

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen
- Flexibilisierung der Windenergie-Abstandsregelung zu Wohn-, Gewerbe, Industrie- und Infrastruktur
- Entwicklung neuer Lösungen für die Berücksichtigung des Artenschutzes
- Verpflichtende Steigerung des Anteils CO<sub>2</sub>-neutraler Wärmequellen

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen
- Flexibilisierung der Windenergie-Abstandsregelung zu Wohn-, Gewerbe, Industrie- und Infrastruktur
- Entwicklung neuer Lösungen für die Berücksichtigung des Artenschutzes
- Verpflichtende Steigerung des Anteils CO<sub>2</sub>-neutraler Wärmequellen
- Absicherung von Risiken bei der Erschließung geothermischer Wärmepotenziale oder Einbindung von Abwärme



# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen
- Flexibilisierung der Windenergie-Abstandsregelung zu Wohn-, Gewerbe, Industrie- und Infrastruktur
- Entwicklung neuer Lösungen für die Berücksichtigung des Artenschutzes
- Verpflichtende Steigerung des Anteils CO<sub>2</sub>-neutraler Wärmequellen
- Absicherung von Risiken bei der Erschließung geothermischer Wärmepotenziale oder Einbindung von Abwärme
- Sozial ausgewogene Anpassung des Mietrechts, das heute Gebäudesanierungen hemmt

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen
- Flexibilisierung der Windenergie-Abstandsregelung zu Wohn-, Gewerbe, Industrie- und Infrastruktur
- Entwicklung neuer Lösungen für die Berücksichtigung des Artenschutzes
- Verpflichtende Steigerung des Anteils CO<sub>2</sub>-neutraler Wärmequellen
- Absicherung von Risiken bei der Erschließung geothermischer Wärmepotenziale oder Einbindung von Abwärme
- Sozial ausgewogene Anpassung des Mietrechts, das heute Gebäudesanierungen hemmt
- Vereinfachung von Photovoltaik-Mieterstromregeln

# Beispiele für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

- Änderung des Raumplanungsprozesses, um schnellere und dennoch naturverträgliche Genehmigungsverfahren für Wind- und Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen zu erreichen
- Flexibilisierung der Windenergie-Abstandsregelung zu Wohn-, Gewerbe, Industrie- und Infrastruktur
- Entwicklung neuer Lösungen für die Berücksichtigung des Artenschutzes
- Verpflichtende Steigerung des Anteils CO<sub>2</sub>-neutraler Wärmequellen
- Absicherung von Risiken bei der Erschließung geothermischer Wärmepotenziale oder Einbindung von Abwärme
- Sozial ausgewogene Anpassung des Mietrechts, das heute Gebäudesanierungen hemmt
- Vereinfachung von Photovoltaik-Mieterstromregeln
- Ermöglichung der Kombination von Agrarbeihilfen mit dem Betrieb von Agri-Photovoltaik-Anlagen.

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

Fundierte Informationen

Politik

Transparente Kommunikation

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

Fundierte Informationen

Politik

Transparente Kommunikation

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

Fundierte Informationen

Politik

Transparente Kommunikation

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

**Fundierte Informationen**

**Politik**

**Transparente Kommunikation**

**Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit**

**Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)**

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

**Fundierte Informationen**

**Politik**

**Transparente Kommunikation**

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)

Marktmodell anpassen (Preisstruktur, Steuer, Abgaben...)



# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

**Fundierte Informationen**

**Politik**

**Transparente Kommunikation**

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)

Marktmodell anpassen (Preisstruktur, Steuer, Abgaben...)

Soziale und ökologische Zielkonflikte auflösen

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

**Fundierte Informationen**

**Politik**

**Transparente Kommunikation**

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)

Marktmodell anpassen (Preisstruktur, Steuer, Abgaben...)

Soziale und ökologische Zielkonflikte auflösen

**Bürger\*innen**

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

**Fundierte Informationen**

**Politik**

**Transparente Kommunikation**

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)

Marktmodell anpassen (Preisstruktur, Steuer, Abgaben...)

Soziale und ökologische Zielkonflikte auflösen

**Bürger\*innen**

**Unternehmen**

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

Fundierte Informationen

Politik

Transparente Kommunikation

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)

Marktmodell anpassen (Preisstruktur, Steuer, Abgaben...)

Soziale und ökologische Zielkonflikte auflösen

Bürger\*innen

Unternehmen

Investitionen

*Gebäudesanierung, E-Autos, Wind- & Solarkraftwerke, Speicher ...*

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

Fundierte Informationen

Politik

Transparente Kommunikation

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)

Marktmodell anpassen (Preisstruktur, Steuer, Abgaben...)

Soziale und ökologische Zielkonflikte auflösen

**Bürger\*innen**

**Unternehmen**

**Investitionen**

*Gebäudesanierung, E-Autos, Wind- & Solarkraftwerke, Speicher ...*

**Fachkräfte**

*Unternehmensgründung, Einstellung, Ausbildung, Umschulung ...*

# Energiewende ist ein Gemeinschaftsprojekt !

Fundierte Informationen

Politik

Transparente Kommunikation

Ziele, Rahmenbedingungen, Planungssicherheit

Infrastruktur beauftragen (z. B. Stromnetz, Schienennetz...)

Marktmodell anpassen (Preisstruktur, Steuer, Abgaben...)

Soziale und ökologische Zielkonflikte auflösen

**Bürger\*innen**

**Unternehmen**

**Investitionen**

*Gebäudesanierung, E-Autos, Wind- & Solarkraftwerke, Speicher ...*

**Fachkräfte**

*Unternehmensgründung, Einstellung, Ausbildung, Umschulung ...*

**Initiative**

*kommt nur bei hoher Zustimmung und finanzieller Teilhabe!*

# **Zusätzliche Folien**

**Wasserstoff**



# Wasserstoff-Szenarien

Einige Arbeiten nehmen für grünen Wasserstoff sehr große Importmengen an. Sie setzen daher Wasserstoff und Folgeprodukte entsprechend umfangreich ein – teilweise sogar für Heizzwecke.

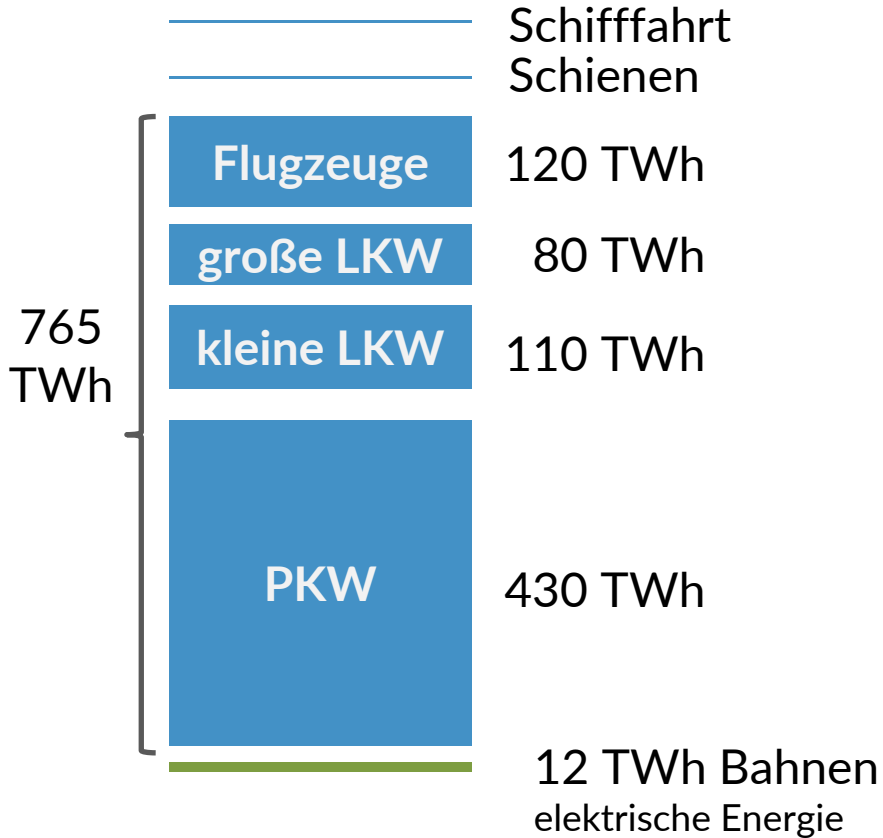
Andere Arbeiten halten die Herstellung so großer Mengen in – angesichts der Klimakrise – knapper Zeit für unrealistisch. Sie nutzen daher wo immer möglich direkte Elektrifizierung und Wasserstoff und Folgeprodukte nur dort wo es schwer vermeidbar ist.

Auf den folgenden Folien werden einige Beispiele – nach Vorschlägen von Scientists for Future – für den zweiten Fall gezeigt.



# Wasserstoff und Synthetische für Teilbereiche der Mobilität

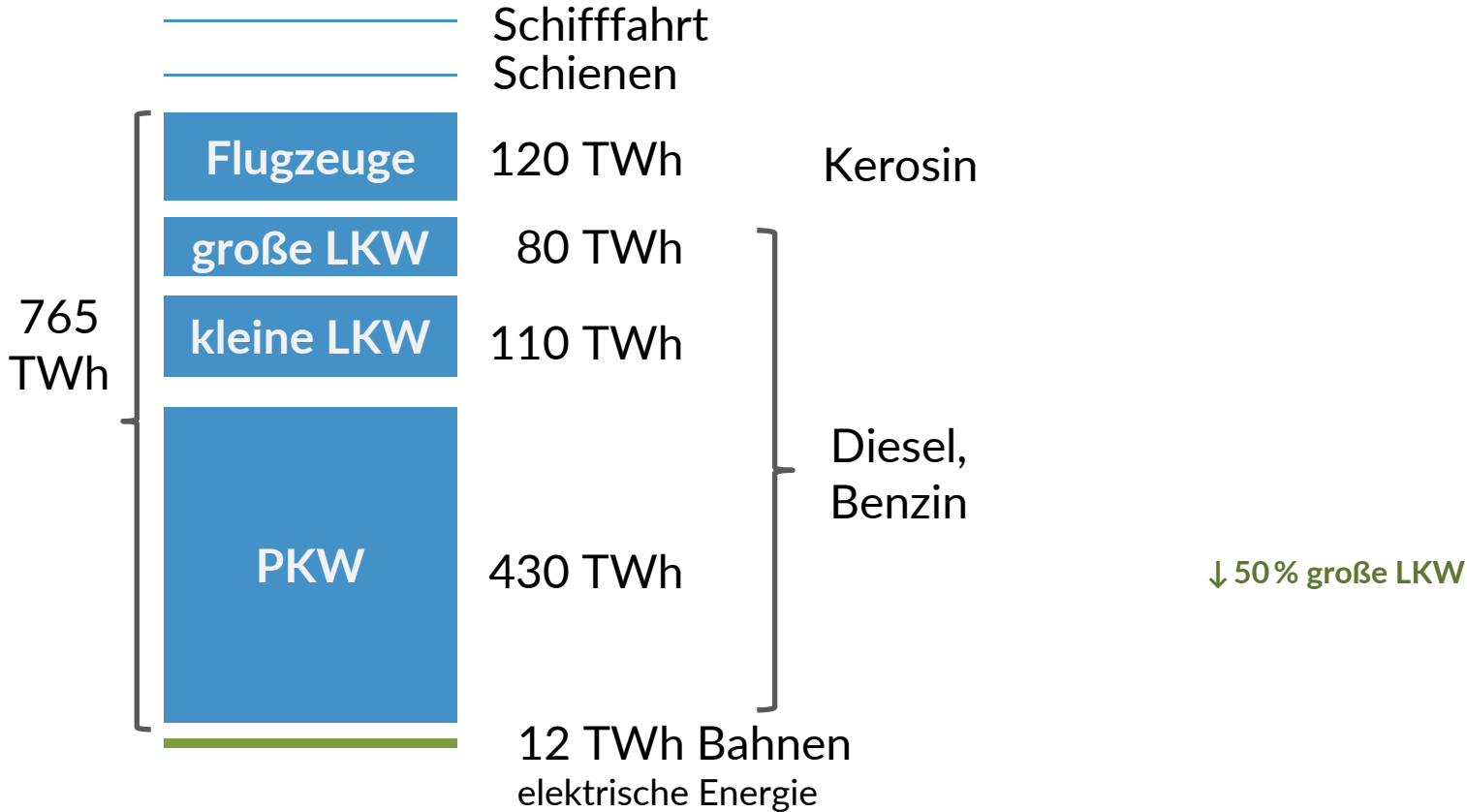
Stand 2017 (nach Scientists for Future 2021)



↓ 50% große LKW

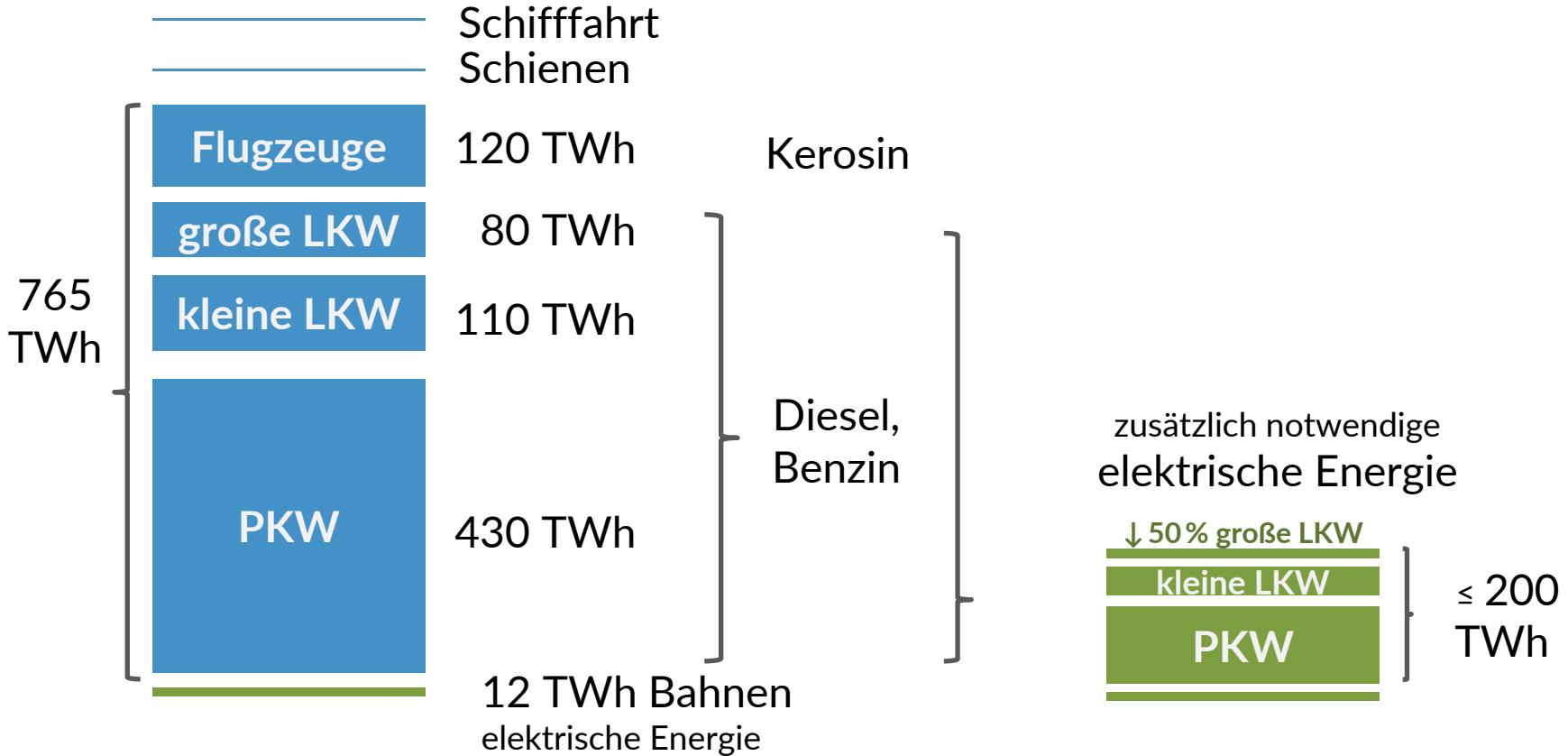
# Wasserstoff und Synthetische für Teilbereiche der Mobilität

Stand 2017 (nach Scientists for Future 2021)



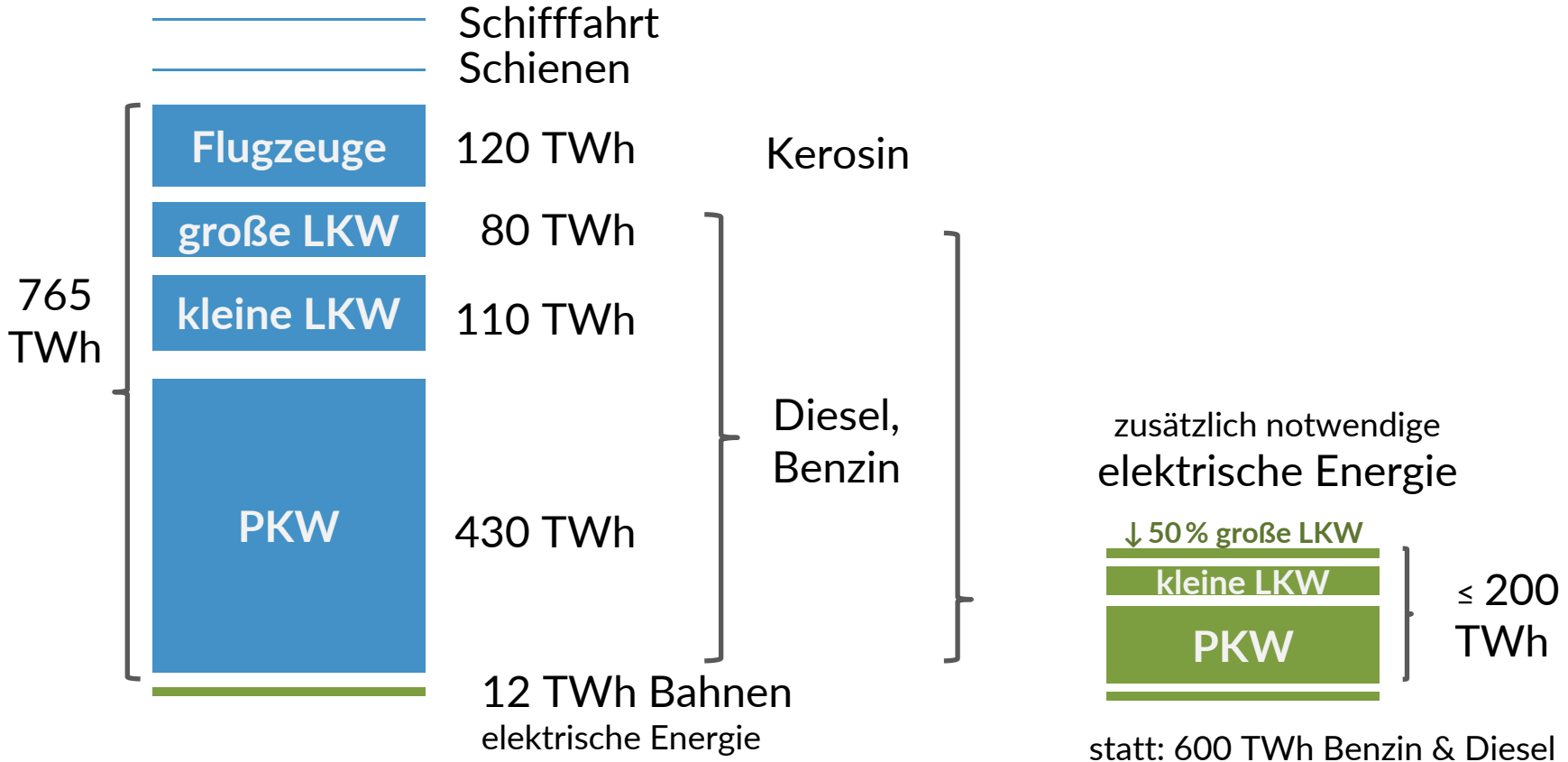
# Wasserstoff und Synthetische für Teilbereiche der Mobilität

Stand 2017 (nach Scientists for Future 2021)



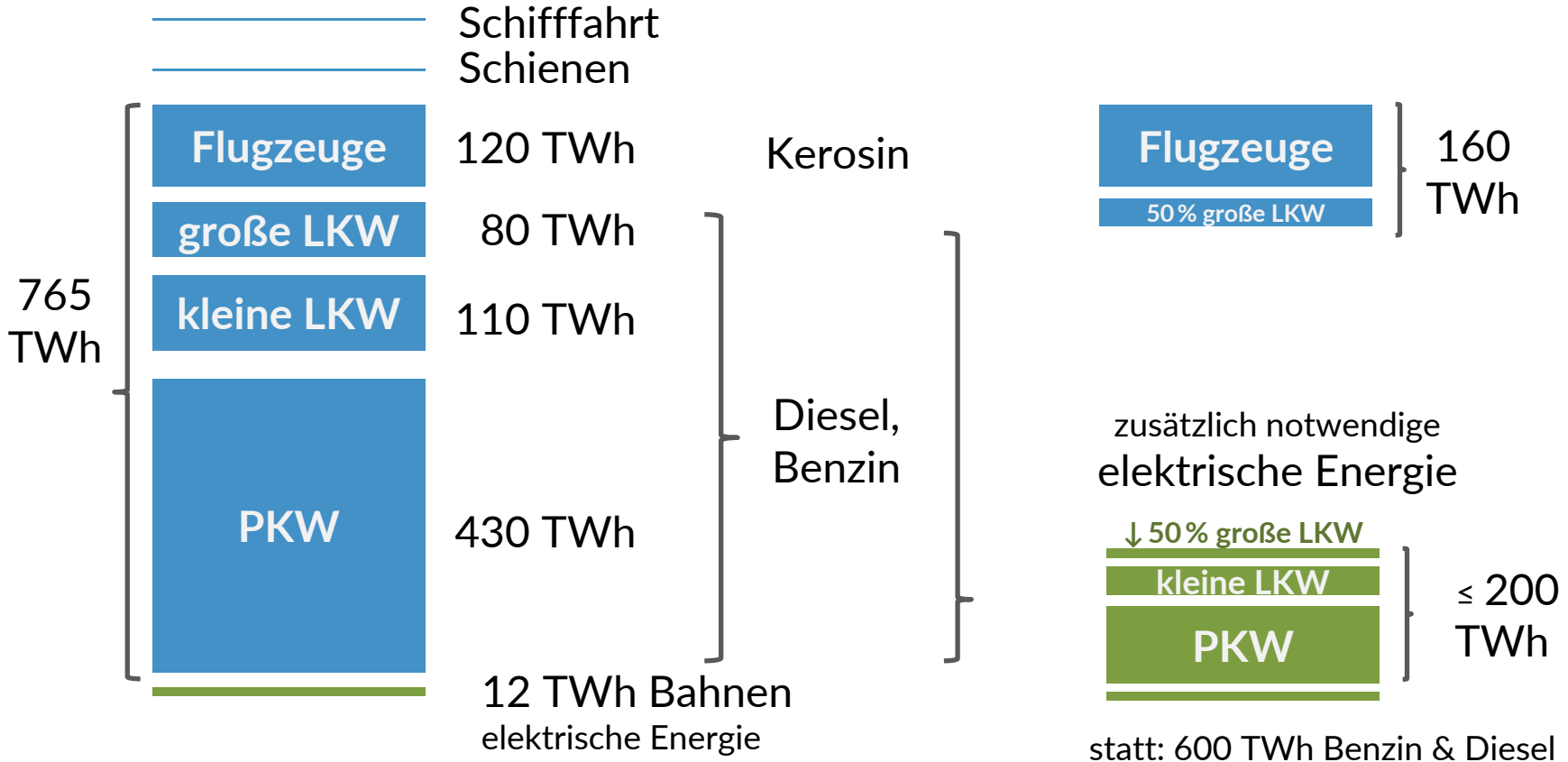
# Wasserstoff und Synthetische für Teilbereiche der Mobilität

Stand 2017 (nach Scientists for Future 2021)



# Wasserstoff und Synthetische für Teilbereiche der Mobilität

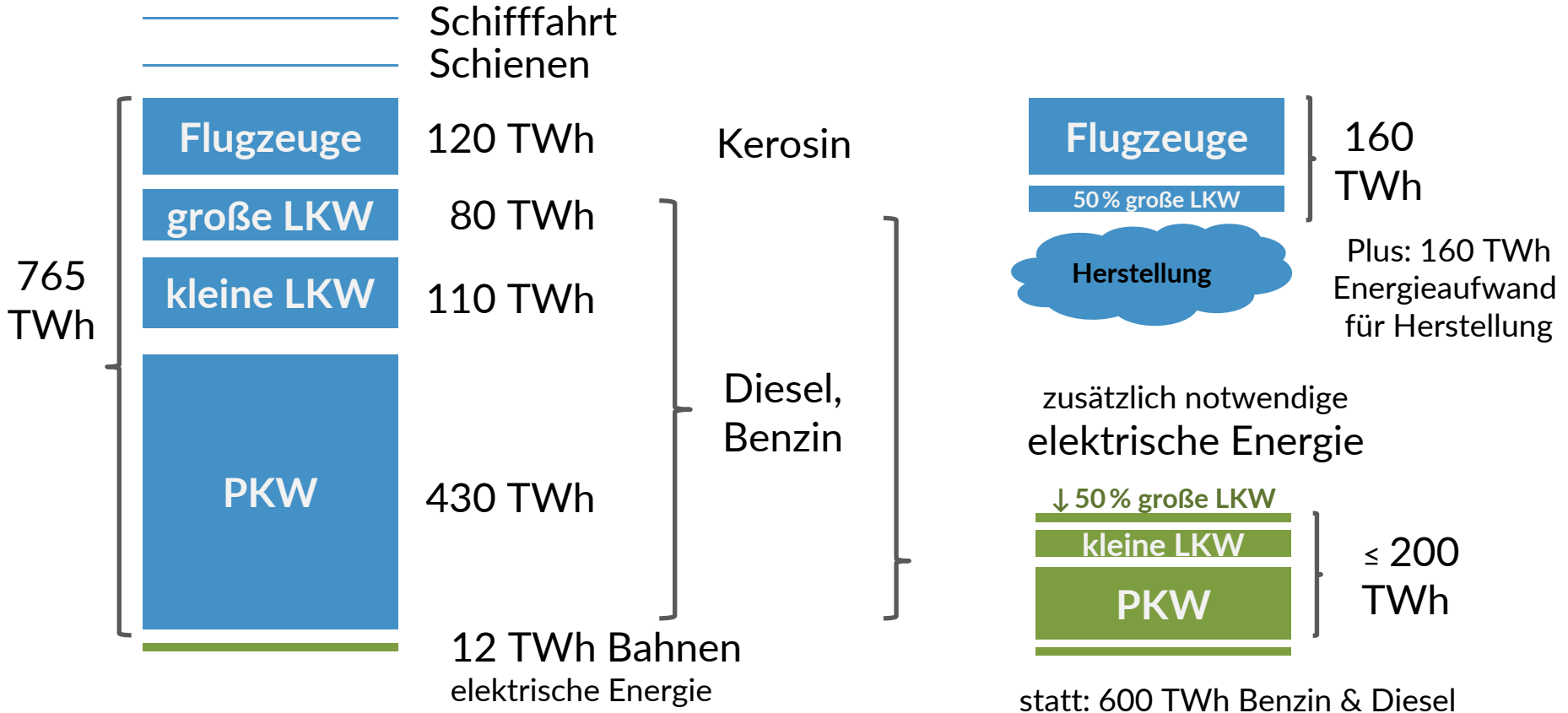
Stand 2017 (nach Scientists for Future 2021)



# Wasserstoff und Synthetische für Teilbereiche der Mobilität

(nach Scientists for Future 2021)

Stand 2017

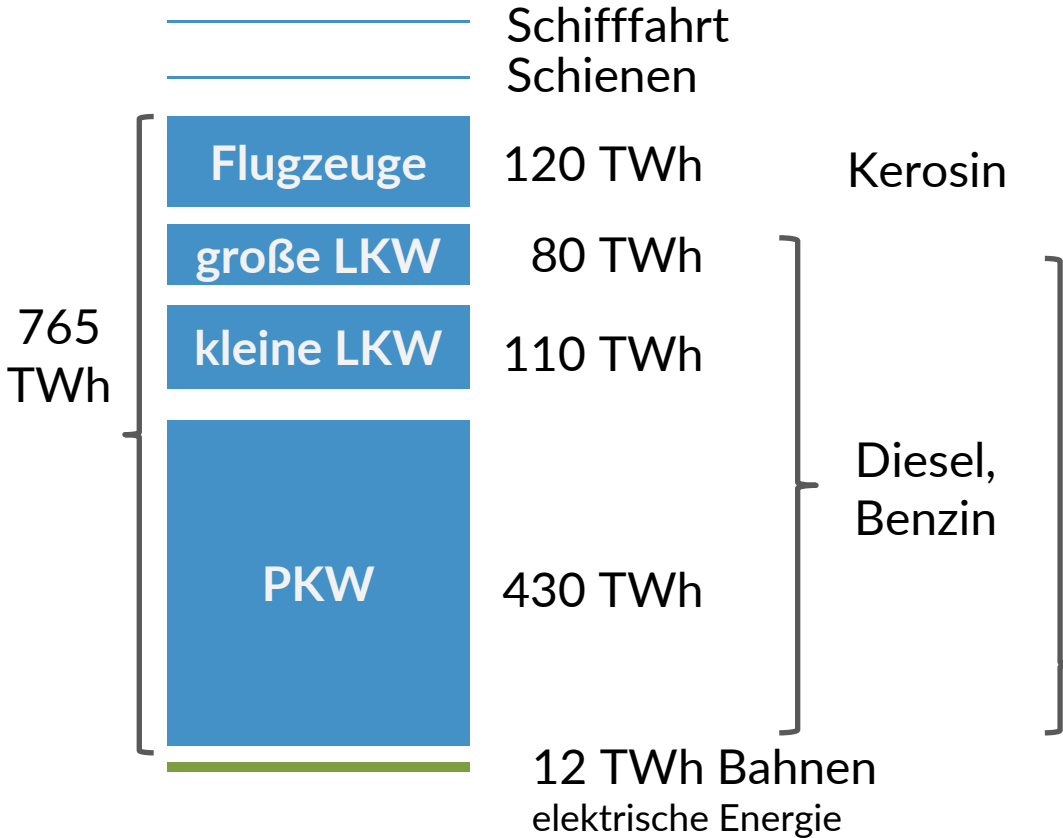




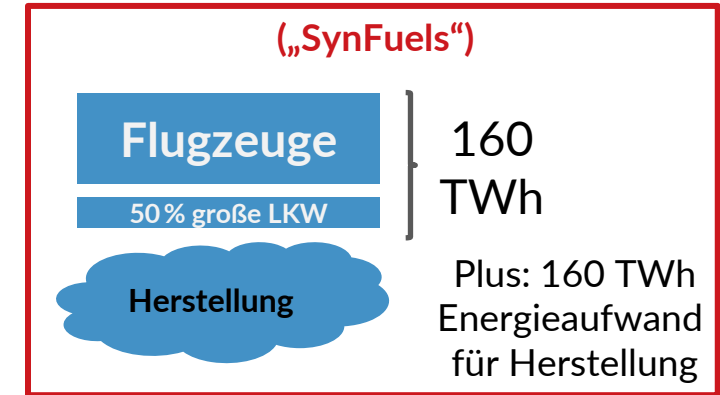
# Wasserstoff und Synthetische für Teilbereiche der Mobilität

(nach Scientists for Future 2021)

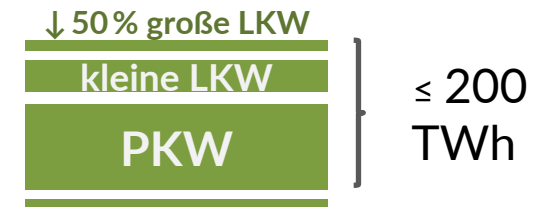
Stand 2017



## H<sub>2</sub> & synthetische Treibstoffe („SynFuels“)

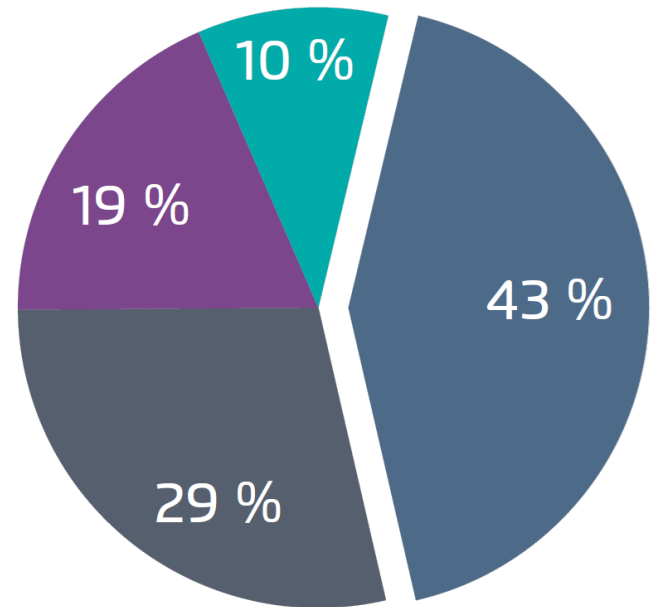


zusätzlich notwendige elektrische Energie



statt: 600 TWh Benzin & Diesel

# Wasserstoff für Chemie und Stahl

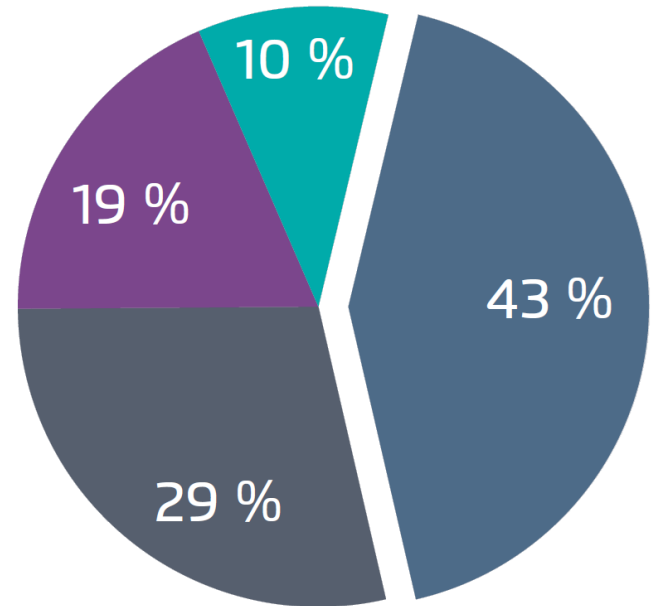


# Wasserstoff für Chemie und Stahl

## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen



# Wasserstoff für Chemie und Stahl

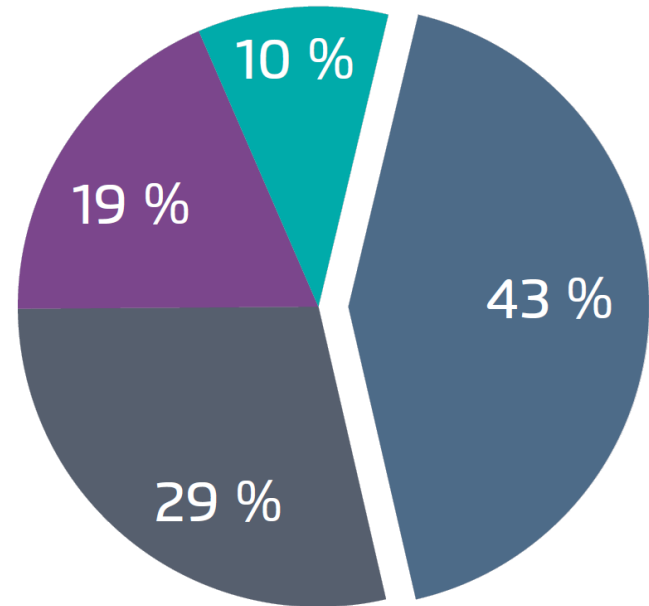
## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse → H<sub>2</sub>
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen



# Wasserstoff für Chemie und Stahl

## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse → H<sub>2</sub>
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

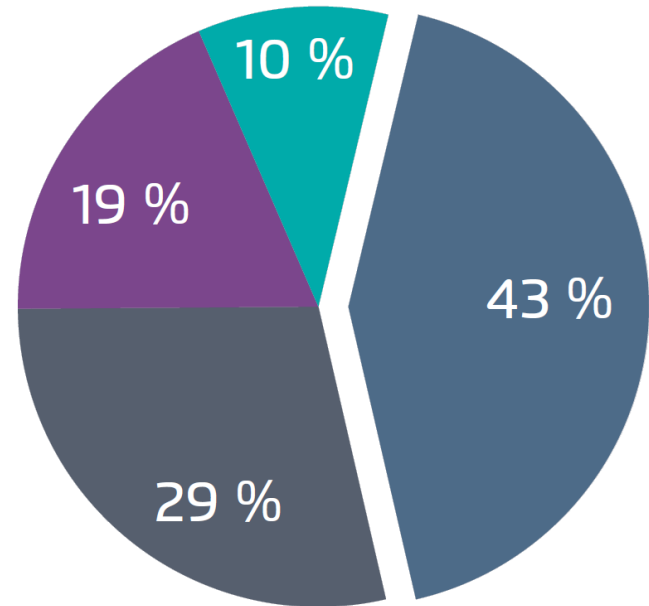
## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen

## Zement

- Reduzierung des Zementbedarfs
- Nutzung alternative Materialien
- alternative Bindemittel



# Wasserstoff für Chemie und Stahl

## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse → H<sub>2</sub>
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

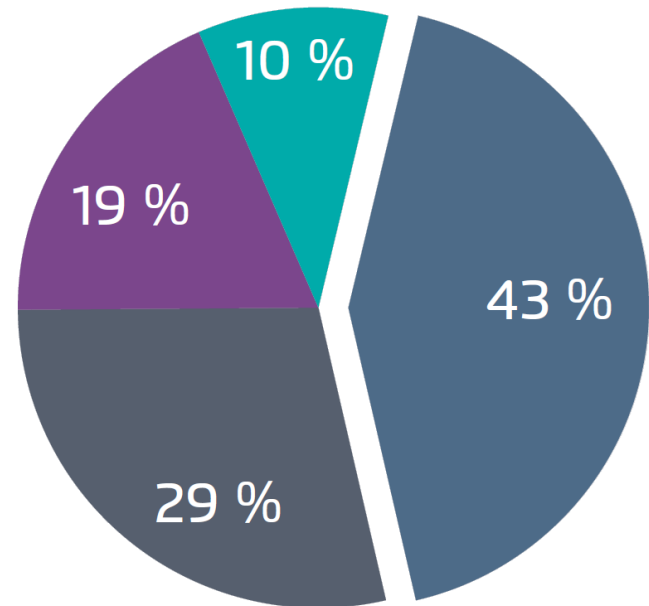
- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen

+ CO<sub>2</sub>-Abscheidung

Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019

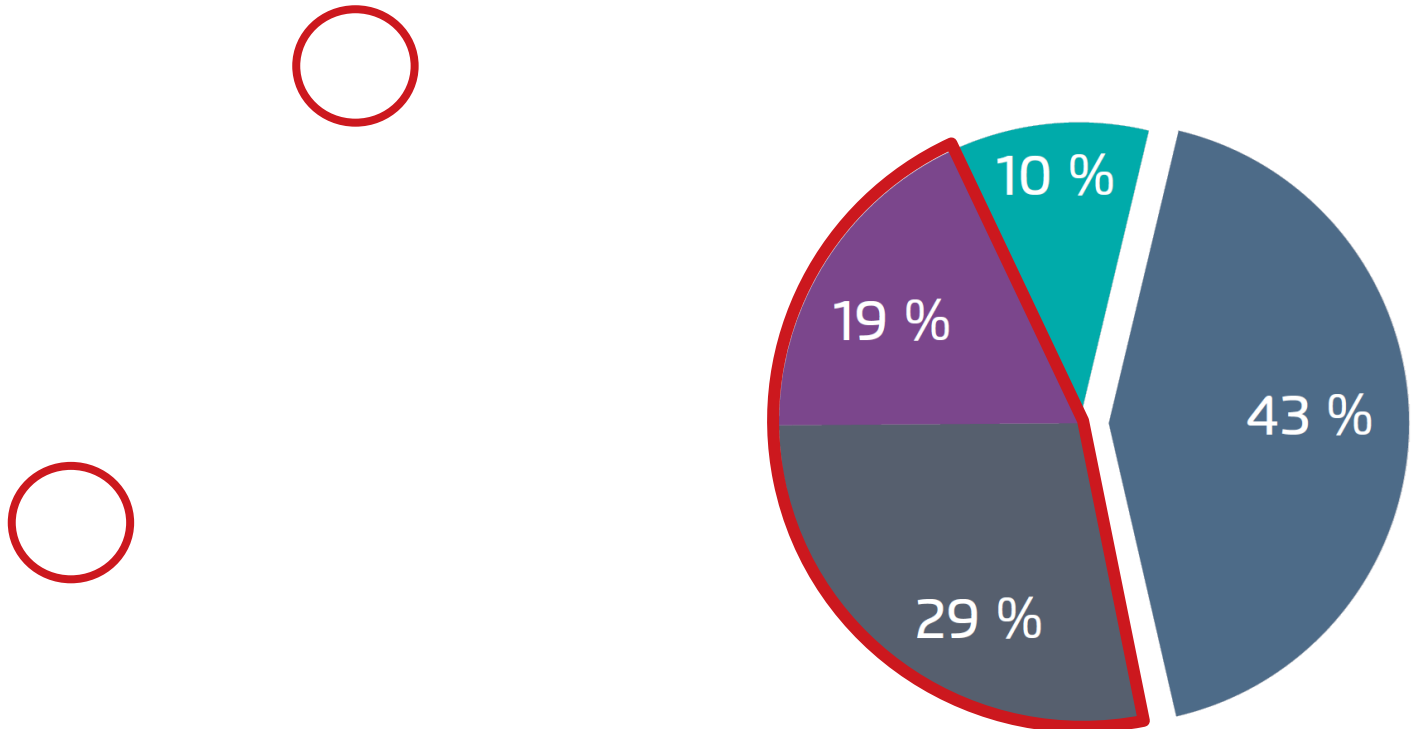
## Zement

- Reduzierung des Zementbedarfs
- Nutzung alternative Materialien
- alternative Bindemittel



Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019  
Darstellung: SOLAR.UNI-KASSEL.DE

# Wasserstoff für Chemie und Stahl



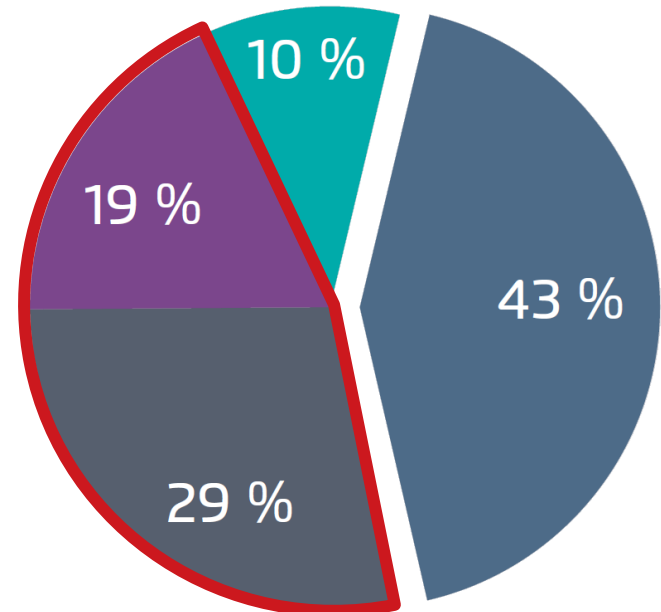
# Wasserstoff für Chemie und Stahl



## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem  $H_2$  (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen





# Wasserstoff für Chemie und Stahl

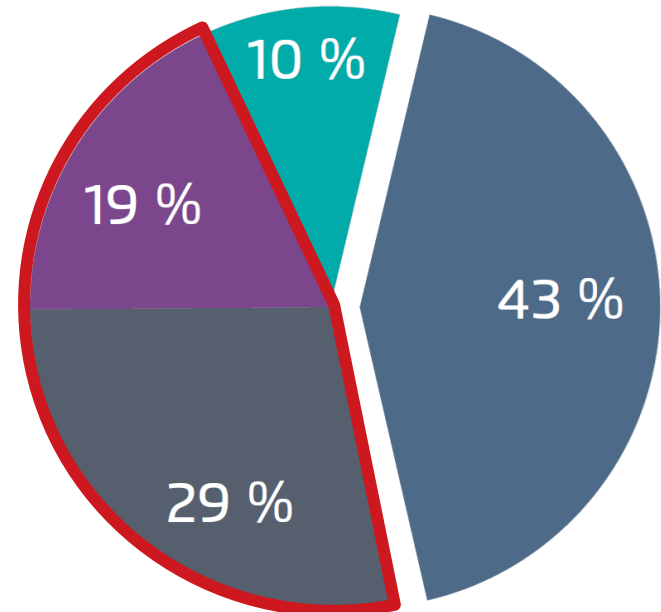
## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse →  $H_2$
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem  $H_2$  (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen



# Wasserstoff für Chemie und Stahl

## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse →  $H_2$
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

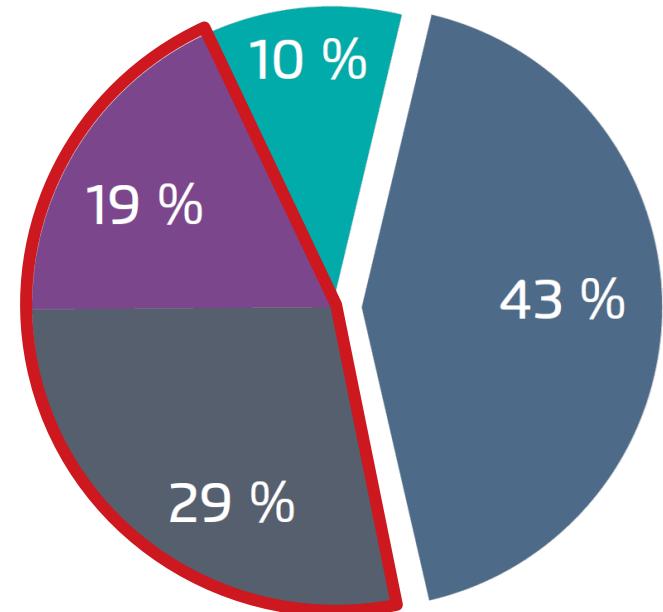
## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem  $H_2$  (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen

## Zement

- Reduzierung des Zementbedarfs
- Nutzung alternative Materialien
- alternative Bindemittel



# Wasserstoff für Chemie und Stahl

## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse →  $H_2$
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

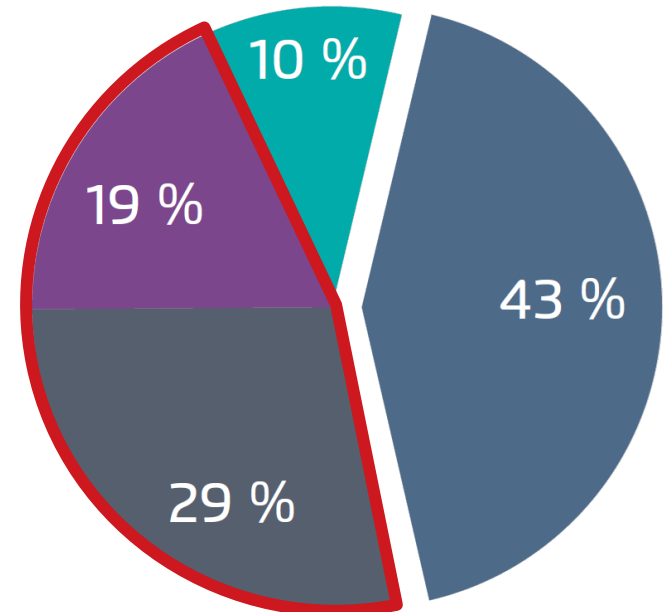
- mit grünem  $H_2$  (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen

+  $CO_2$ -Abscheidung

Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019

## Zement

- Reduzierung des Zementbedarfs
- Nutzung alternative Materialien
- alternative Bindemittel



Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019  
Darstellung: SOLAR.UNI-KASSEL.DE

# **Energieimporte Deutschland**

# Energieimporte

Die Strategie, große Mengen an erneuerbaren Energien in Form von Strom oder synthetischen Energieträgern (einschließlich Wasserstoff und sogenannte „E-Fuels“) zu importieren, birgt Chancen und Risiken. Diese müssen abgewogen werden. Für Importe sind z. B. sehr hohe Investitionen für die Erzeugungs- und Transportinfrastruktur im Ausland nötig. Weiter besteht ein Sicherheitsrisiko, von Importen abhängig zu sein, und ein Kostenrisiko, dass die Importe sehr teuer werden, falls besonders viele Länder erneuerbare Energie importieren wollen. Darüber hinaus sind Importe in großen Mengen nur dann sinnvoll, wenn sichergestellt ist, dass die Energieversorgung auch in den Exportländern klima-, umwelt- und sozialverträglich ist. Die Chancen hoher Importmengen liegen vor allem in größerer Flächenverfügbarkeit, teilweise höherer solarer Einstrahlung bzw. höherem Windertragspotential sowie bisweilen höherer gesellschaftlicher Innovationsdynamik für den Ausbau einer klimaverträglichen Energieversorgung in anderen Ländern.

# Was kann importiert werden

# Was kann importiert werden

Elektrische Energie

# Was kann importiert werden

Elektrische Energie

Wasserstoff (H<sub>2</sub>)



# Was kann importiert werden

Elektrische Energie

Wasserstoff (H<sub>2</sub>)

Grünes Methan („Erdgas-Ersatz“)

# Was kann importiert werden

Elektrische Energie

Wasserstoff (H<sub>2</sub>)

Grünes Methan („Erdgas-Ersatz“)

**Synthetische flüssige Treibstoffe:**

- Syn-Fuels (Kohlenstoff basiert)
- Ammoniak

# **Energieimporte – Chancen**

**Viele Studien rechnen mit umfangreichen Importen aufgrund**

# Energieimporte – Chancen

Viele Studien rechnen mit umfangreichen Importen aufgrund genereller Chancen:

- + höhere Flächenverfügbarkeit im Ausland
- + höhere Akzeptanz der Bevölkerung in Deutschland
- + niedrigere Gestehungskosten (der elektrischen Energie) durch besseres Dargebot
- + niedrigere Kosten H<sub>2</sub> und Syn-Fuels

# Energieimporte – Chancen

**Viele Studien rechnen mit umfangreichen Importen aufgrund genereller Chancen:**

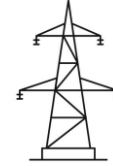
- + höhere Flächenverfügbarkeit im Ausland
- + höhere Akzeptanz der Bevölkerung in Deutschland
- + niedrigere Gestehungskosten (der elektrischen Energie) durch besseres Dargebot
- + niedrigere Kosten H<sub>2</sub> und Syn-Fuels

**Studien arbeiten mit der These:**

→ Deutschland kann sich nicht selber versorgen

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz

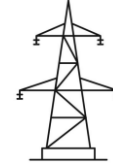
Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:

Dänemark (offshore Wind),

Frankreich (Wind), Polen (Wind)

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz

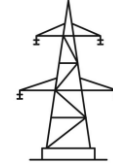
Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind),  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)



Freepic.com

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz

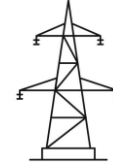
Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind),  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)





# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz

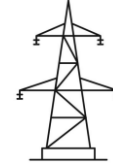
Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind),  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)



1 500 km, 5 GW  
Als Kabel: 25 Mrd. Euro  
→ 4 ct/kWh

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind),  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)

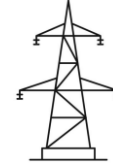


1 500 km, 5 GW  
Als Kabel: 25 Mrd. Euro  
→ 4 ct/kWh

Als Freileitung: 4 500 Masten

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind),  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)

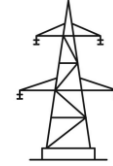


1 500 km, 5 GW  
Als Kabel: 25 Mrd. Euro  
→ 4 ct/kWh

Als Freileitung: 4 500 Masten  
**ODER**  
Windanlagen: 3 500

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz  
**hoch**

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind),  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)

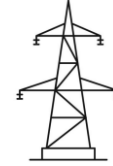


1 500 km, 5 GW  
Als Kabel: 25 Mrd. Euro  
→ 4 ct/kWh

Als Freileitung: 4 500 Masten  
**ODER**  
Windanlagen: 3 500

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz  
**hoch** **fraglich**

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind),  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)

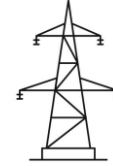


1 500 km, 5 GW  
Als Kabel: 25 Mrd. Euro  
→ 4 ct/kWh

Als Freileitung: 4 500 Masten  
**ODER**  
Windanlagen: 3 500

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz  
hoch fraglich

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:  
Dänemark (offshore Wind), absehbar  
Frankreich (Wind), Polen (Wind)

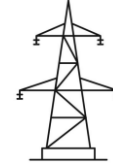


1 500 km, 5 GW  
Als Kabel: 25 Mrd. Euro  
→ 4 ct/kWh

Als Freileitung: 4 500 Masten  
**ODER**  
Windanlagen: 3 500

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz  
hoch fraglich

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:

Dänemark (offshore Wind), absehbar

Frankreich (Wind), Polen (Wind)

Realisierung nicht absehbar



1 500 km, 5 GW

Als Kabel: 25 Mrd. Euro

→ 4 ct/kWh

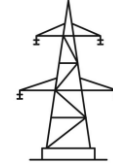
Als Freileitung: 4 500 Masten

**ODER**

Windanlagen: 3 500

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz  
**hoch fraglich**

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:

Dänemark (offshore Wind), **absehbar**

Frankreich (Wind), Polen (Wind)

**Realisierung nicht absehbar**

Transit durch / Import aus Ländern  
mit noch fossiler Strom-Erzeugung



1 500 km, 5 GW

Als Kabel: 25 Mrd. Euro

→ 4 ct/kWh

Als Freileitung: 4 500 Masten

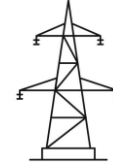
**ODER**

Windanlagen: 3 500



# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz  
**hoch fraglich**

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:

Dänemark (offshore Wind), **absehbar**

Frankreich (Wind), Polen (Wind)

**Realisierung nicht absehbar**

Transit durch / Import aus Ländern  
mit noch fossiler Strom-Erzeugung

**Positive Klimawirkung fraglich**



1 500 km, 5 GW

Als Kabel: 25 Mrd. Euro

→ 4 ct/kWh

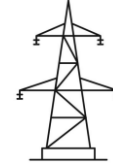
Als Freileitung: 4 500 Masten

**ODER**

Windanlagen: 3 500

# Import elektrischer Energie

Transport elektrischer Energie ist erprobt



Durch Netzkapazitäten Umfang stark begrenzt

Leitungsneubau: Kosten, Akzeptanz  
**hoch fraglich**

Ohne Transit: potentielle benachbarte Lieferländer:

Dänemark (offshore Wind), **absehbar**

Frankreich (Wind), Polen (Wind)

**Realisierung nicht absehbar**

Transit durch / Import aus Ländern  
mit noch fossiler Strom-Erzeugung

**Positive Klimawirkung fraglich**

**Umfang gering**



1 500 km, 5 GW

Als Kabel: 25 Mrd. Euro

→ 4 ct/kWh

Als Freileitung: 4 500 Masten

**ODER**

Windanlagen: 3 500

# **Energieimporte – Risiken**

**Viele Studien rechnen mit umfangreichen Importen trotz**

# Energieimporte – Risiken

Viele Studien rechnen mit umfangreichen Importen trotz genereller Risiken:

- **Langsam**; Aufbau im Ausland und Transport
- Ferntransport von H<sub>2</sub> ist **nicht Stand der Technik**, insbesondere Schiffstransport (Verflüssigung)
- **Investitionsrisiko** im Ausland
- Preisrisiko durch potentiellen **Verkäufer-Markt**
- Potentiell **hohe Transportkosten**
- **Geringe / keine Klimawirkung**, wenn Exportländer fossile Energieträger für eigenen Energiebedarf nutzen

# Importe SynFuels - Kosten

) zum Vergleich Frühjahr 2021: Börsenpreis: 7 c/kWh

# Importe SynFuels - Kosten

In Ländern mit eigener preiswerter regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 3 ct/kWh

# Importe SynFuels - Kosten

In Ländern mit eigener preiswerter regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 3 ct/kWh

In Deutschland mit eigener regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 6 ct/kWh<sup>\*</sup>

<sup>\*)</sup> zum Vergleich Frühjahr 2021: Börsenpreis: 7 c/kWh

# Importe SynFuels - Kosten

In Ländern mit eigener preiswerter regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 3 ct/kWh

In Deutschland mit eigener regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 6 ct/kWh\*

Energie-Import von Wasserstoff / SynFuels:  
Transport und Umwandlungsverluste verteuern kWh um (mehr als) Faktor 2

\*) zum Vergleich Frühjahr 2021: Börsenpreis: 7 c/kWh



# Importe SynFuels - Kosten

In Ländern mit eigener preiswerter regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 3 ct/kWh

In Deutschland mit eigener regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 6 ct/kWh\*

Energie-Import von Wasserstoff / SynFuels:  
Transport und Umwandlungsverluste verteuern kWh um (mehr als) Faktor 2

→ In Deutschland erzeugte elektrische Energie  
wird preiswerter sein als Import von H<sub>2</sub>-/SynFuels

\*) zum Vergleich Frühjahr 2021: Börsenpreis: 7 c/kWh

# Importe SynFuels - Kosten

In Ländern mit eigener preiswerter regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 3 ct/kWh

In Deutschland mit eigener regenerativer Stromerzeugung:  
Mögliches Börsen-Preisniveau elektrischer Energie: 6 ct/kWh\*

Energie-Import von Wasserstoff / SynFuels:  
Transport und Umwandlungsverluste verteuern kWh um (mehr als) Faktor 2

→ In Deutschland erzeugte elektrische Energie  
wird preiswerter sein als Import von H<sub>2</sub>-/SynFuels

→ ohne wettbewerbsverzerrende Abgaben auf Strom  
entsteht wirtschaftlich getriebener Wandel zur Elektrifizierung

\*) zum Vergleich Frühjahr 2021: Börsenpreis: 7 c/kWh

# **Energieimporte - Zusammenfassung**

**Elektrische Energie**

**Wasserstoff**

**Grünes Methan („Erdgas“)**

**Synthetische flüssige Treibstoffe (Syn-Fuels)**

# Energieimporte - Zusammenfassung

Elektrische Energie

geringer Umfang

Wasserstoff

Grünes Methan („Erdgas“)

Synthetische flüssige Treibstoffe (Syn-Fuels)

# Energieimporte - Zusammenfassung

**Elektrische Energie**

geringer Umfang

**Wasserstoff**

spät, technisch schwierig, teuer

**Grünes Methan („Erdgas“)**

**Synthetische flüssige Treibstoffe (Syn-Fuels)**

# Energieimporte - Zusammenfassung

**Elektrische Energie**

geringer Umfang

**Wasserstoff**

spät, technisch schwierig, teuer

**Grünes Methan („Erdgas“)**

spät, mögliche Treibhauswirkung durch Leckagen

Kohlenstoffquelle unklar, teuer

**Synthetische flüssige Treibstoffe (Syn-Fuels)**

# Energieimporte - Zusammenfassung

## Elektrische Energie

geringer Umfang

## Wasserstoff

spät, technisch schwierig, teuer

## Grünes Methan („Erdgas“)

spät, mögliche Treibhauswirkung durch Leckagen  
Kohlenstoffquelle unklar, teuer

## Synthetische flüssige Treibstoffe (Syn-Fuels)

spät, Kohlenstoffquelle unklar, teuer

# Energieimporte - Zusammenfassung

## Elektrische Energie

geringer Umfang

## Wasserstoff

spät, technisch schwierig, teuer

## Grünes Methan („Erdgas“)

spät, mögliche Treibhauswirkung durch Leckagen  
Kohlenstoffquelle unklar, teuer

## Synthetische flüssige Treibstoffe (Syn-Fuels)

spät, Kohlenstoffquelle unklar, teuer

→ **Heute sinnvoll:** Klärung möglicher Importe, große Versuchsanlagen bauen, Vertragssondierungen zu Lieferungen



# Energieimporte - Zusammenfassung

## Elektrische Energie

geringer Umfang

## Wasserstoff

spät, technisch schwierig, teuer

## Grünes Methan („Erdgas“)

spät, mögliche Treibhauswirkung durch Leckagen  
Kohlenstoffquelle unklar, teuer

## Synthetische flüssige Treibstoffe (Syn-Fuels)

spät, Kohlenstoffquelle unklar, teuer

→ **Heute sinnvoll:** Klärung möglicher Importe, große Versuchsanlagen bauen, Vertragssondierungen zu Lieferungen

→ **In jedem Fall bis 2030:**

Starker Ausbau regenerativer Stromerzeugung in Deutschland

# Energieimporte - Zusammenfassung

Einschätzungen:

# Energieimporte - Zusammenfassung

Einschätzungen:

| Nicht genug in notwendiger Zeit

# Energieimporte - Zusammenfassung

## Einschätzungen:

- | Nicht genug in notwendiger Zeit
- | Nicht günstiger als in Deutschland erzeugte Energieträger

# Energieimporte - Zusammenfassung

## Einschätzungen:

Nicht genug in notwendiger Zeit

Nicht günstiger als in Deutschland erzeugte Energieträger

Daher wichtig:  
Bedarfsreduktion

# Energieimporte - Zusammenfassung

## Einschätzungen:

Nicht genug in notwendiger Zeit

Nicht günstiger als in Deutschland erzeugte Energieträger

Daher wichtig:  
Bedarfsreduktion

→ **Heute sinnvoll:** Klärung möglicher Importe, große Versuchsanlagen bauen, Vertragssondierungen zu Lieferungen

# Energieimporte - Zusammenfassung

## Einschätzungen:

Nicht genug in notwendiger Zeit

Nicht günstiger als in Deutschland erzeugte Energieträger

Daher wichtig:  
Bedarfsreduktion

→ **Heute sinnvoll:** Klärung möglicher Importe, große Versuchsanlagen bauen, Vertragssondierungen zu Lieferungen

→ **In jedem Fall bis 2030:**

Starker Ausbau regenerativer Stromerzeugung in Deutschland

# **Kernenergie Deutschland**



# Kernenergie

# Kernenergie

**Wissen in Deutschland: letzte Fertigstellung:**  
vor 32 Jahren (1989): Neckarwestheim II

# Kernenergie

**Wissen in Deutschland: letzte Fertigstellung:**  
vor 32 Jahren (1989): Neckarwestheim II

**Fachkräfte in Rente**

# Kernenergie

**Wissen in Deutschland: letzte Fertigstellung:**  
vor 32 Jahren (1989): Neckarwestheim II

**Fachkräfte in Rente**

**Anzahl fertiggestellter Kraftwerke in EU:**  
Aufnahme kommerzieller Betrieb in den letzten 18 Jahren:

# Kernenergie

**Wissen in Deutschland: letzte Fertigstellung:**  
vor 32 Jahren (1989): Neckarwestheim II

**Fachkräfte in Rente**

**Anzahl fertiggestellter Kraftwerke in EU:**  
Aufnahme kommerzieller Betrieb in den letzten 18 Jahren:

**0**

# Kernenergie

**Wissen in Deutschland: letzte Fertigstellung:**  
vor 32 Jahren (1989): Neckarwestheim II

**Fachkräfte in Rente**

**Anzahl fertiggestellter Kraftwerke in EU:**  
Aufnahme kommerzieller Betrieb in den letzten 18 Jahren:

**0**

**Endlager:**  
nach 59 Jahren kommerzieller Kernkraftnutzung  
in Deutschland

# Kernenergie

**Wissen in Deutschland: letzte Fertigstellung:**  
vor 32 Jahren (1989): Neckarwestheim II

**Fachkräfte in Rente**

**Anzahl fertiggestellter Kraftwerke in EU:**  
Aufnahme kommerzieller Betrieb in den letzten 18 Jahren:

**0**

**Endlager:**  
nach 59 Jahren kommerzieller Kernkraftnutzung  
in Deutschland

**nicht vorhanden**

# **Erfahrungen in der EU KKW Generation III**



# **Erfahrungen in der EU KKW Generation III**

**Frankreich: Bau EPR Block 3 Flamanville,  
Bekanntgabe 2004, Baubeginn 2007, erwartete Fertigstellung 2023,**

# **Erfahrungen in der EU KKW Generation III**

**Frankreich: Bau EPR Block 3 Flamanville,**  
Bekanntgabe 2004, Baubeginn 2007, erwartete Fertigstellung 2023,

**Finnland: Bau EPR Block 3 Olkiluoto,**  
Ausschreibungsbeginn: 2003 Baubeginn 2005,  
erwartete Aufnahme kommerzieller Betrieb: 2022

# **Erfahrungen in der EU KKW Generation III**

**Frankreich: Bau EPR Block 3 Flamanville,**  
Bekanntgabe 2004, Baubeginn 2007, erwartete Fertigstellung 2023,

**18 Jahre**

**Finnland: Bau EPR Block 3 Olkiluoto,**  
Ausschreibungsbeginn: 2003 Baubeginn 2005,  
erwartete Aufnahme kommerzieller Betrieb: 2022

**19 Jahre**

# Erfahrungen in der EU KKW Generation III

**Frankreich: Bau EPR Block 3 Flamanville,**  
Bekanntgabe 2004, Baubeginn 2007, erwartete Fertigstellung 2023,  
Baukosten: 10,5 Mrd. Euro  
erwartete Kosten: > 10 c/kWh

**18 Jahre**

**Finnland: Bau EPR Block 3 Olkiluoto,**  
Ausschreibungsbeginn: 2003 Baubeginn 2005,  
erwartete Aufnahme kommerzieller Betrieb: 2022

**19 Jahre**

# **Erfahrungen in der EU KKW Generation IV**

# **Erfahrungen in der EU KKW Generation IV**

**Frankreich: Projekt ASTRID**

Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration

# **Erfahrungen in der EU KKW Generation IV**

**Frankreich: Projekt ASTRID**

Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration

**gestoppt:  
2019**

# **Kosten: Erfahrungen in GB**



# Kosten: Erfahrungen in GB

**Großbritannien: Wylfa**

Geplant: 3,1 GW mit Inbetriebnahme 2027.

2020 aus wirtschaftlichen Gründen endgültig gestoppt.

# Kosten: Erfahrungen in GB

## Großbritannien: Wylfa

Geplant: 3,1 GW mit Inbetriebnahme 2027.

2020 aus wirtschaftlichen Gründen endgültig gestoppt.

## England: Hinkley Point, EPR

2 Blöcke mit zusammen 3,2 GW: weltweite Ausschreibung. Erste

Planung: 2008, Auftrag: 2013, geplante Fertigstellung 1. Block 2026

Baukosten: geplant: 19 Mrd. Euro, neue Prognose: 25 Mr. Euro

Abnahmegarantie: 35 Jahre. Kosten trotz staatlicher Bürgschaften  $\geq$

10 Mrd. Euro. Vergütung: 11,5 c/kWh (Stand heute) + Inflation

# Kosten: Erfahrungen in GB

## Großbritannien: Wylfa

Geplant: 3,1 GW mit Inbetriebnahme 2027.

2020 aus wirtschaftlichen Gründen endgültig gestoppt.

## England: Hinkley Point, EPR

2 Blöcke mit zusammen 3,2 GW: weltweite Ausschreibung. Erste

Planung: 2008, Auftrag: 2013, geplante Fertigstellung 1. Block 2026

Baukosten: geplant: 19 Mrd. Euro, neue Prognose: 25 Mr. Euro

Abnahmegarantie: 35 Jahre. Kosten trotz staatlicher Bürgschaften  $\geq$

10 Mrd. Euro. Vergütung: 11,5 c/kWh (Stand heute) + Inflation

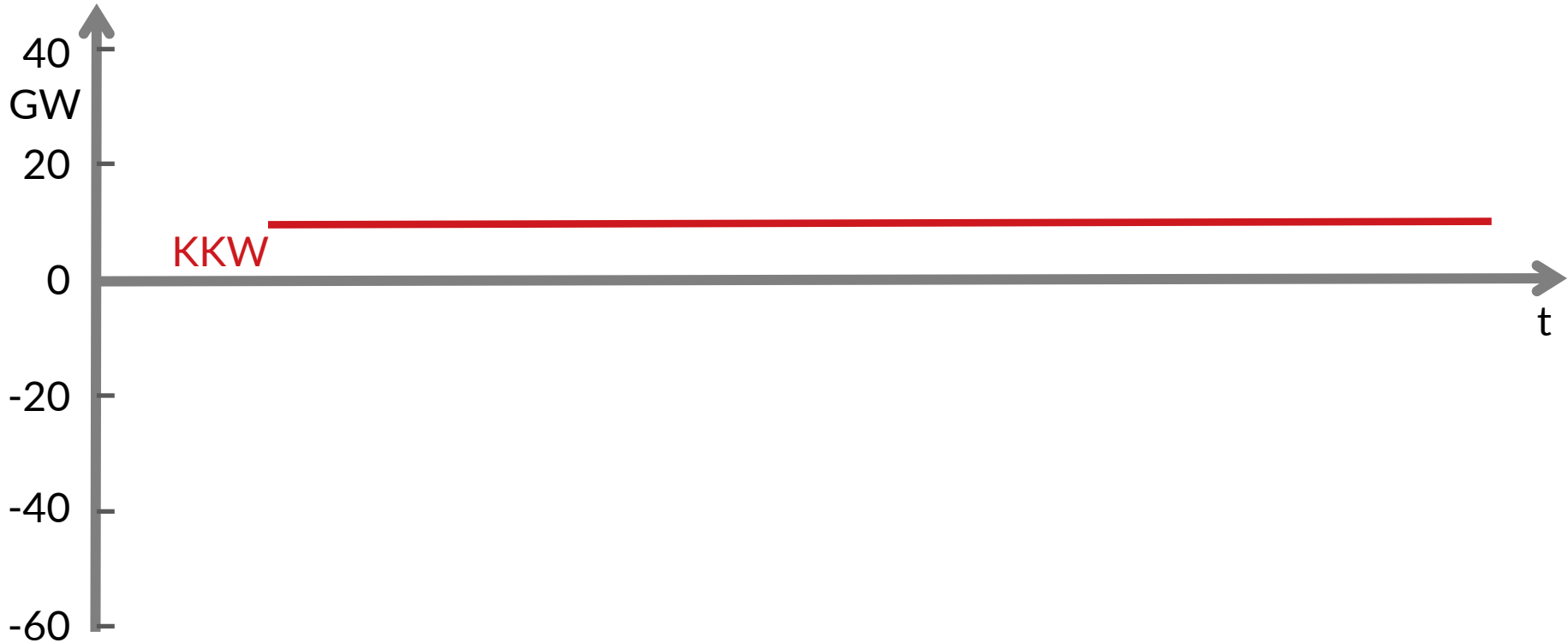
**> 11 c/kWh**

# **Kosten Kernenergie und Regenerative**

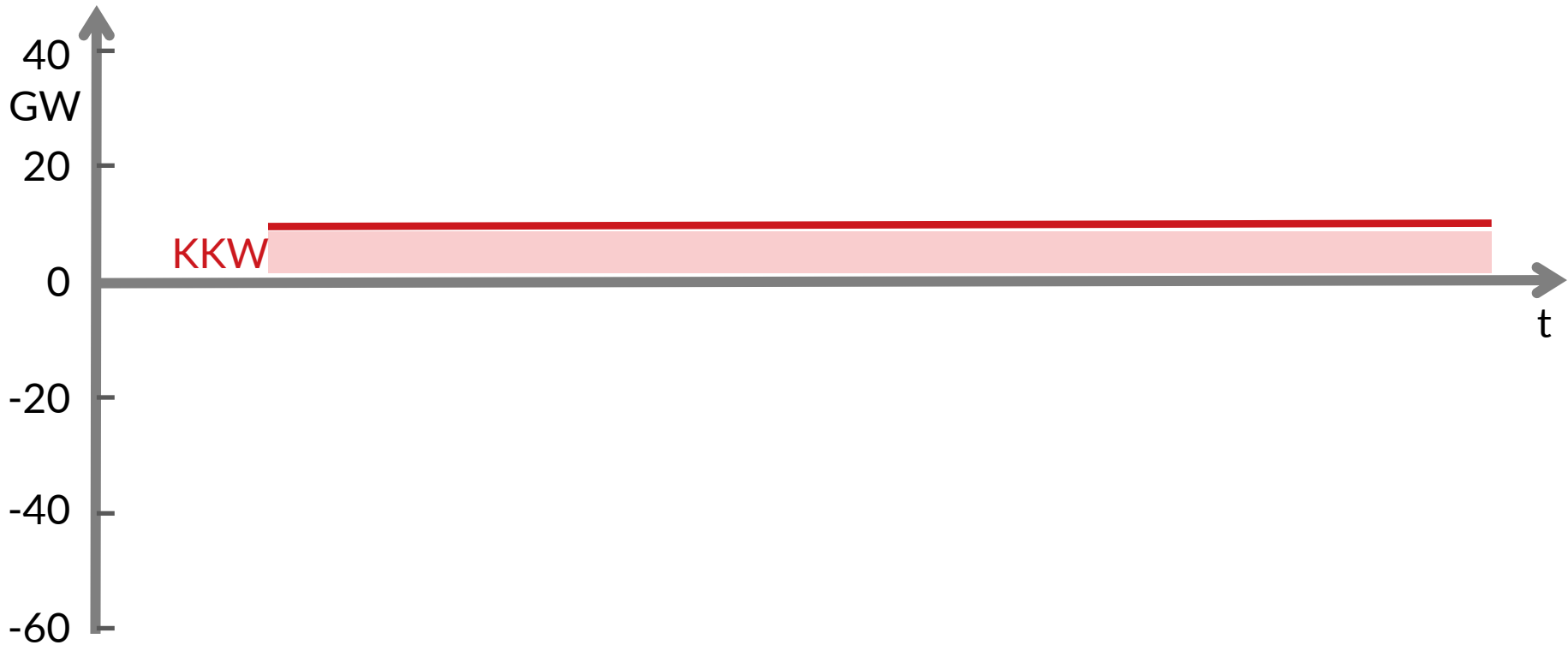
# Kosten Kernenergie und Regenerative



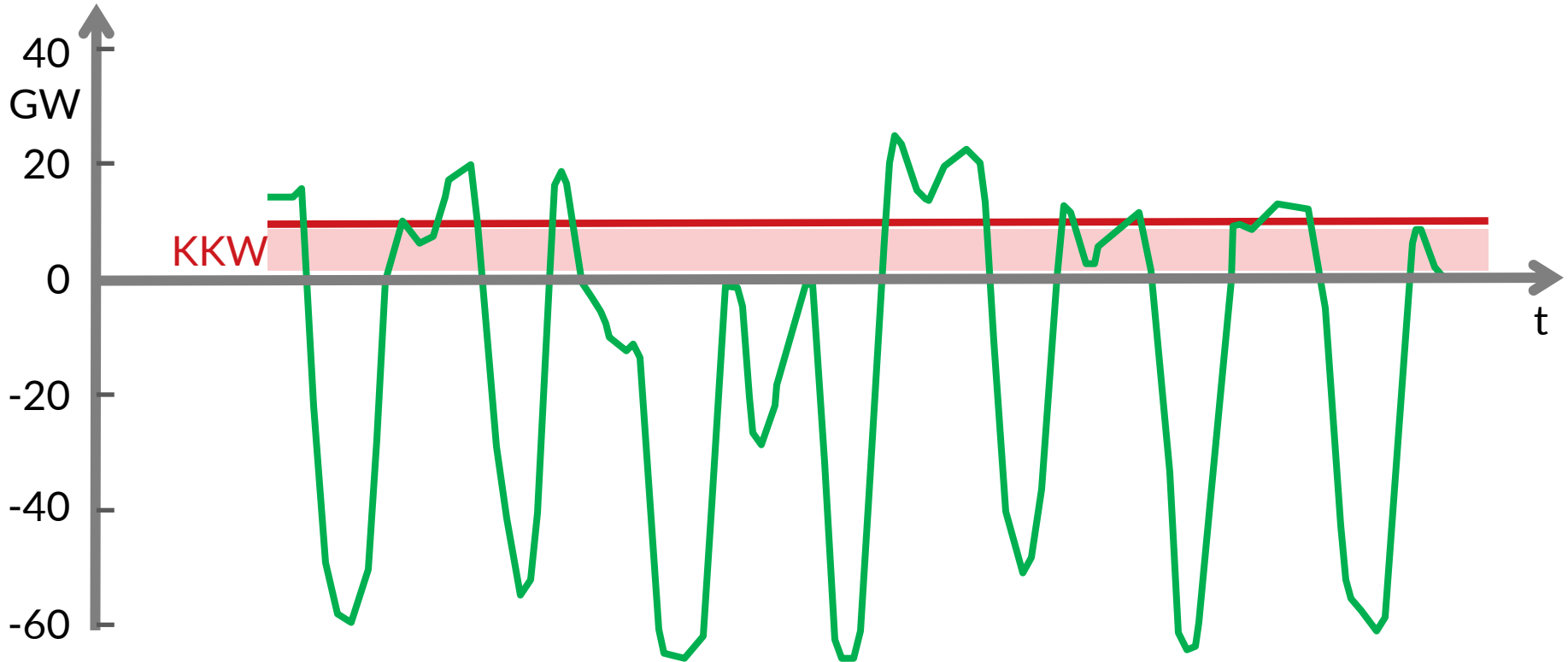
# Kosten Kernenergie und Regenerative



# Kosten Kernenergie und Regenerative



# Kosten Kernenergie und Regenerative

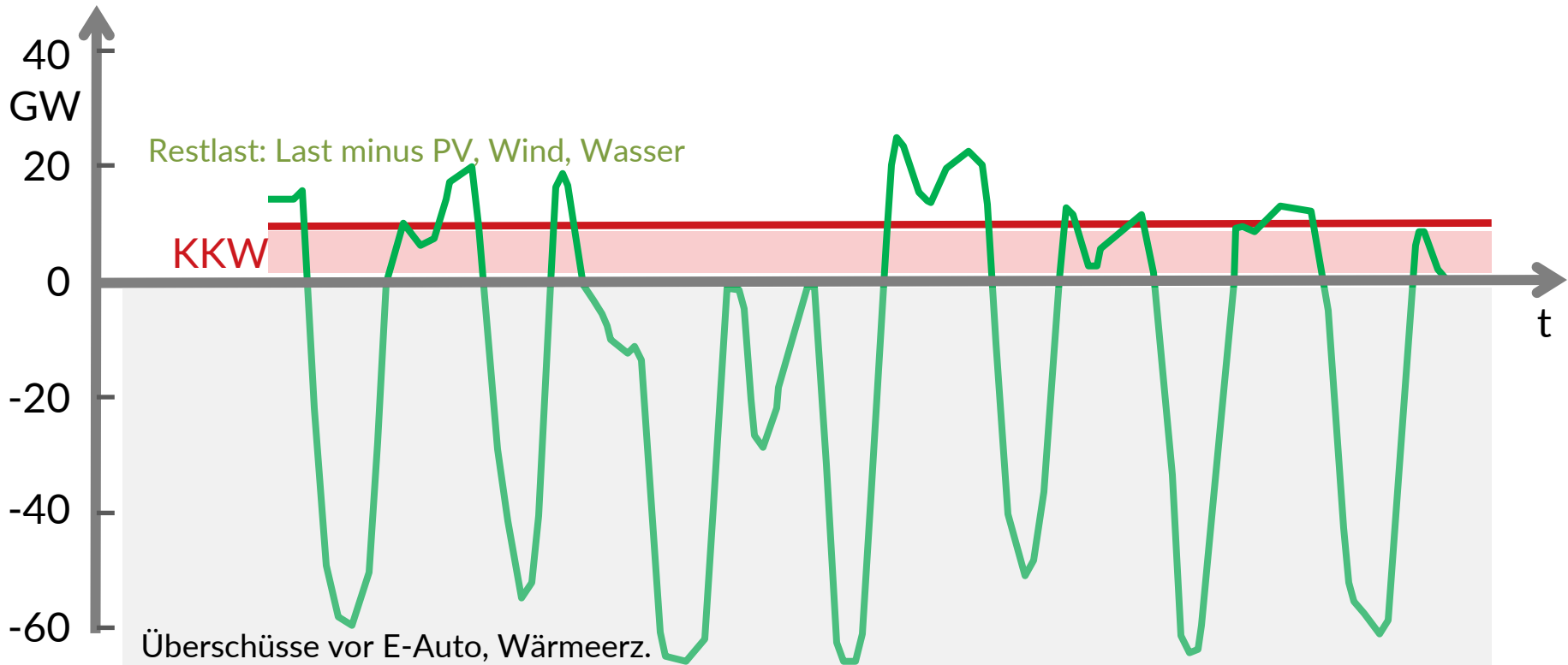




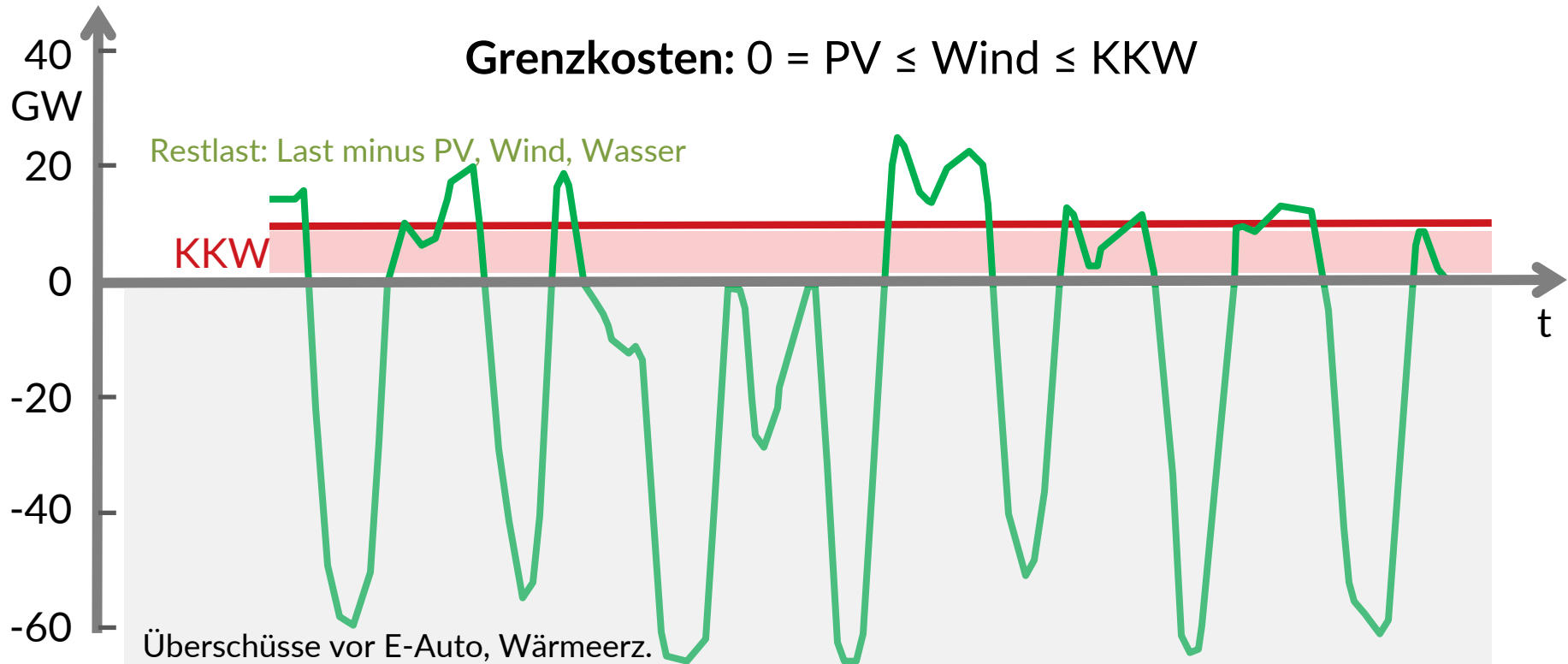
# Kosten Kernenergie und Regenerative



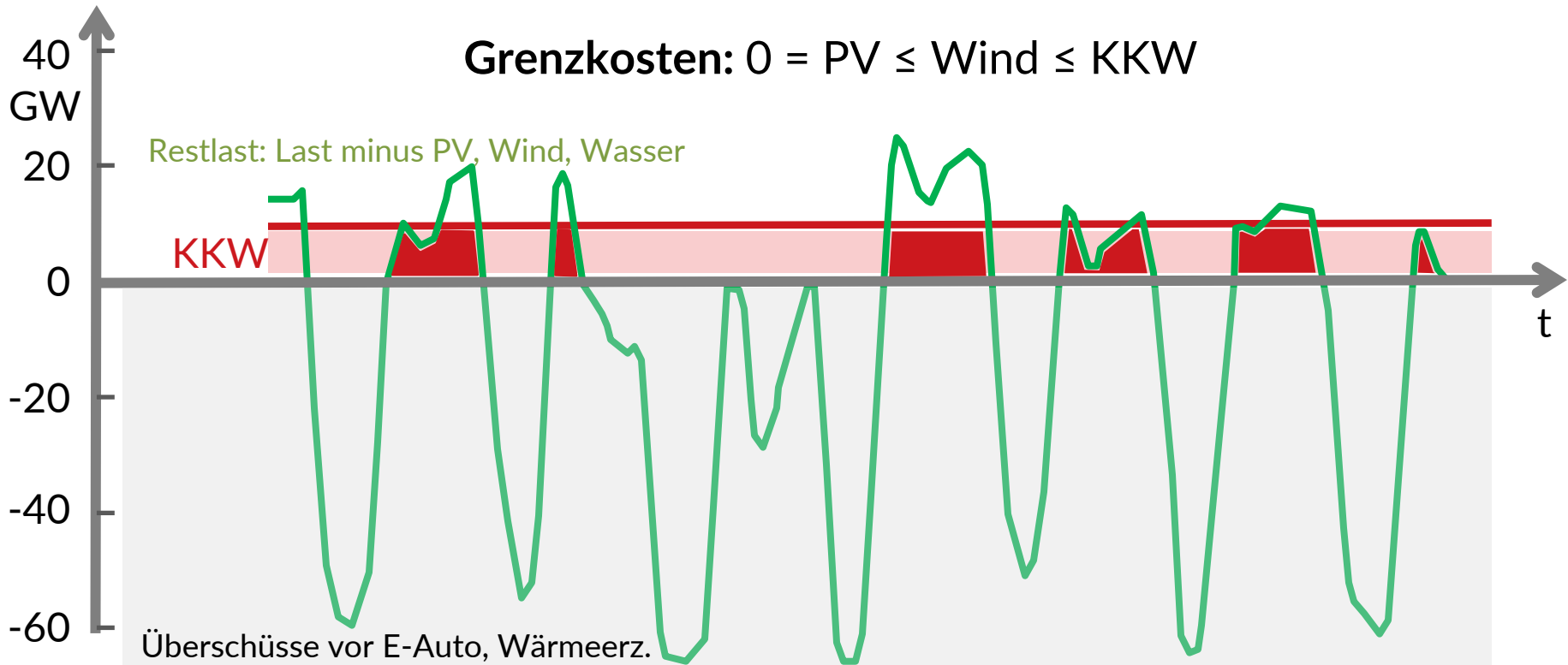
# Kosten Kernenergie und Regenerative



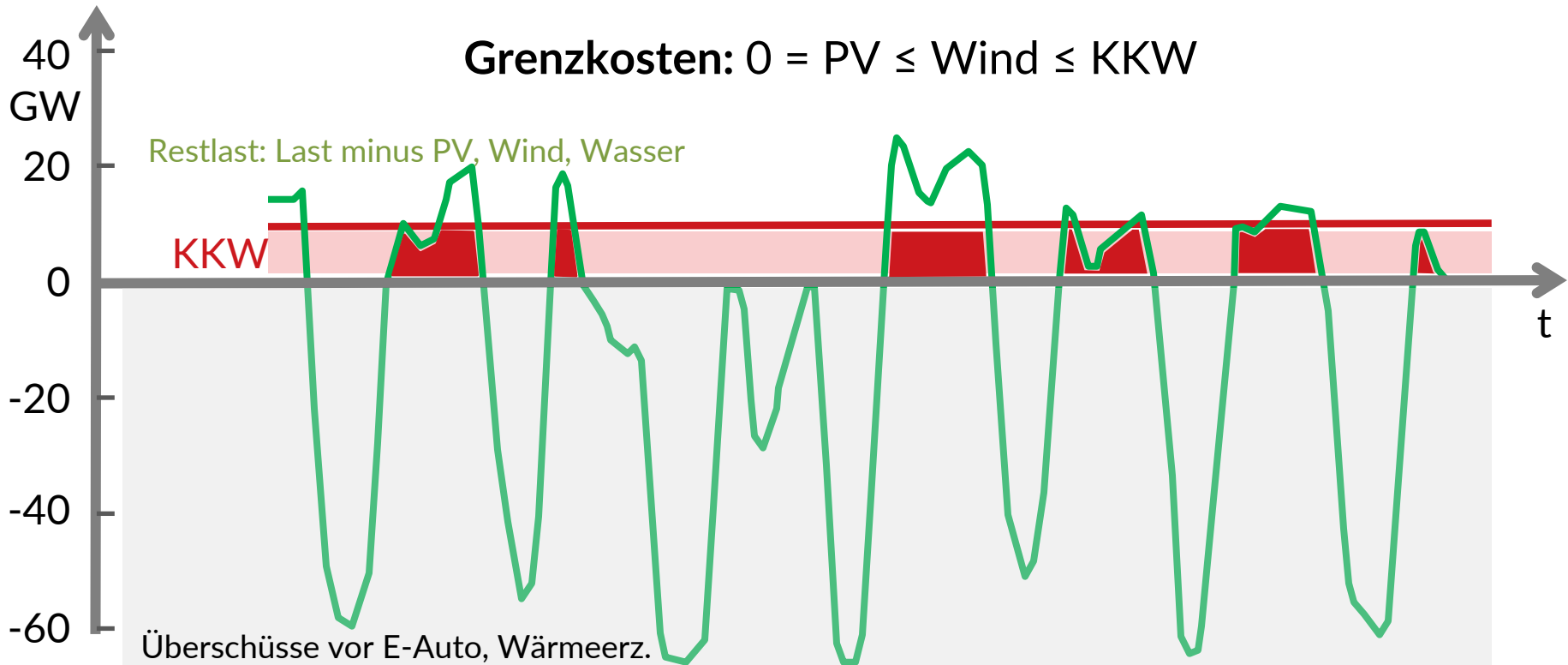
# Kosten Kernenergie und Regenerative



# Kosten Kernenergie und Regenerative



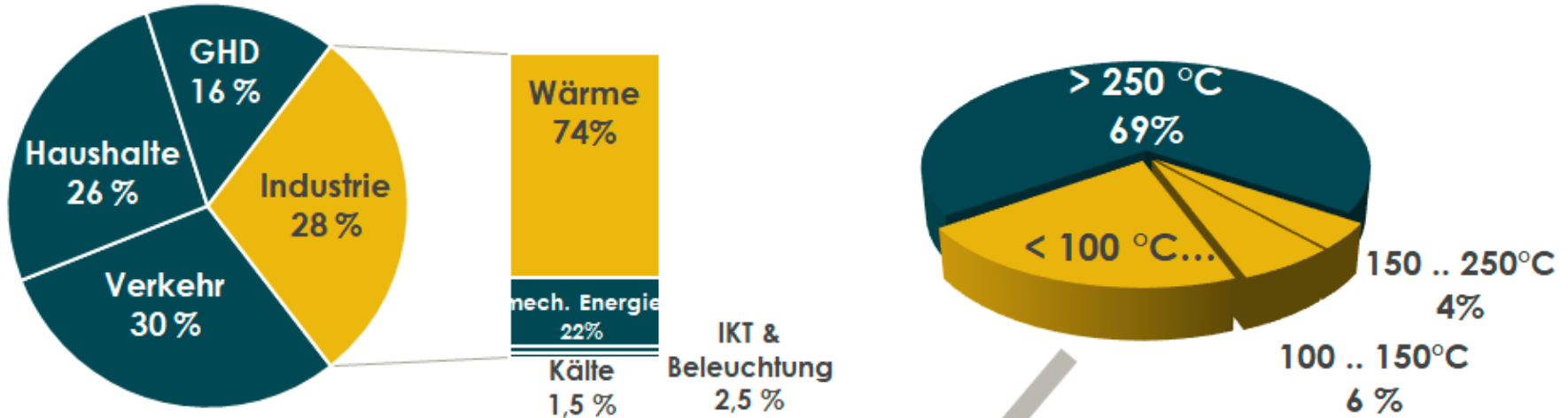
# Kosten Kernenergie und Regenerative



**Erwartbare Einsatzzeiten für 10 GW KKW: 2000–2500 h /a**  
→ Kosten je kWh > 25 c/kWh

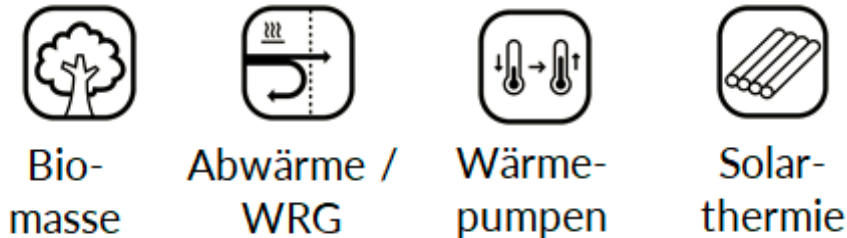
**Industrie  
und  
Energiewende  
(Deutschland)**

# Industrielle Prozesswärme



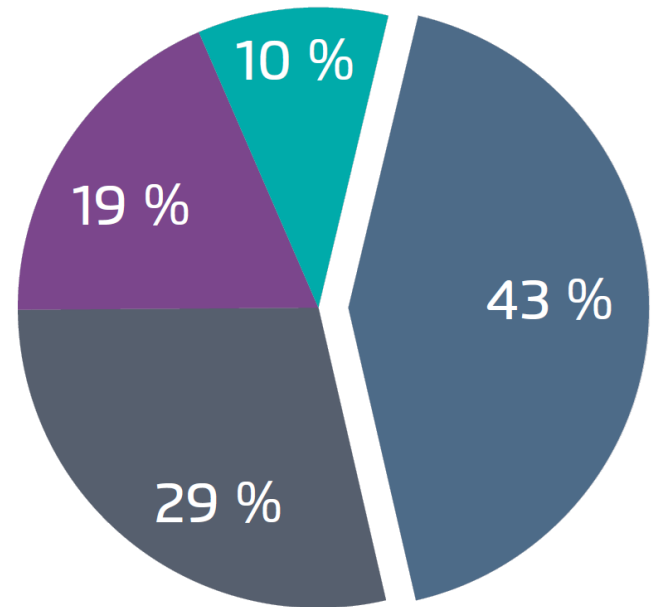
Datenbasis: Energiedaten BMWi, 2019

## Prozesstemperaturen bis 150 °C



Wärme- & Dampfer-  
zeugung: Strom

# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung



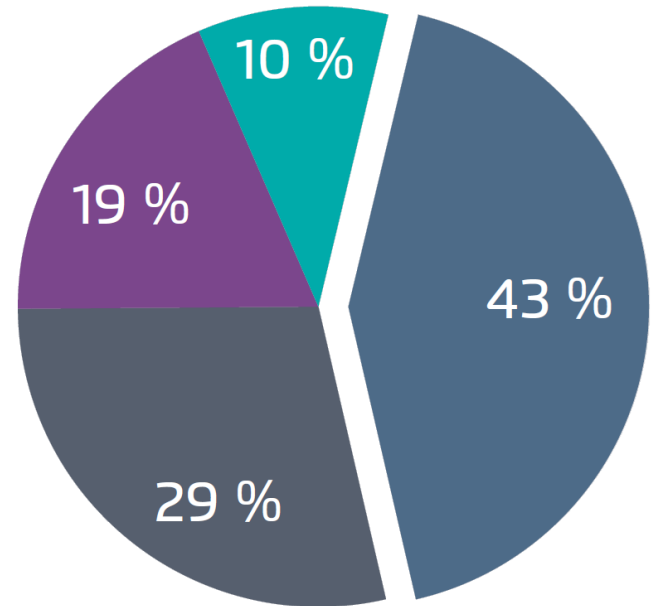


# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung

## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen



# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung

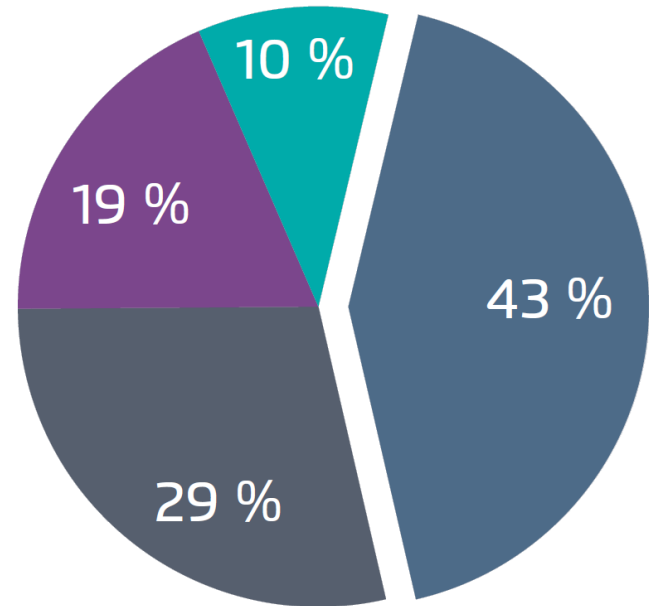
## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse → H<sub>2</sub>
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen



# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung

## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse → H<sub>2</sub>
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

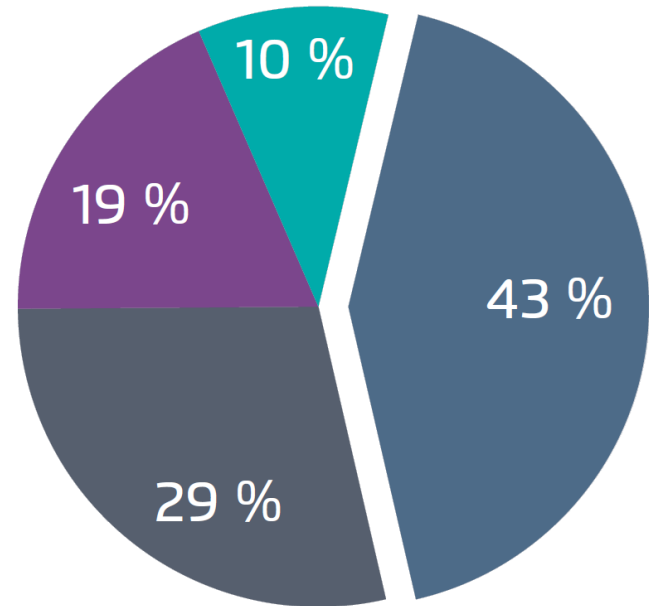
## Eisen & Stahl

z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen

## Zement

- Reduzierung des Zementbedarfs
- Nutzung alternative Materialien
- alternative Bindemittel



# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung

## Grundstoff-Chemie

- Dampferzeugung aus Elektrizität oder "Power-to-Heat"
- Elektrolyse → H<sub>2</sub>
- Ersatz Steamcracker: Synthese grüner Gase
- chemisches Recycling

## Eisen & Stahl

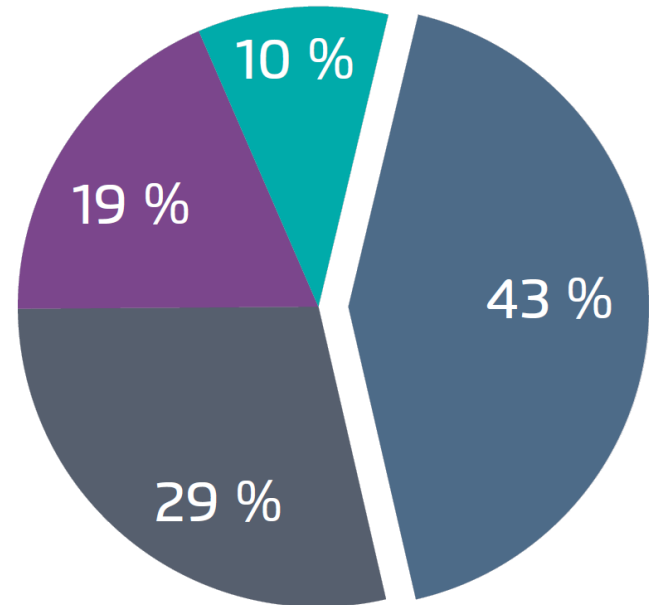
z. B. Direktreduktion von Eisenerz

- mit grünem H<sub>2</sub> (Übergang: Erdgas)
- Einsatz Elektro-Lichtbogenofen

+ CO<sub>2</sub>-Abscheidung

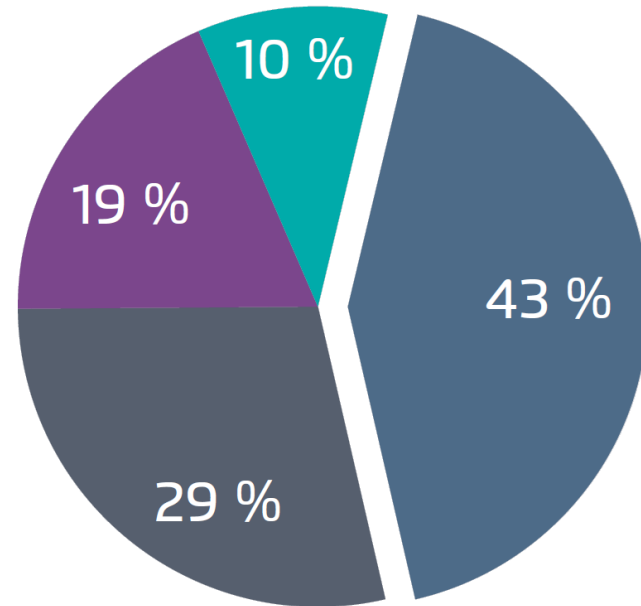
## Zement

- Reduzierung des Zementbedarfs
- Nutzung alternative Materialien
- alternative Bindemittel



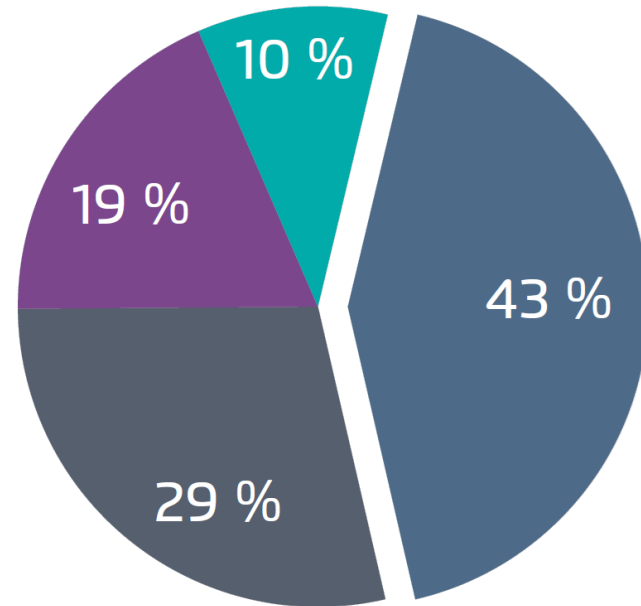
# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung

Technologien kurz vor der Marktreife!



# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung

**Technologien kurz vor der Marktreife!**  
CO<sub>2e</sub>-Emissionen nicht vollständig  
aber weitgehend vermeidbar.



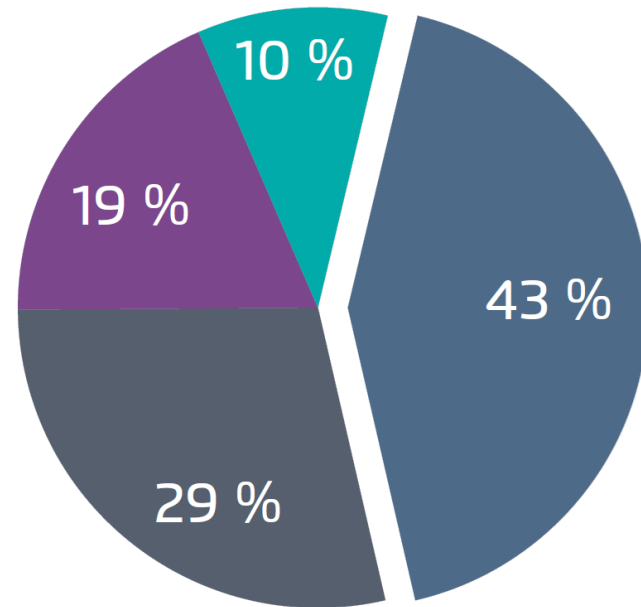
# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung

**Technologien kurz vor der Marktreife!**

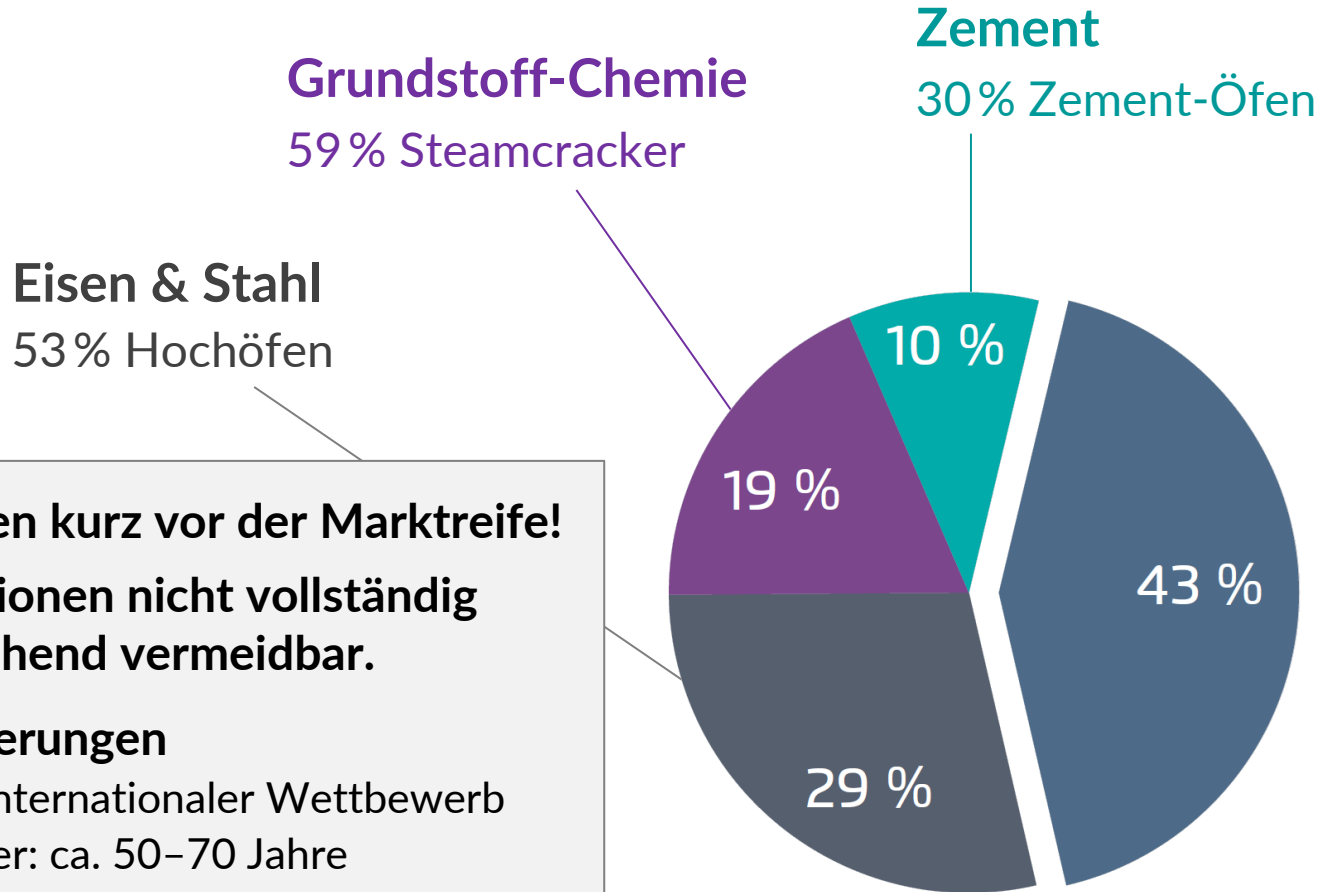
**CO<sub>2e</sub>-Emissionen nicht vollständig  
aber weitgehend vermeidbar.**

**Herausforderungen**

- Kosten ⇒ internationaler Wettbewerb
- Lebensdauer: ca. 50–70 Jahre



# Schlüsseltechnologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung



**Technologien kurz vor der Marktreife!**

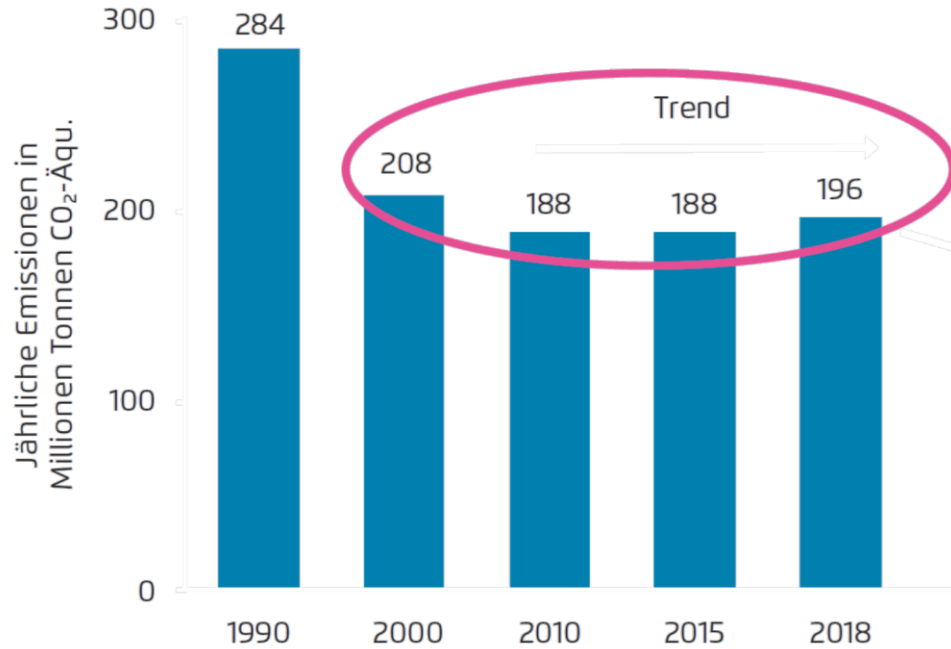
**CO<sub>2e</sub>-Emissionen nicht vollständig aber weitgehend vermeidbar.**

**Herausforderungen**

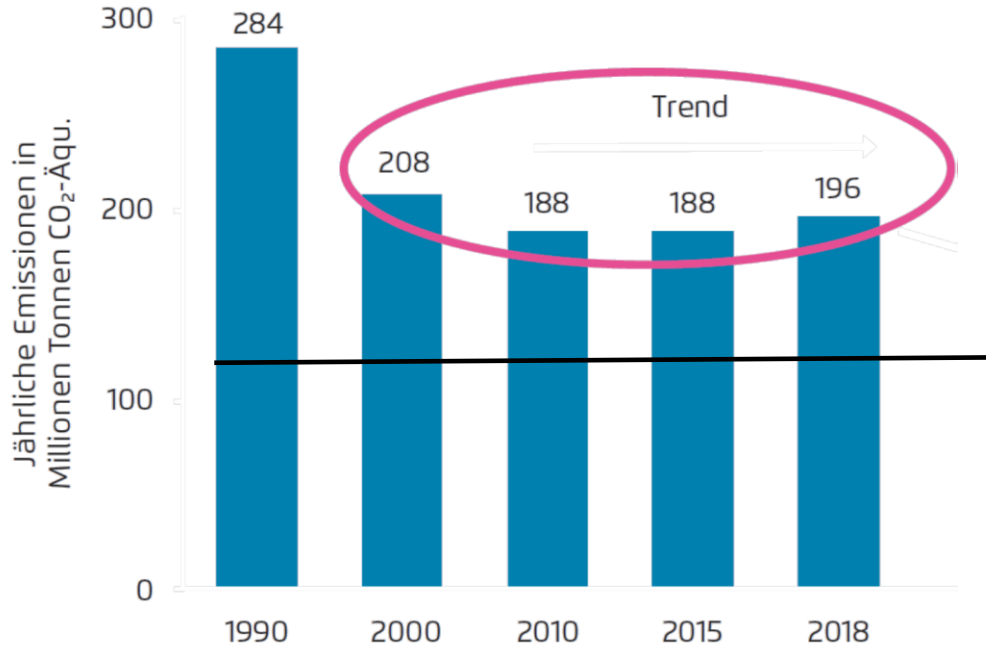
- Kosten ⇒ internationaler Wettbewerb
- Lebensdauer: ca. 50-70 Jahre



# Emissionen Industriesektor

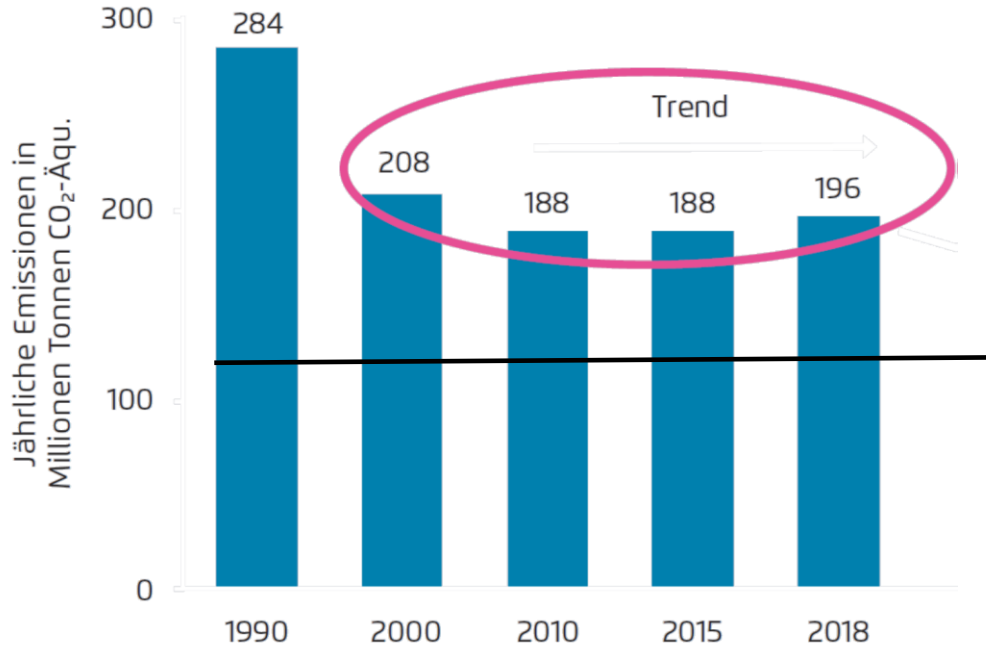


# Emissionen Industriesektor



**Klimaschutzgesetz 2021**

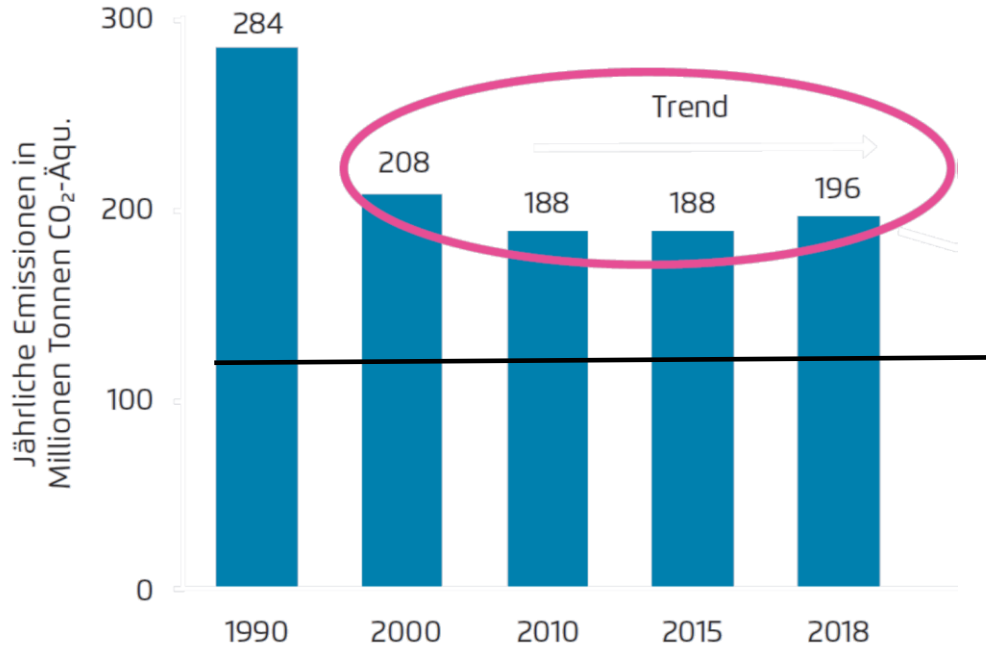
# Emissionen Industriesektor



**Klimaschutzgesetz 2021**

entspricht 60% im Vergleich zu 2018

# Emissionen Industriesektor

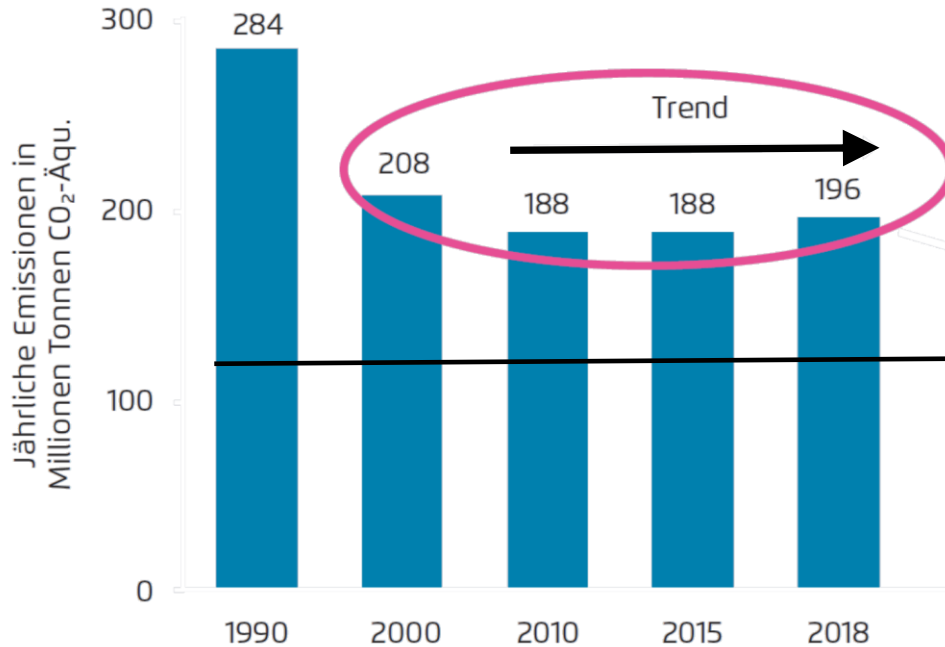


Rahmenbedingungen schaffen

Klimaschutzgesetz 2021

entspricht 60% im Vergleich zu 2018

# Emissionen Industriesektor



## Klimaschutzgesetz 2021

→ 118 Millionen t CO<sub>2e</sub> (2030)

entspricht 60% im Vergleich zu 2018

## Rahmenbedingungen schaffen

CO<sub>2</sub>-Bepreisung/Fördermechanismen,  
Ordnungsrecht & Schaffung sicherer Absatzmärkte

# Allgemeine Informationen

Dies ist eine *Materialsammlung* unter offenen Lizenzen für eigene Vorträge, Workshops, Poster, Flyer etc.

Wir können keine Fehlerfreiheit garantieren. Nutzer:innen sollten Inhalt und Form stets selbst prüfen, verbessern und in eigene Zusammenhänge bringen. Entwickelt die Arbeit selbstbewusst weiter! Wir sind für Hinweise auf Fehler & Verbesserungsmöglichkeiten dankbar, s. nächste Folie.

Wir wünschen euch viel Erfolg!

(Folien mit blauem Hintergrund (wie hier) sind Hinweise für die Vorbereitung, nicht zur Anzeige im Vortrag.)

## Weitere Infos:

Viele Folien versuchen, den objektiven Stand der Forschung darzustellen. Andere Folien (z. B. Handlungsoptionen, Einschätzungen, Kritik, positive Entwicklungen) erheben hingegen keinen Anspruch auf Objektivität.

Die Folien enthalten im Powerpoint-Notizbereich zusätzliche Informationen (z. B. Quellen; fehlen in den PDFs). Stellt euer Programm zur Bearbeitung der Folien bitte so ein, dass dieser Bereich sichtbar ist.

Copyright/Lizenzangaben stehen in Mikroschrift auf der Folie und zusätzlich im Notizbereich. Diese dürfen (außer bei CC0) nicht entfernt werden (aber an anderer Stelle erscheinen). Bei Überarbeitung bitte den eigenen Namen hinzufügen („© Erstautoren, modif. EuerName, Lizenz“). Mehr in „Vertiefte Informationen zu Lizenzen.pptx/pdf“.

Für einige Folien gibt es Varianten für verschiedene Zielgruppen bzw. kurz für Vortrag + lang für Druck/Web. Schriftarten (OpenSource) sind im S4F Downloadbereich als „Diese\_Fonts\_eventuell\_installieren.zip“ verfügbar.

# Bitte helft mit!

Wir würden dieses Angebot gerne verbessern:

1. Hattet ihr Fragen, die nicht angesprochen wurden?

2. Manche Folien sind nur vorläufig geprüft, andere sind vielleicht zu kompliziert. Bitte schickt Verbesserungsvorschläge, Hinweise auf Fehler oder Ungenauigkeiten als Kommentare in der Datei (siehe unten). Falls ihr Powerpoint verwendet, nutzt bitte die eingebaute Kommentarfunktion.

3. Habt ihr eigene oder verbesserte Folien? Bitte schickt sie uns mit Copyright („© Namen-der-Urheber“) und Lizenzangabe (ideal ist „CC BY-SA 4.0“) an [g.m.hagedorn@gmail.com](mailto:g.m.hagedorn@gmail.com).

4. Habt ihr andernorts gute Grafiken gesehen, die hier sinnvollerweise ergänzt werden sollten? Bitte nennt die Quelle (möglichst auch Webadresse) und gebt an, ob lizenziert oder unter Zitatrecht verwendet.

**Rücksendung von Ergänzung/Kritik:** Eigenen Namen an Dateinamen anhängen, hier hochladen: <https://owncloud.gwdg.de/index.php/s/Szm8vDJ60zmnNgX> (= UPLOAD-ONLY Folder) und E-Mail an [g.m.hagedorn@gmail.com](mailto:g.m.hagedorn@gmail.com).

Dankeschön!

# Grafiken aus dieser Sammlung könnten z. B. für folgende Schulfächer nützlich sein:

Schulfach	Themenfelder des Rahmenlehrplans Berlin-Brandenburg
Geographie (Sek 1)	3.5 Umgang mit Ressourcen 3.6 Klimawandel und Klimaschutz als Beispiel für internationale Konflikte 3.7 Wirtschaftliche Verflechtung und Globalisierung
Naturwissenschaften (Sek 1)	3.5 Energie gehört zum Leben – Energieversorgung der Menschheit 3.9 Bauen und Wohnen
Physik (Sek 1)	3.11 Energieumwandlung in Natur und Technik
Politische Bildung (Sek 1)	3.2 Leben in einer globalisierten Welt
Wirtschaft-Arbeit-Technik (Sek 1)	3.19 Mobilität und Energieversorgung
Chemie (Sek 2)	4.1 Energie und chemische Reaktion
Geographie (Sek 2)	4.2 Europa – Raumstruktur im Wandel
Politikwissenschaften (Sek 2)	4.14 Internationale Entwicklungen im 21. Jahrhundert