

Ein De-fossiliertes und nachhaltiges Energiesystem - Unsere Zukunft!

100. Mahnwache in Endingen zum Thema Fukushima-Fessenheim

**Prof. Andreas Bett
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg**

**24. Juni 2024
www.ise.fraunhofer.de**

Agenda

- 1** Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
- 2 Rolle der Photovoltaik im Erneuerbaren Energiesystem
- 3 Atomausstieg in Deutschland
- 4 Negative Emissionen
- 5 Zusammenfassung



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Unsere Geschäftsfelder

Photovoltaik –
Materialien, Zellen,
Module

Solkraftwerke und
Integrierte Photovoltaik

Elektrische
Energiespeicher

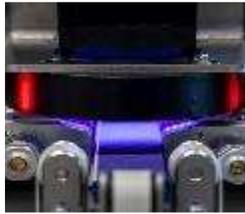
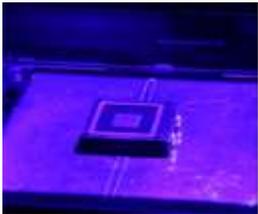
Leistungselektronik und
Stromnetze

Photovoltaik –
Produktionstechnologie
und Transfer

Klimaneutrale Wärme
und Gebäude

Wasserstofftechnologien

Systemintegration



Agenda

- 1 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
- 2 **Rolle der Photovoltaik im Erneuerbaren Energiesystem**
- 3 Atomausstieg in Deutschland
- 4 Negative Emissionen
- 5 Zusammenfassung

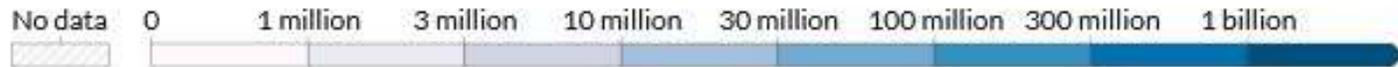
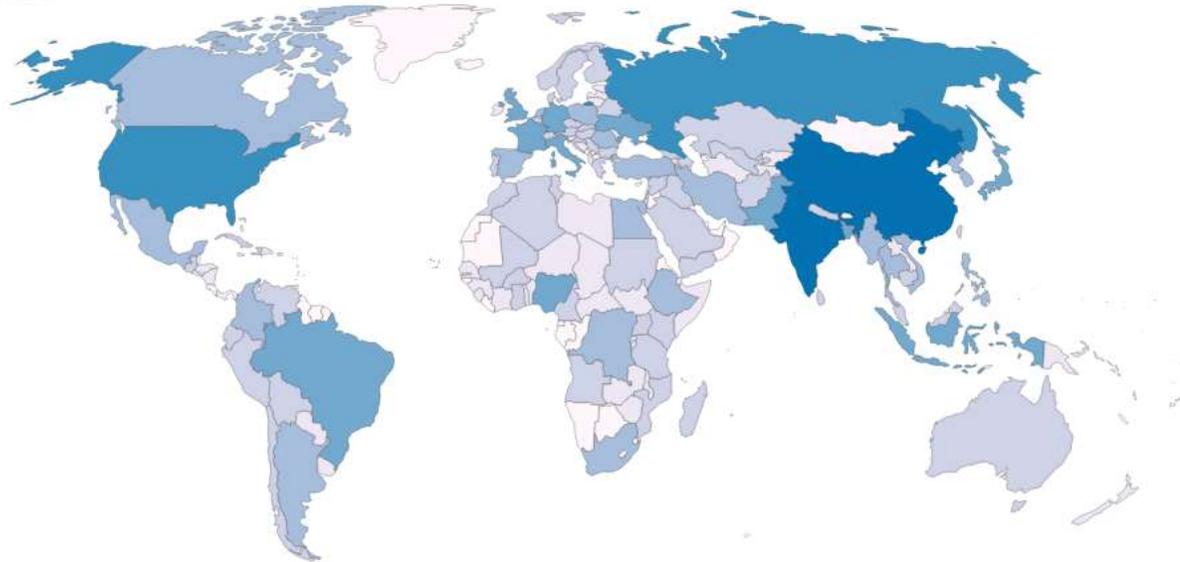


Bevölkerungswachstum und Klimawandel

Einleitung

**Anstieg der Weltbevölkerung
und zunehmende Verstädterung**

1950

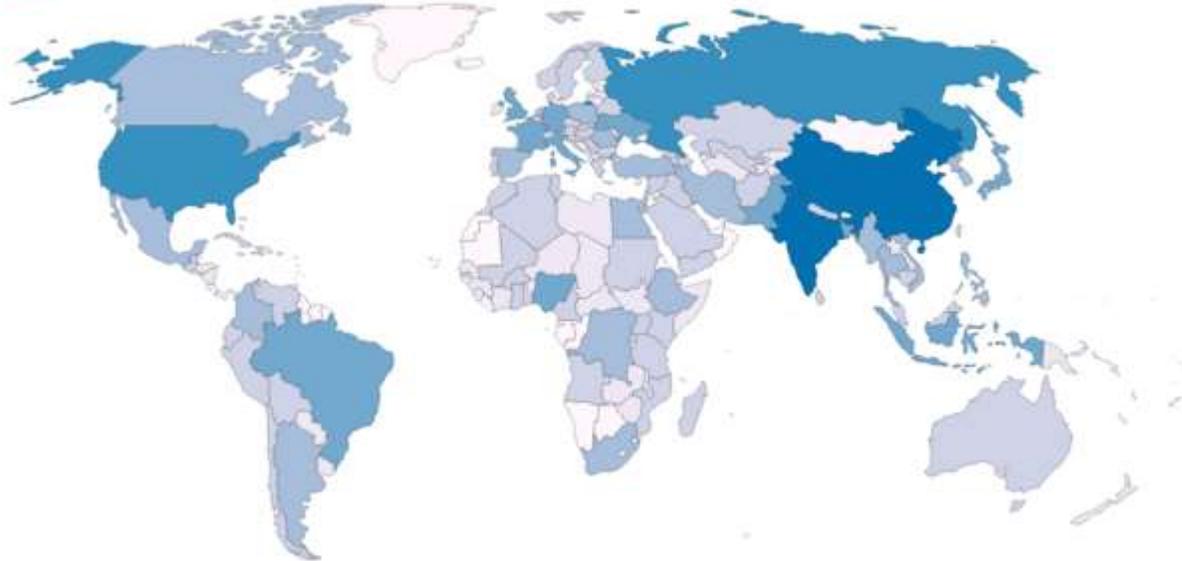


Bevölkerungswachstum und Klimawandel

Einleitung

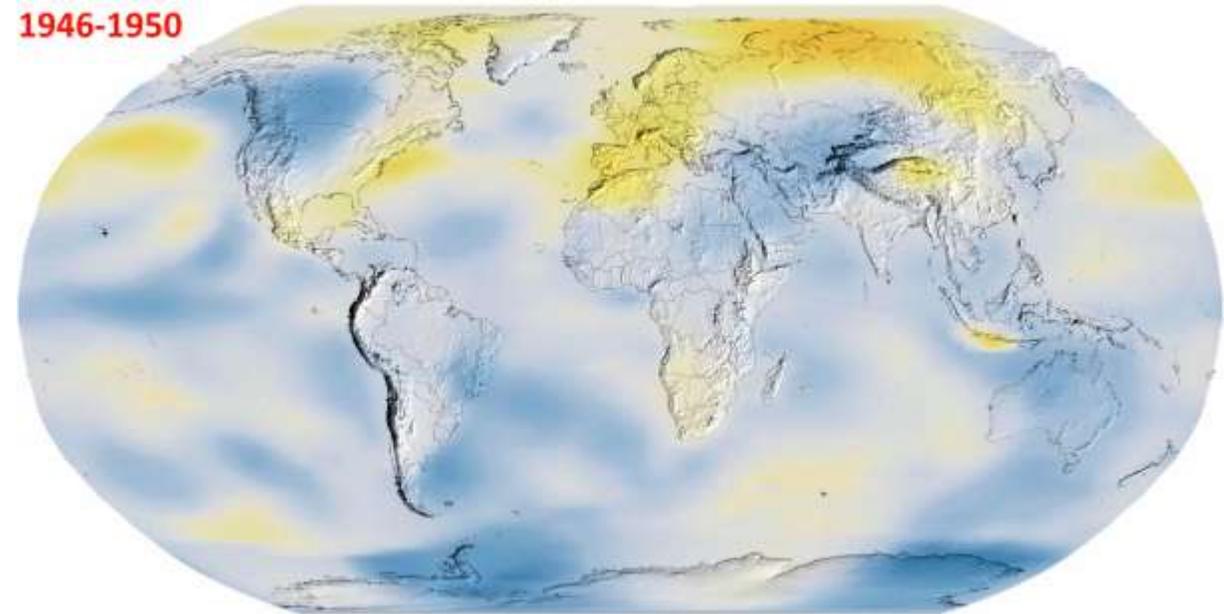
Anstieg der Weltbevölkerung
und zunehmende Verstädterung

1950

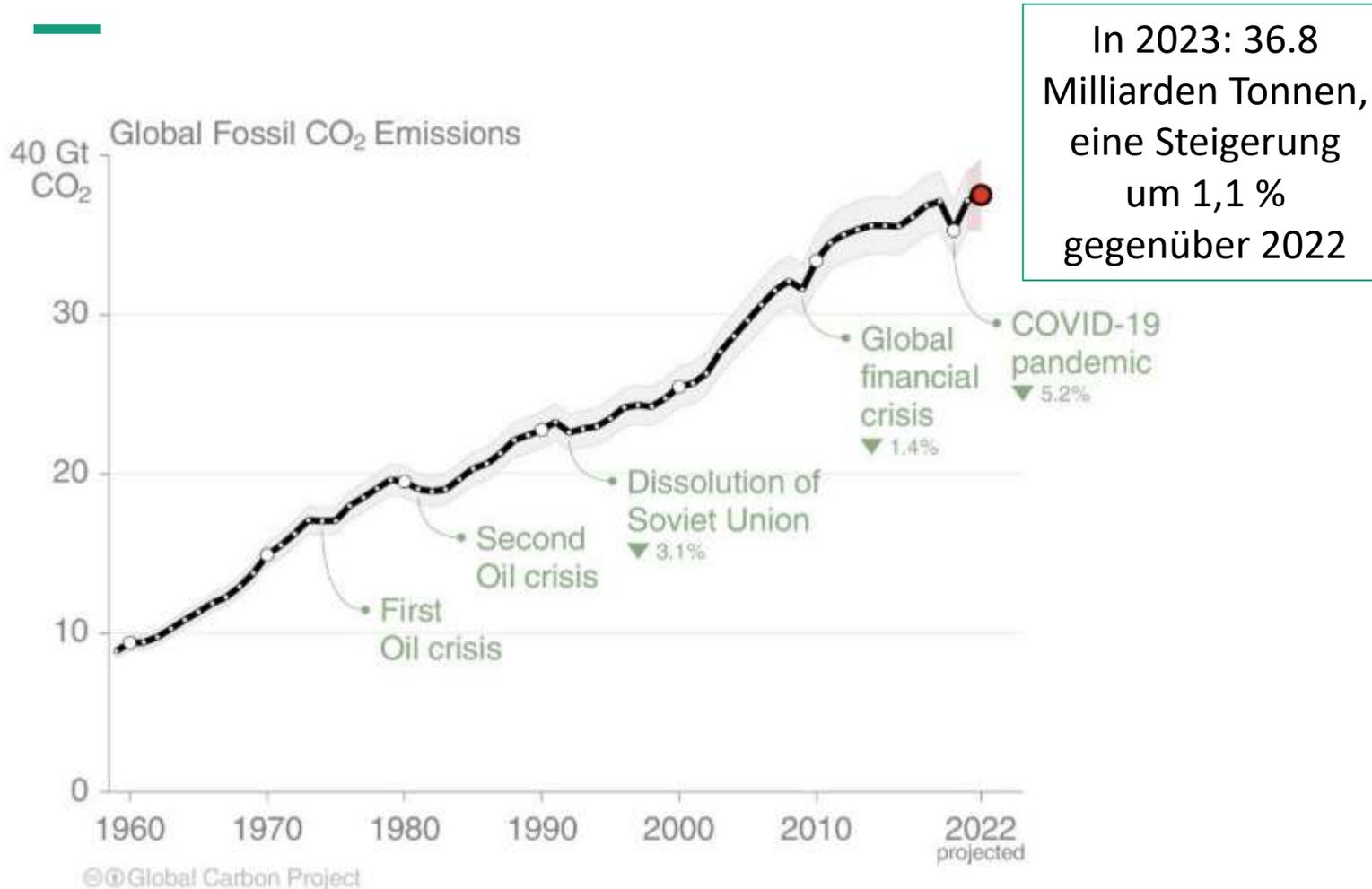


Erwärmung des Klimas, extreme
Wetterereignisse

1946-1950

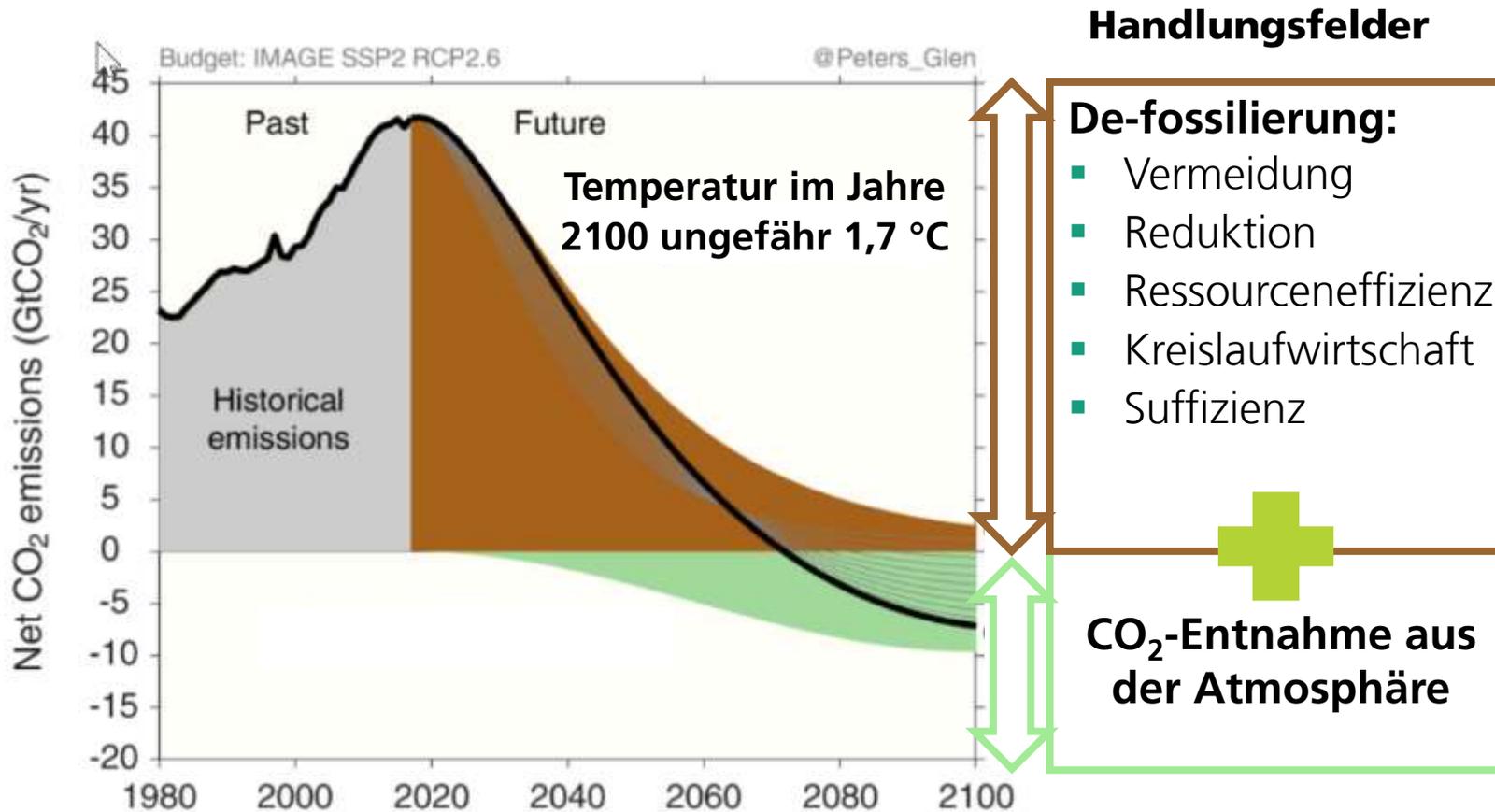


Globale Kohlenstoffdioxid (CO₂) Emissionen seit 1960

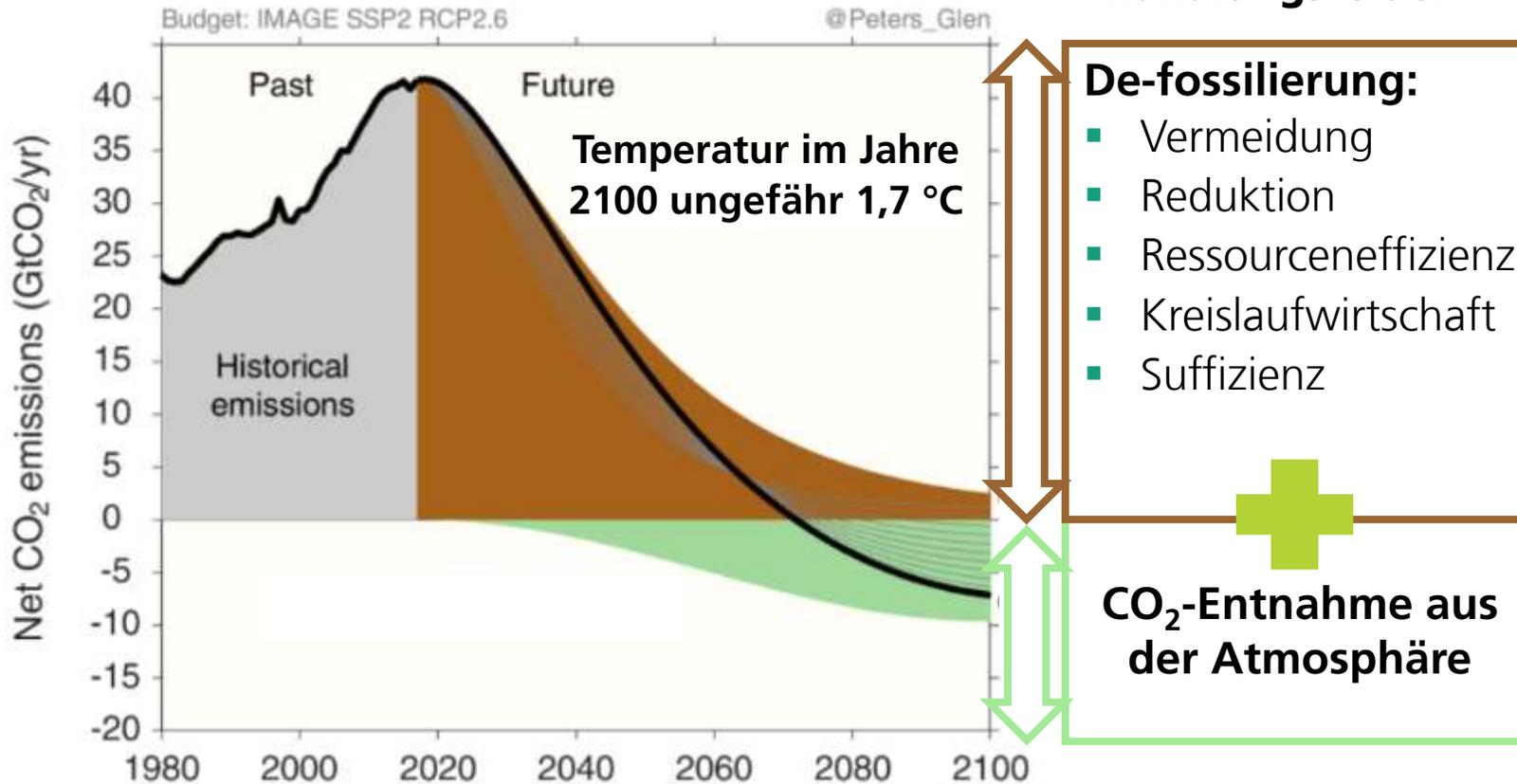


https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/22/files/CarbonBudget2022_CICERO_press_English.pdf

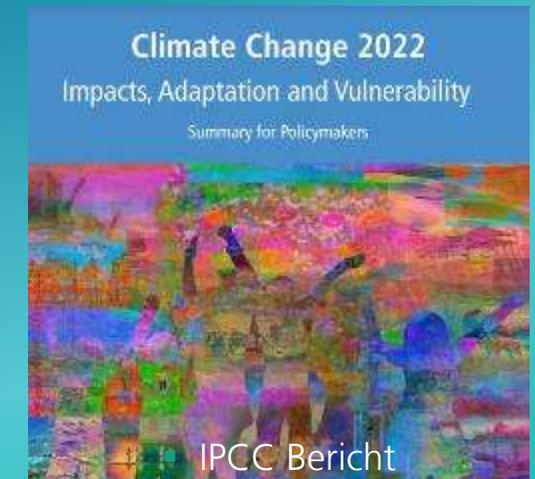
De-fossilierung und CO₂-Entnahme



De-fossilierung und CO₂-Entnahme

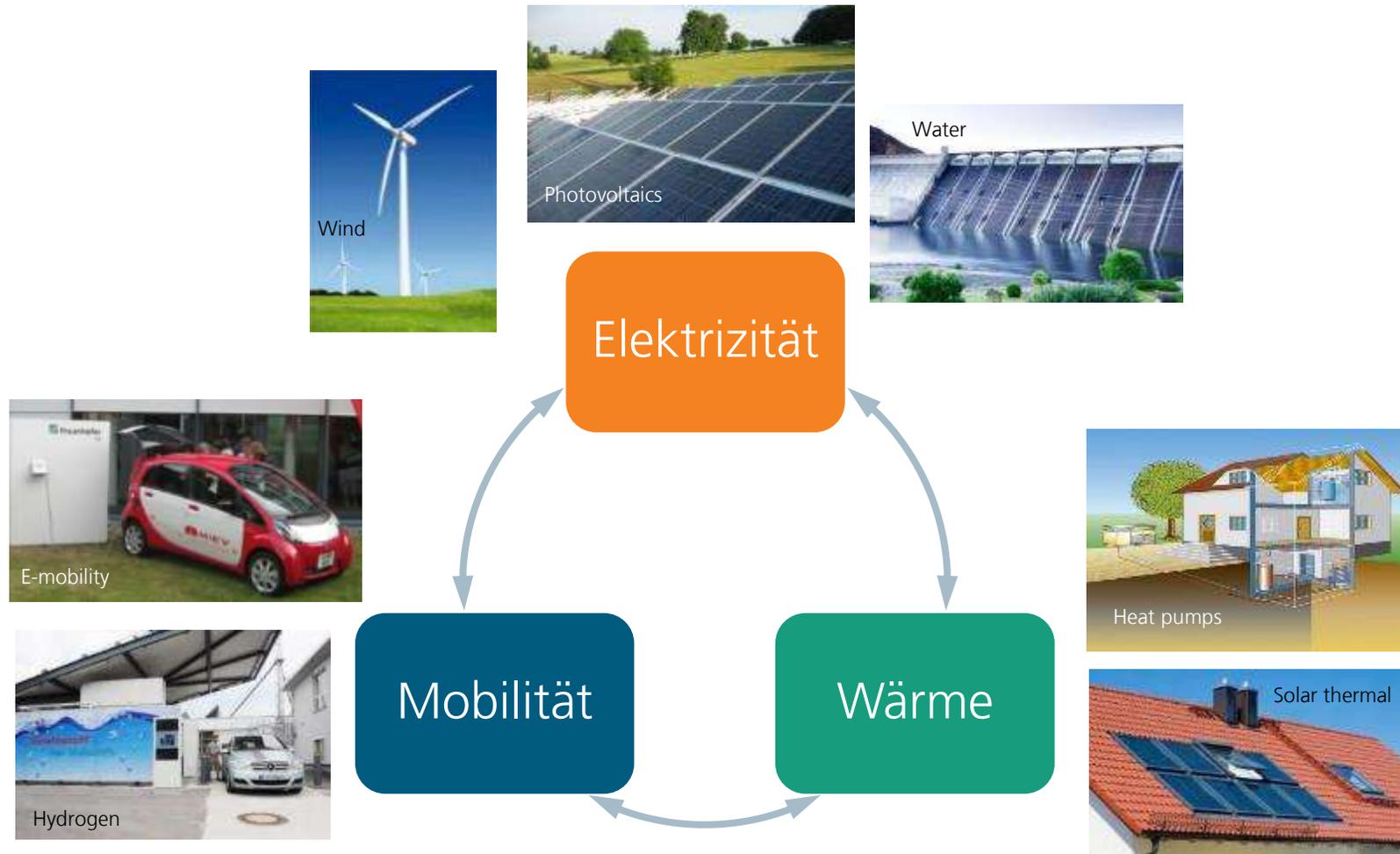


Die Aussage des IPCCs (Intergovernmental Panel on Climate Change) ist unmissverständlich: Es gibt keine realistischen Szenarien zur Klimazielerreichung „Well below 2 °C“ ohne CO₂-Senken



Zukünftiges de-fossiliertes und nachhaltiges Energiesystem

Elektrifizierung und Kopplung verschiedener Sektoren



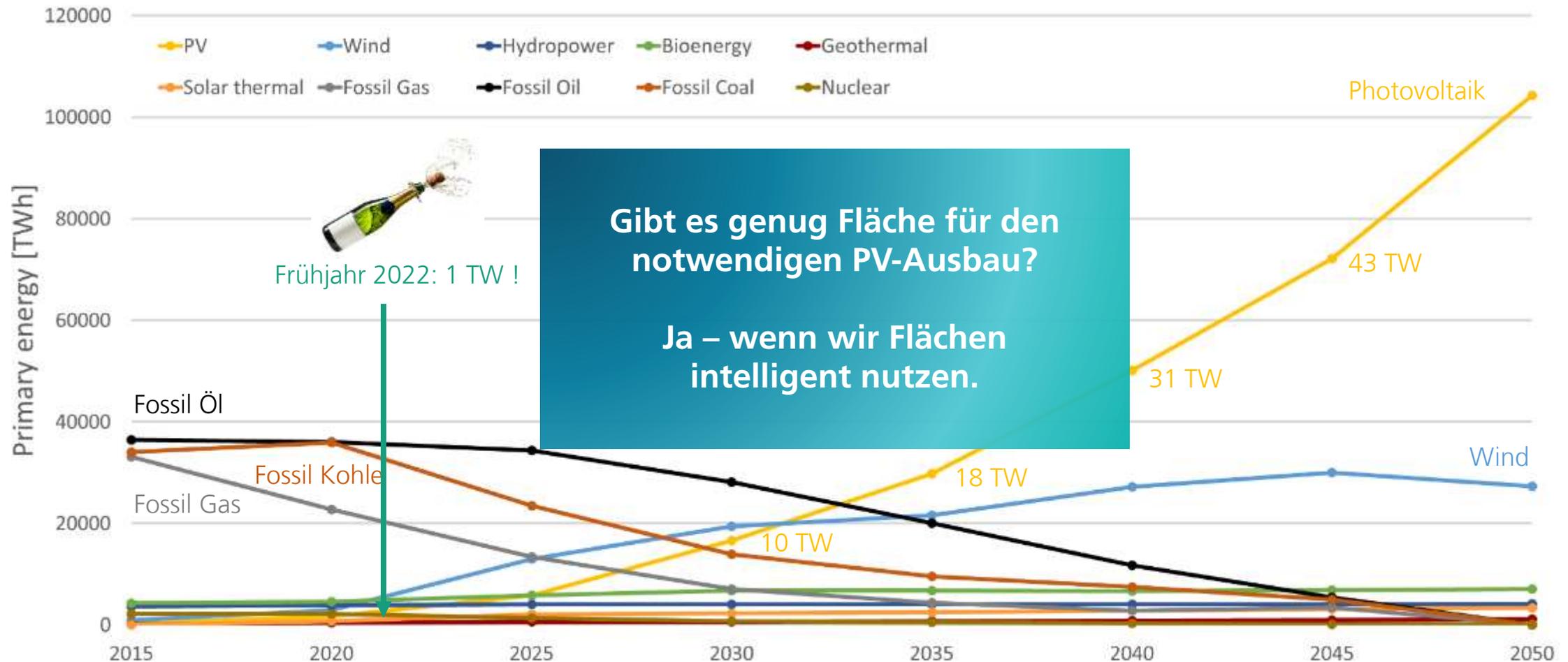
**Wir müssen alle Bereiche
unseres Energiesystems de-
fossilisieren!**

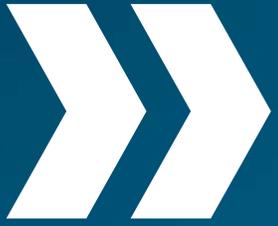
**Das ist eine
Herausforderung, bietet
aber viele Chancen.**

**→ Letztendlich:
Es wird mehr elektrische
Energie, aber weniger
Primärenergie benötigt!**

Transformation der globalen Energieversorgung auf CO₂-Neutralität 2050

Der Blick in die Zukunft

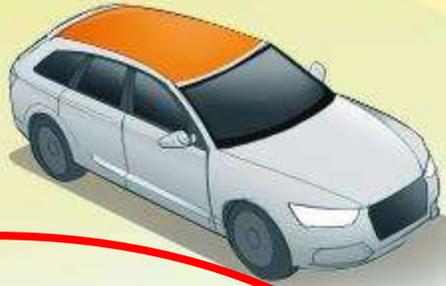




– Trilemma der Landnutzung –

Land ist notwendig für **Klimaschutz**, **Ernährungssicherheit** und Erhalt der **Biodiversität**. Nur durch die Kombinationen von Schutz und multiplen Nutzungen der Landschaft können Mehrgewinne erzielt werden, so dass **Konkurrenzen überwunden werden.** *WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2020)*

Fahrzeugintegrierte PV



Bauwerkintegrierte PV



Agri-Photovoltaik



Fokus heute

INTEGRIERTE PHOTOVOLTAIK

Urbane Photovoltaik



PV in Verkehrswegen



Schwimmende PV



Ursprung der Agri-PV und Erfolgsgeschichte

Frankreich ist Vorreiter in Europa. Es gibt seit 2017 ein staatliches Förderprogramm. Geplant sind 15 MWp Ausbau/Jahr.

Deutschland holt auf. Ab diesem Jahr ist die Agri-PV Teil des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes. Das geschätzte Potenzial für Deutschland liegt bei ca. 1700 GWp.

Die Idee

1981 die Agri-Photovoltaik Idee von Prof. Goetzberger and Zastrow

Neuer Vorschlag der Fraunhofer-Gesellschaft

Kartoffeln unter dem Kollektor



Prof. Adolf Goetzberger

Stand heute

2021 global installierte Agri-PV Kapazität min. 14 GWp



Agri-PV-Anlage, bestehend aus zwei Teilanlagen und eine Kontrollfläche von der Luft

Agri-Photovoltaik

Landnutzungs-Effizienz

- Doppelnutzung
- Vorteile für für einige Pflanzenarten



100% Kartoffeln and 100% Solarenergie



**103% Kartoffeln und 83% Solarenergie
→ 186% Landnutzungs-Effizienz**

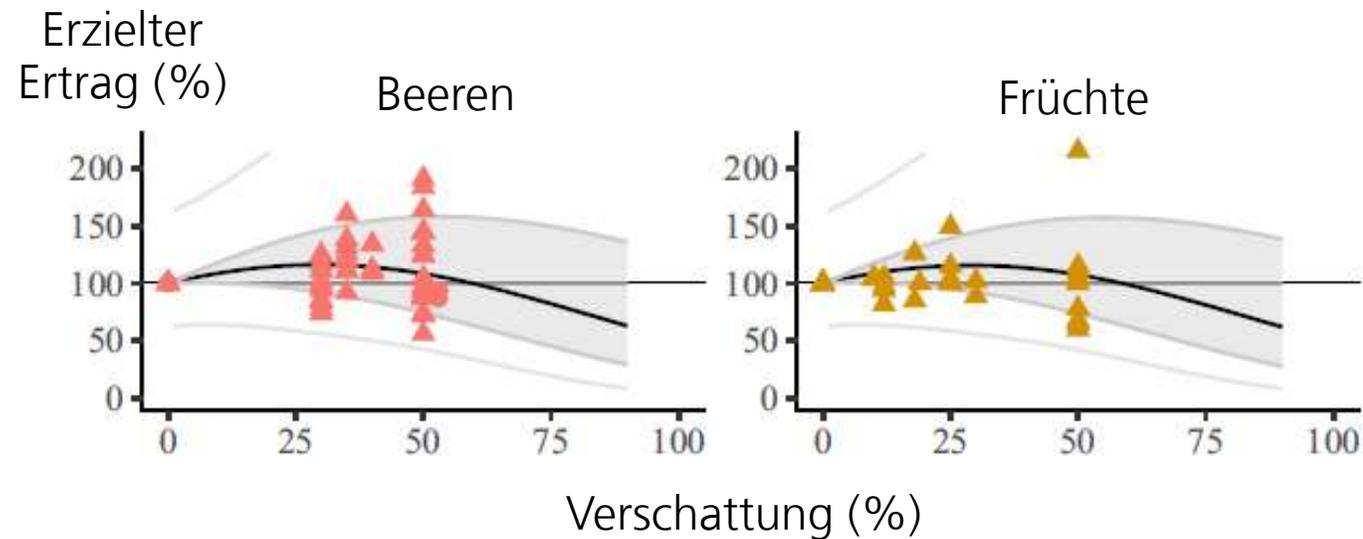
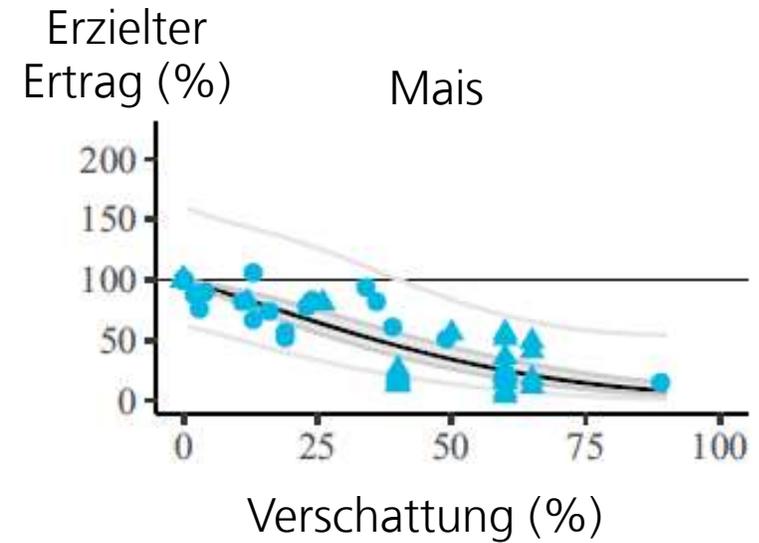
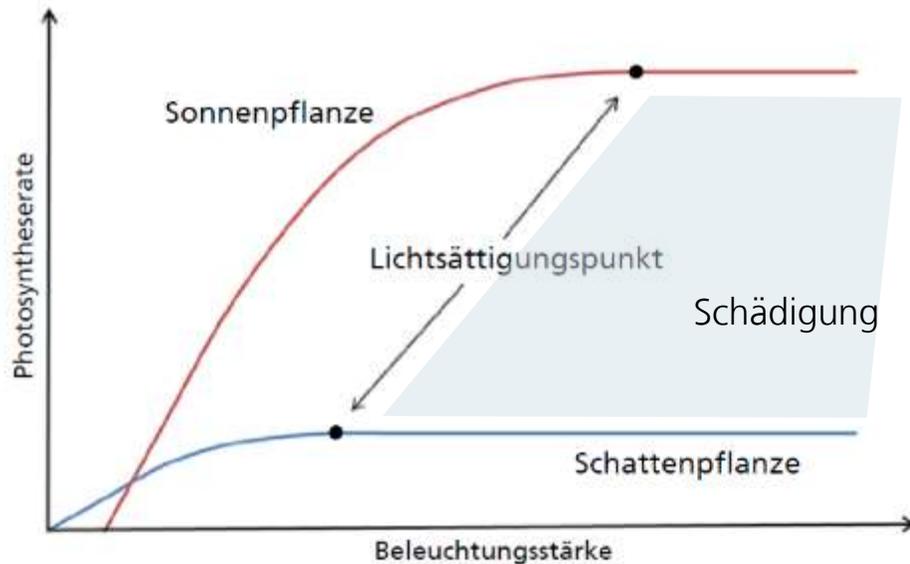


Wie viel Licht brauchen Pflanzen?

Verschattungstoleranz

Metastudie zu 58 Verschattungsexperimenten

- 38 verschiedene Kulturen und ca. 400 Datenpunkte
- Obst- und Beerenbau: Ertragssteigerungen bei geringer Verschattung, Vollertrag bei 50 % Verschattung
- Ackerbau und Grünland: auch geringe Verschattung negativ, hohe Ertragsverluste bei 50 % Verschattung



Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Take Aways

Benefits für die Landwirtschaft

- puffert Temperaturspitzen
- Verringerung von Trockenstresssituationen
- Schutz vor Dauerregen und Hagel
- Ergänzung zum herkömmlichen Hagelschutz
- Pflanzenschutzmittelreduktion
- Einkommensdiversifizierung

Benefits für die Energiewende

- großes Flächenpotenzial

Herausforderungen

- Finanzierung

- **Strategische Minimierung klimabedingter Ertrags-Verluste/ Schwankungen in der Landwirtschaft durch Agri-PV**
- **Entschärfung des Flächennutzungskonflikts**

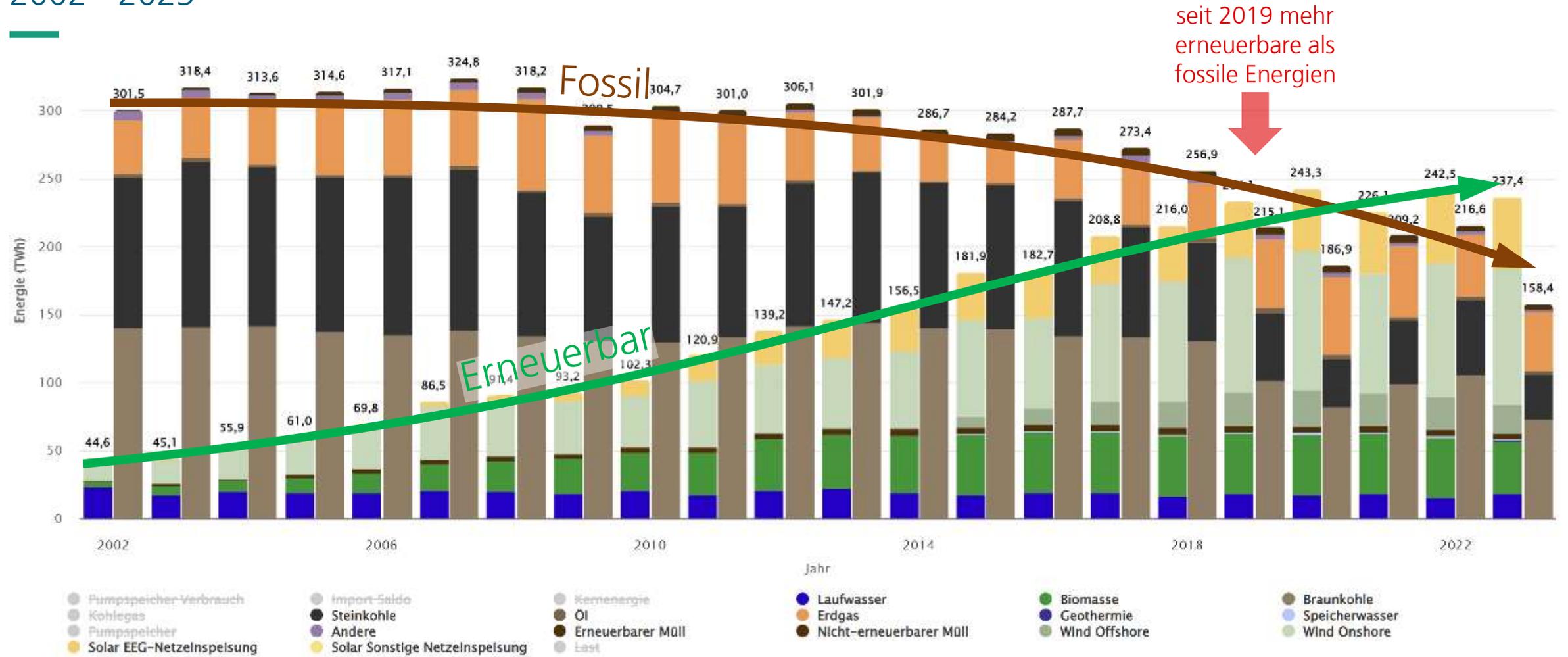
Agenda

- 1 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
- 2 Rolle der Photovoltaik im Erneuerbaren Energiesystem
- 3 **Atomausstieg in Deutschland**
- 4 Negative Emissionen
- 5 Zusammenfassung



Vergleich: Erneuerbare und fossile Stromerzeugung

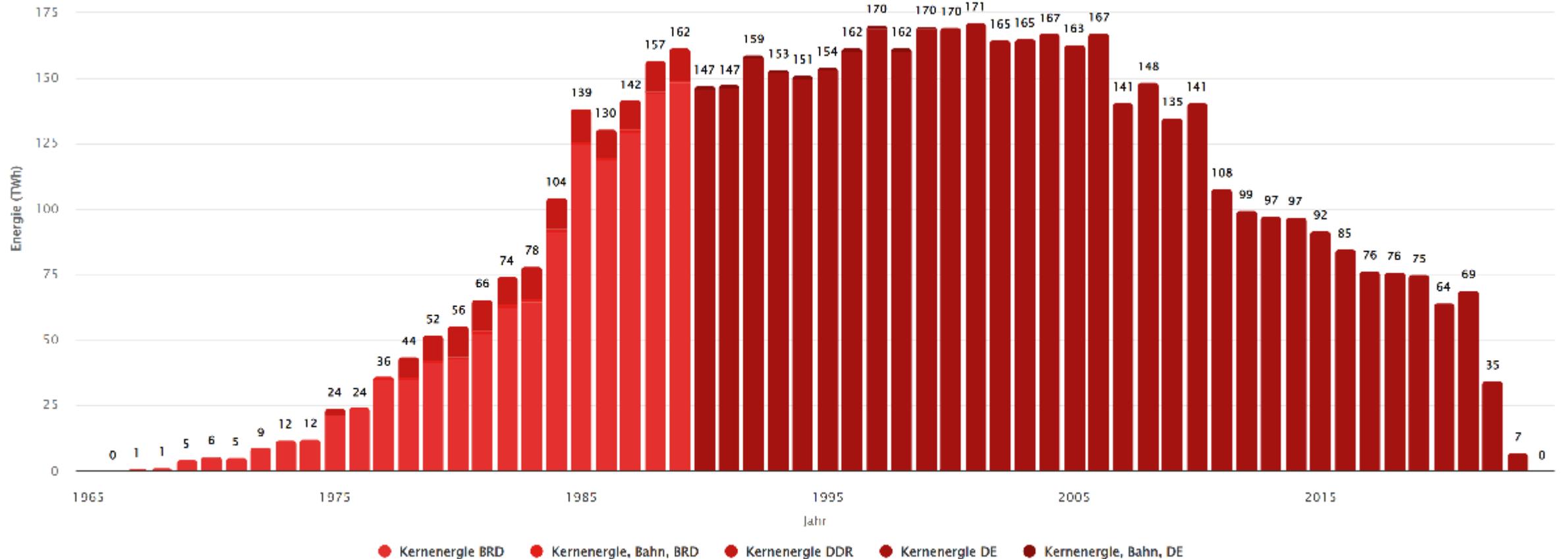
2002 - 2023



Energy-Charts.info - letztes Update: 07.12.2023, 14:42 MEZ

Die Geschichte der Kernenergie in Deutschland

Bruttostromerzeugung

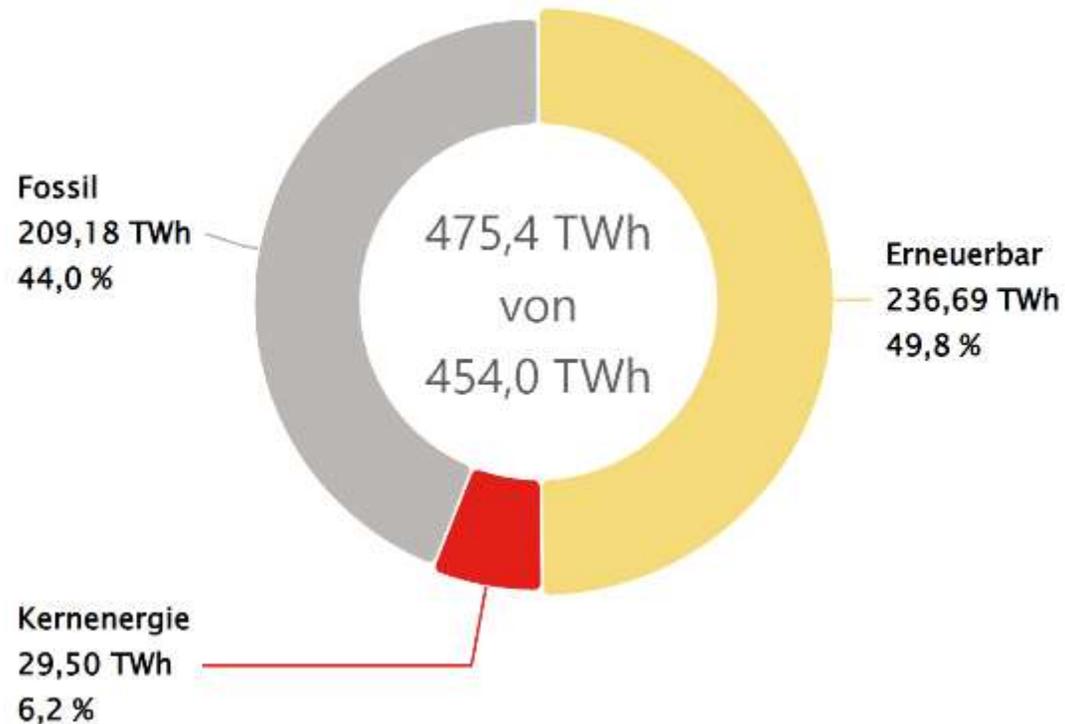


Energy-Charts.info - letztes Update: 02.04.2024, 15:30 MEZ

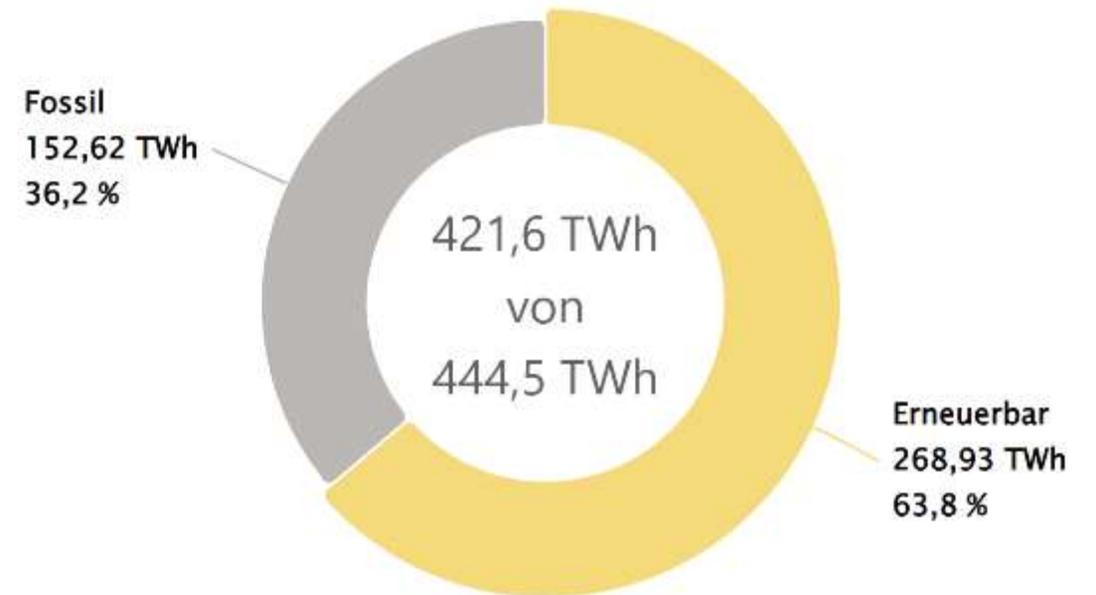
Öffentliche Nettostromerzeugung

Jahresscheiben jeweils vom 16.04. bis zum 15.04.

16.04.2022 – 15.04.2023: mit 3 AKW



16.04.2023 – 15.04.2024: ohne AKW



Strompreise für Neukunden

Jahresverbrauch von 4.000 kWh



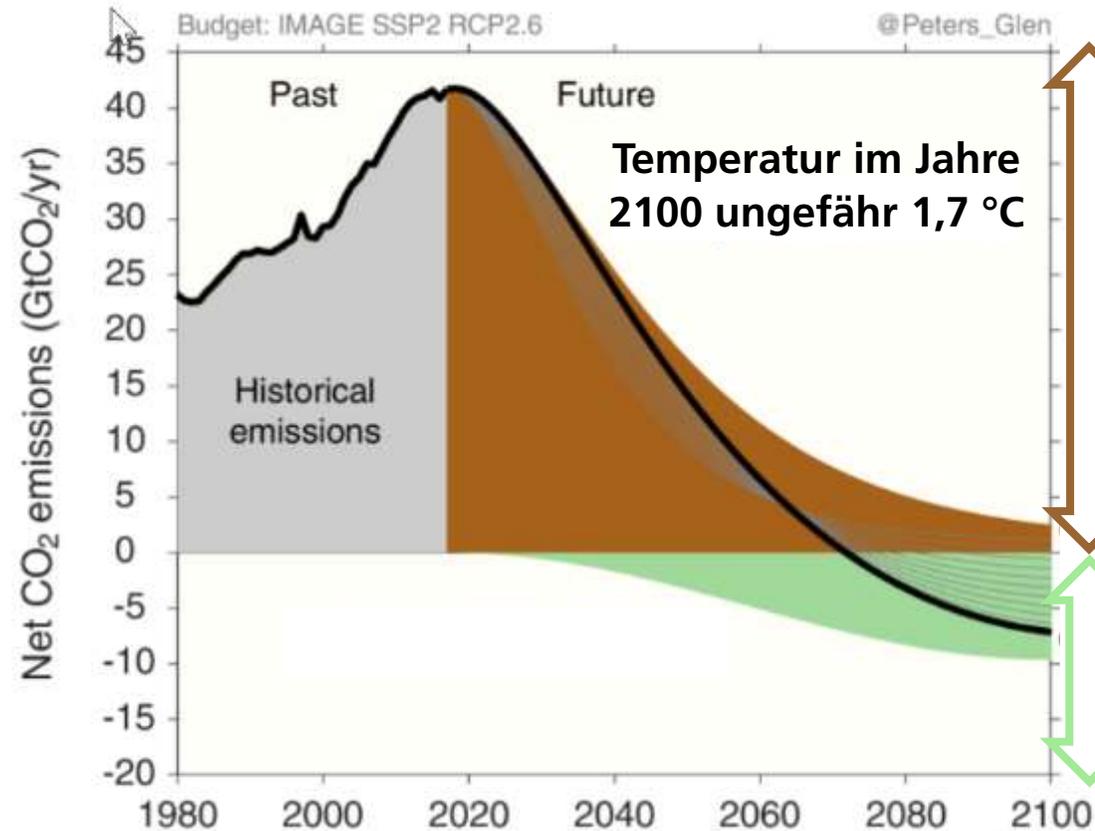
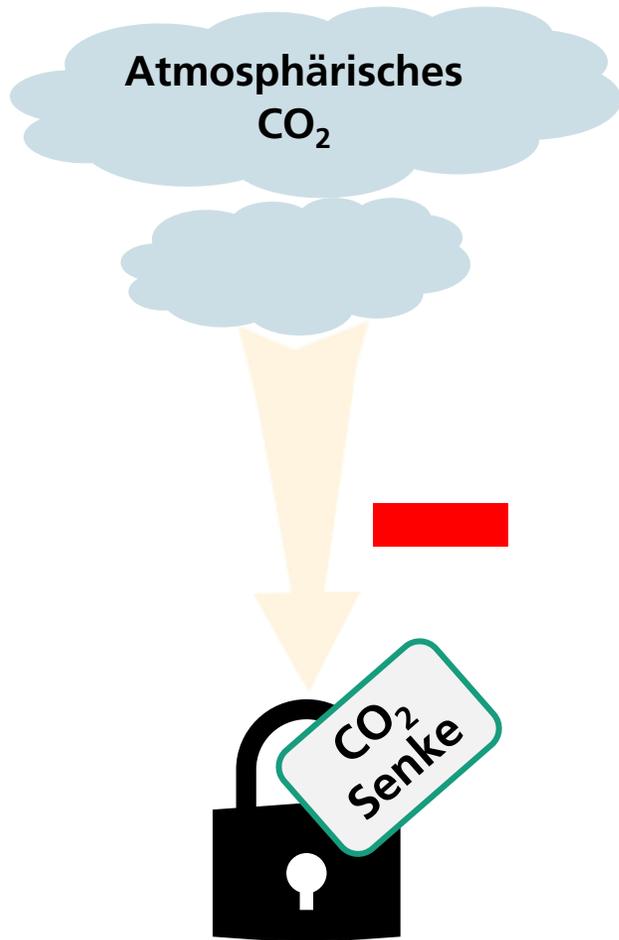
Agenda

- 1 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
- 2 Rolle der Photovoltaik im Erneuerbaren Energiesystem
- 3 Atomausstieg in Deutschland
- 4 **Negative Emissionen**
- 5 Zusammenfassung



Defossilierung und CO₂-Entnahme

Einführung

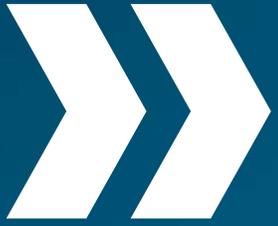


Handlungsfeld

Defossilierung:

- Vermeidung
- Reduktion
- Ressourceneffizienz
- Kreislaufwirtschaft
- Suffizienz

CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre

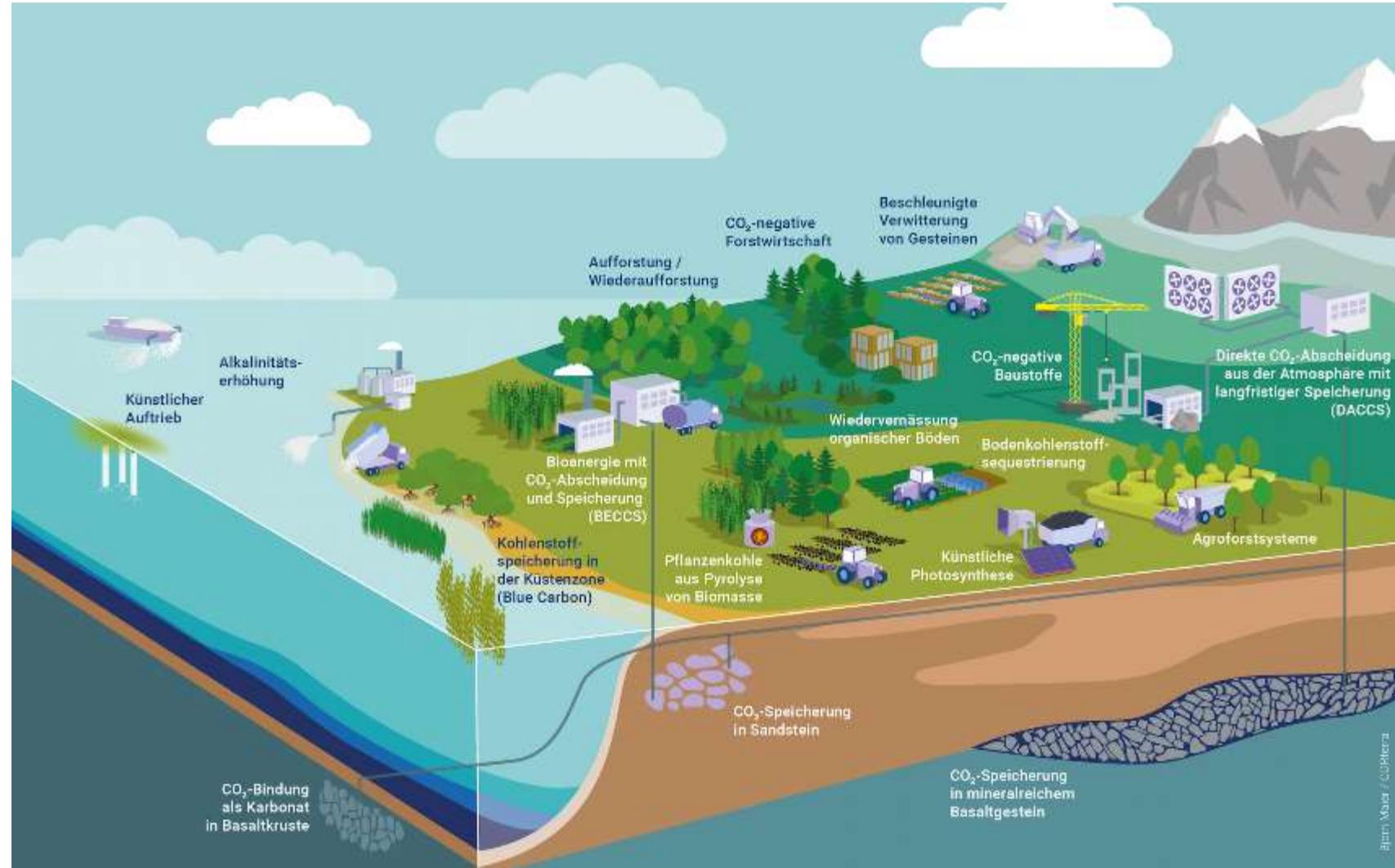


»Negative Emissionen werden durch menschliche Aktivitäten erzielt, die der Atmosphäre CO₂ oder andere Treibhausgase entziehen und diese möglichst dauerhaft in geologischen, terrestrischen oder ozeanischen Reservoirs oder in Produkten speichern.«

Zitat aus dem Eckpunktepapier des BMWKs »Langfriststrategie Negativemissionen zum Umgang mit unvermeidbaren Restemissionen (LNe)«, Februar 2024

CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre

Welche Methoden zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre gibt es?



Negative Emissionsmethoden

Eine unvollständige Methodenübersicht

Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS)



Biochar Carbon Removal (BCR/Biochar)



Direct Air Capture Carbon Capture and Storage (DACCS)



→ Wir werden all diese Methoden brauchen.

→ Alle Methoden haben Vor- und Nachteile.

beschleunigte Verwitterung



Aufforstung/Wiederaufforstung



Boden-Kohlenstoff-Anreicherung

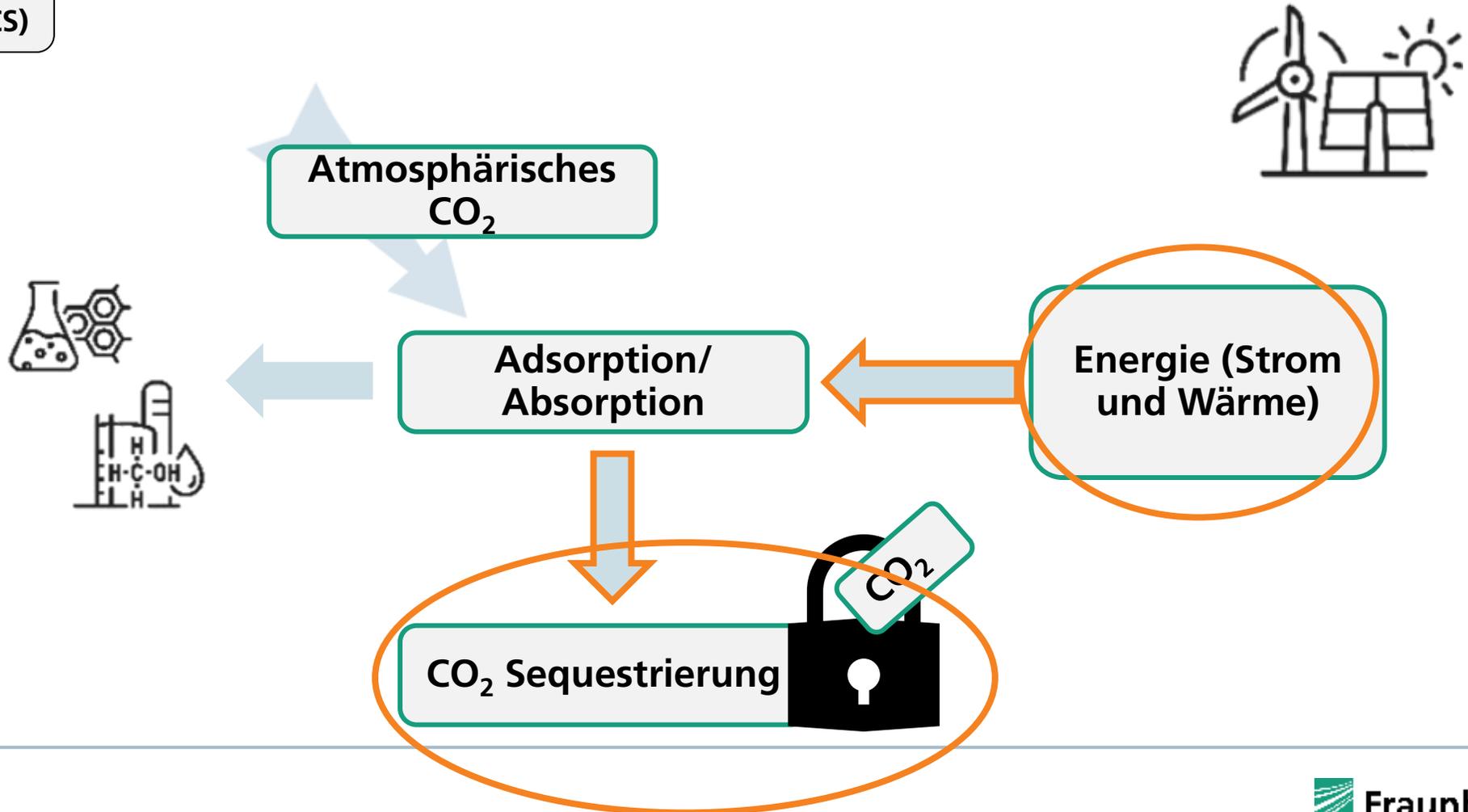


Ozean Alkalisierung



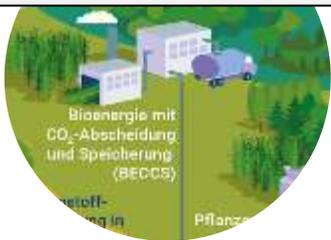
DACCS im Kontext Erneuerbarer Energiesysteme

Direct Air Capture Carbon
Capture and Storage (DACCS)



Biochar und BECCS im Kontext Erneuerbarer Energiesysteme

Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS)



Biochar Carbon Removal (Biochar/ BCR)



Photosynthese

Atmosphärisches CO₂



Reststoff Biomasse

Biochar

CO₂

Pyrolyse

andere Konversions-Technologien

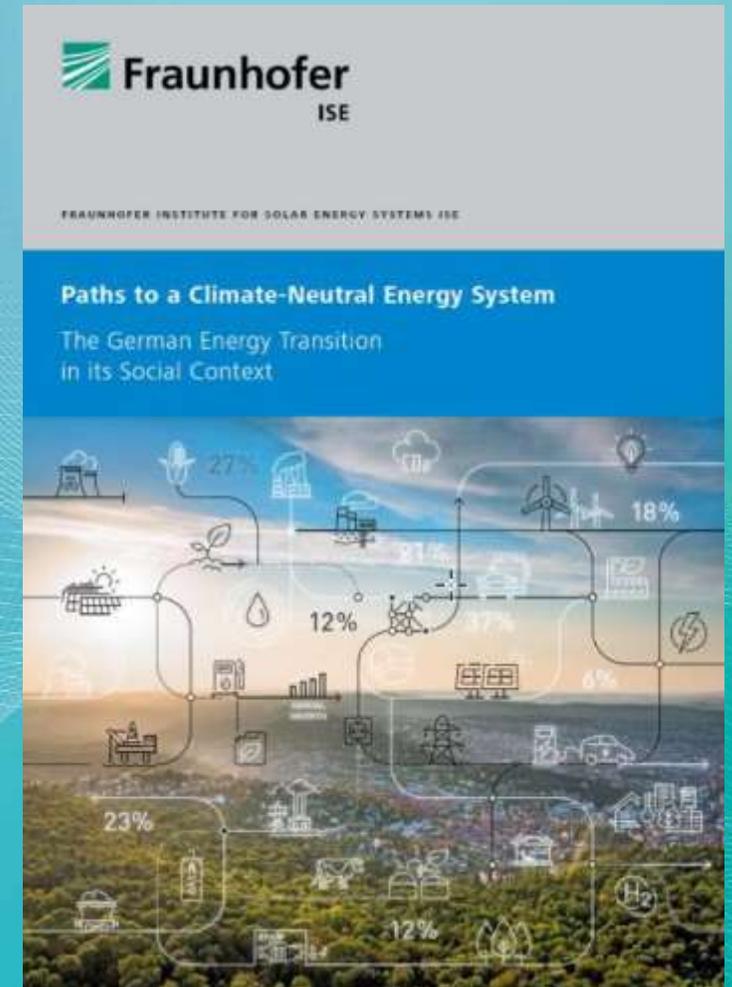
Energie (Wärme/Strom) und Gas, Öl

CO₂ Sequestrierung

CO₂



Negative Emissionstechnologien (NET) als Teil der Erneuerbaren Energiesysteme-Systeme - REMod Simulationen



Integrierte Analyse von NET im Gesamtsystemmodell REMod

Integration von NET:

- BECCS: Biomassekraftwerk mit Fernwärme-, Stromauskopplung und CO₂-Sequestrierung¹
- BCR: Biomassepyrolyse mit Fernwärmeauskopplung und Biochar²
- DACCS: Flexible „Low Temperature“-Direktabscheidung

DACCS

Wärme

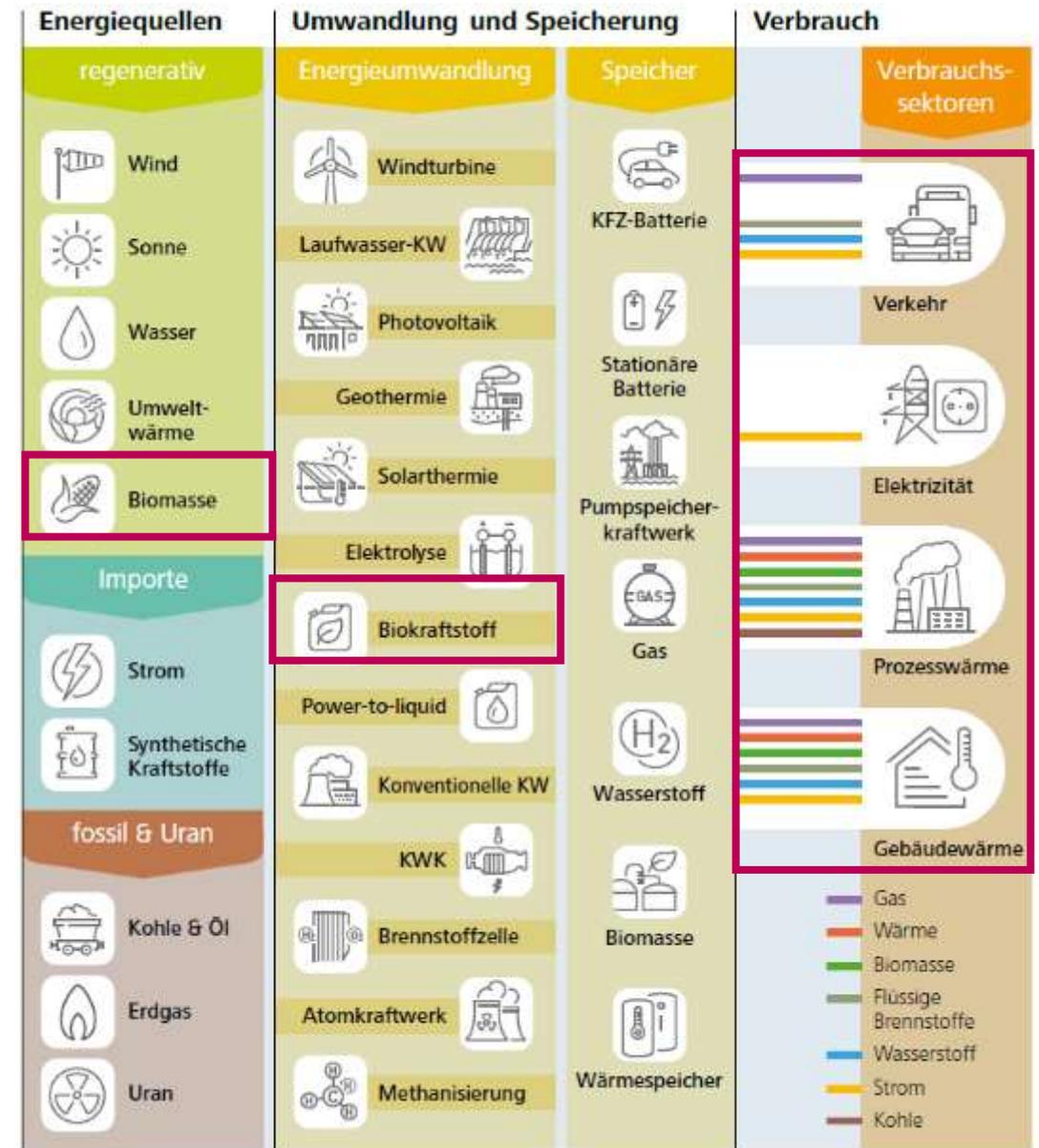
BECCS

Strom

BCR

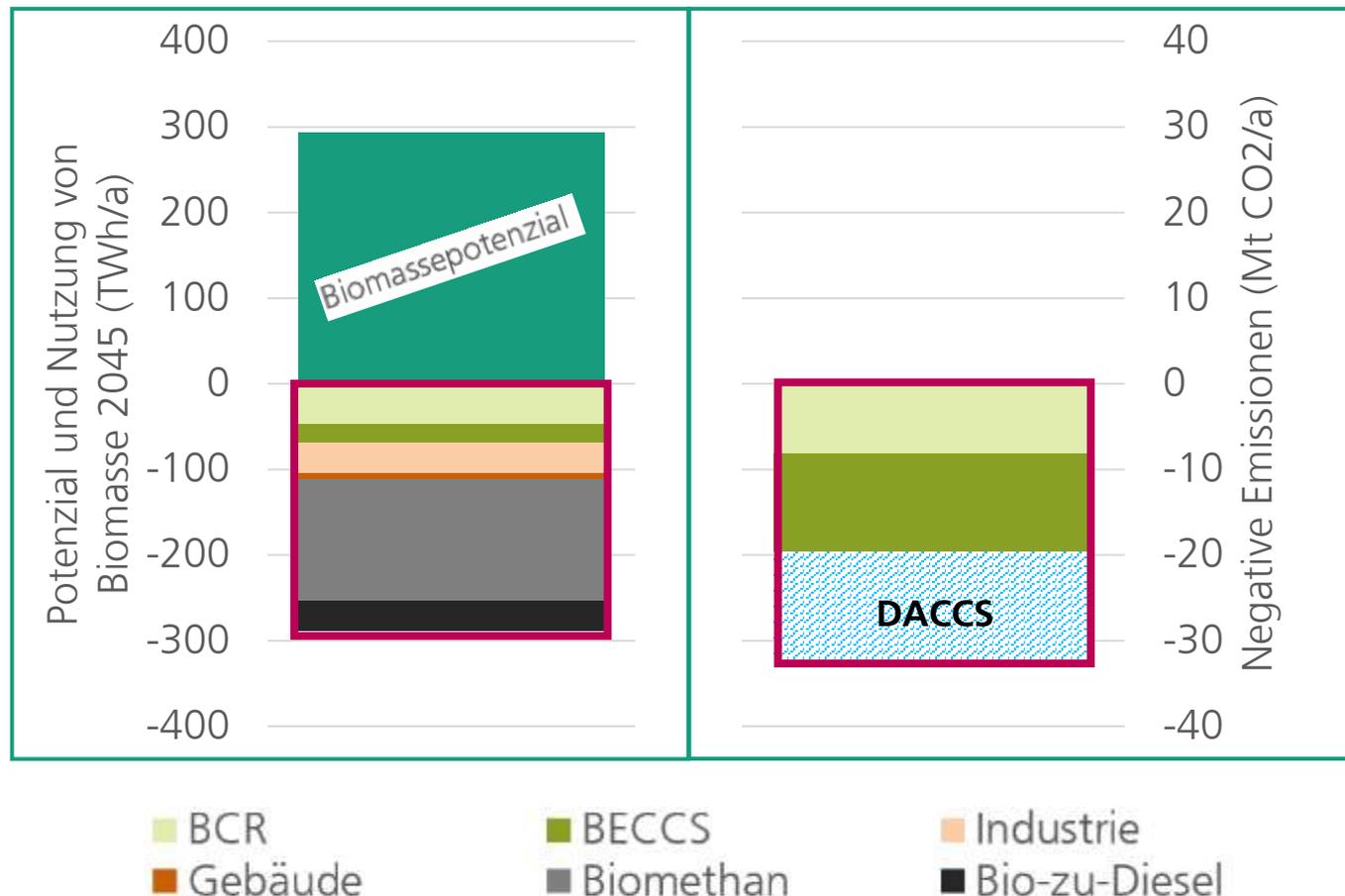
Biomasse

CO₂



Biomasse-basierte NETs stehen in Konkurrenz um nachhaltige Biomasse

Ein Beispiel Szenario für Deutschland 2045, CO₂-neutral



Biomasseeffizienz

- Konkurrenz um nachhaltige Biomasse: Nutzen für 1) THG-neutrale Endenergie, 2) Biomethan und Biokraftstoffe, 3) NET
- NET nötig, um schwer vermeidbare Residualemissionen zu kompensieren
- Biomasseeffizienz entscheidend für NET

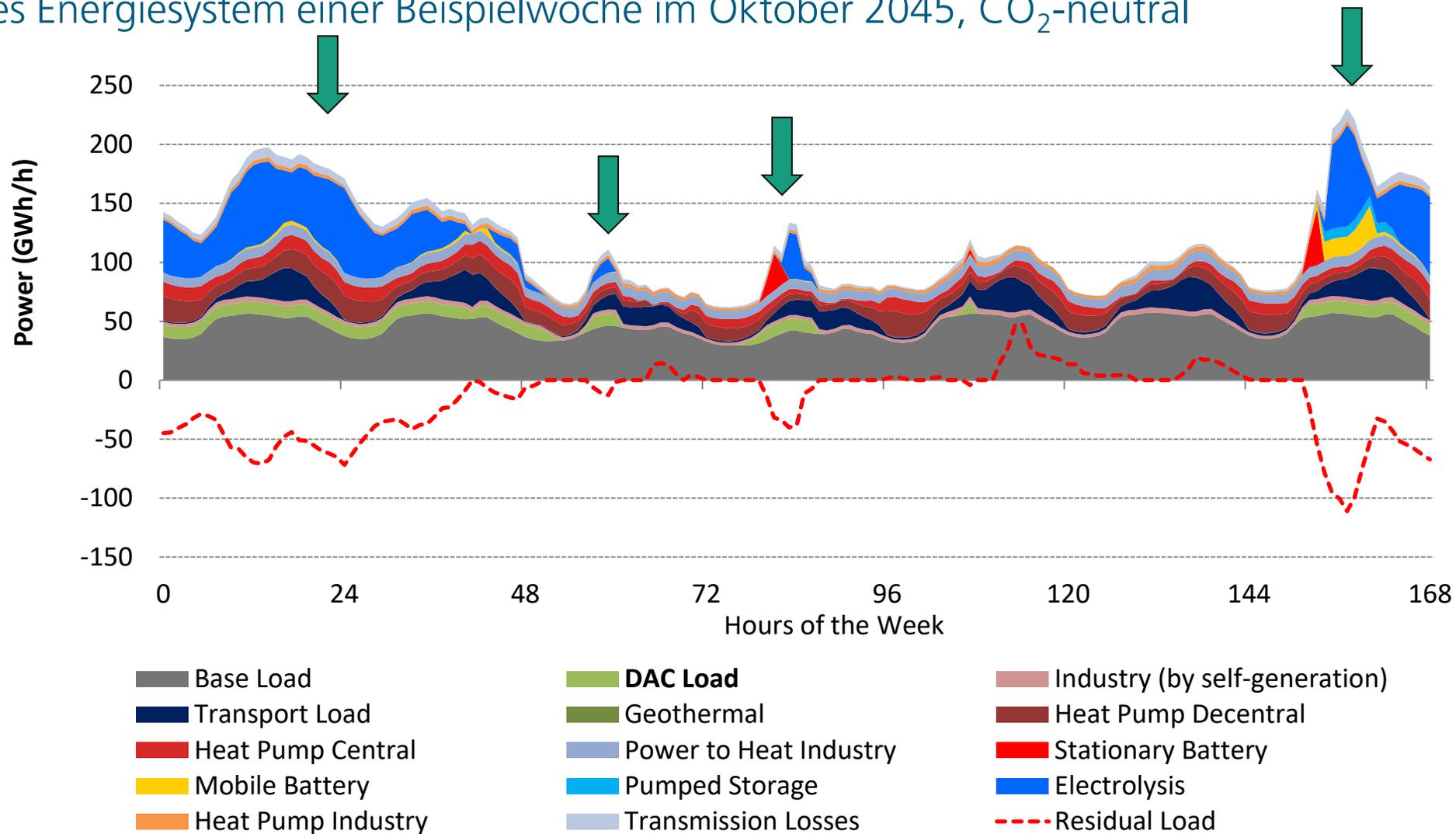
Einflussfaktoren auf NET-Ausbaupfad

- nachhaltiges Biomassepotenzial
- Biomasseeffizienz der einzelnen NET
- Technologieverfügbarkeit
- schwer vermeidbare Residualemissionen

DACCS als flexibler Verbraucher

Stromverbrauch deutsches Energiesystem einer Beispielwoche im Oktober 2045, CO₂-neutral

DACCS kann flexibel Strom aus EE nutzen.



Agenda

- 1 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
- 2 Rolle der Photovoltaik im Erneuerbaren Energiesystem
- 3 Atomausstieg in Deutschland
- 4 Negative Emissionen
- 5 **Zusammenfassung**



Zusammenfassung

1

Photovoltaik ist eine zentrale Säule im zukünftigen Erneuerbaren Energiesystem.

2

Agri-PV ist ein Beispiel einer Doppelnutzung von Flächen, bei der die Landwirtschaft und die Energiewende profitiert.

3

Der Atomausstieg in Deutschland ist erfolgreich vollzogen.

4

Auch Negative Emissionen werden in klimaneutralen EE-Systeme eine zentrale Rolle spielen.

Biochar Carbon dioxide Removal (Biochar/ BCR)



Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS)



Direct Air Capture Carbon Capture and Storage (DACCS)



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Prof. Andreas Bett
andreas.bett@ise.fraunhofer.de

*Danke an die Kolleg*innen Saskia
Pospischil-Kühnhold, Markus Kaiser +
Christoph Kost und Bruno Burger*