

Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem: Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen

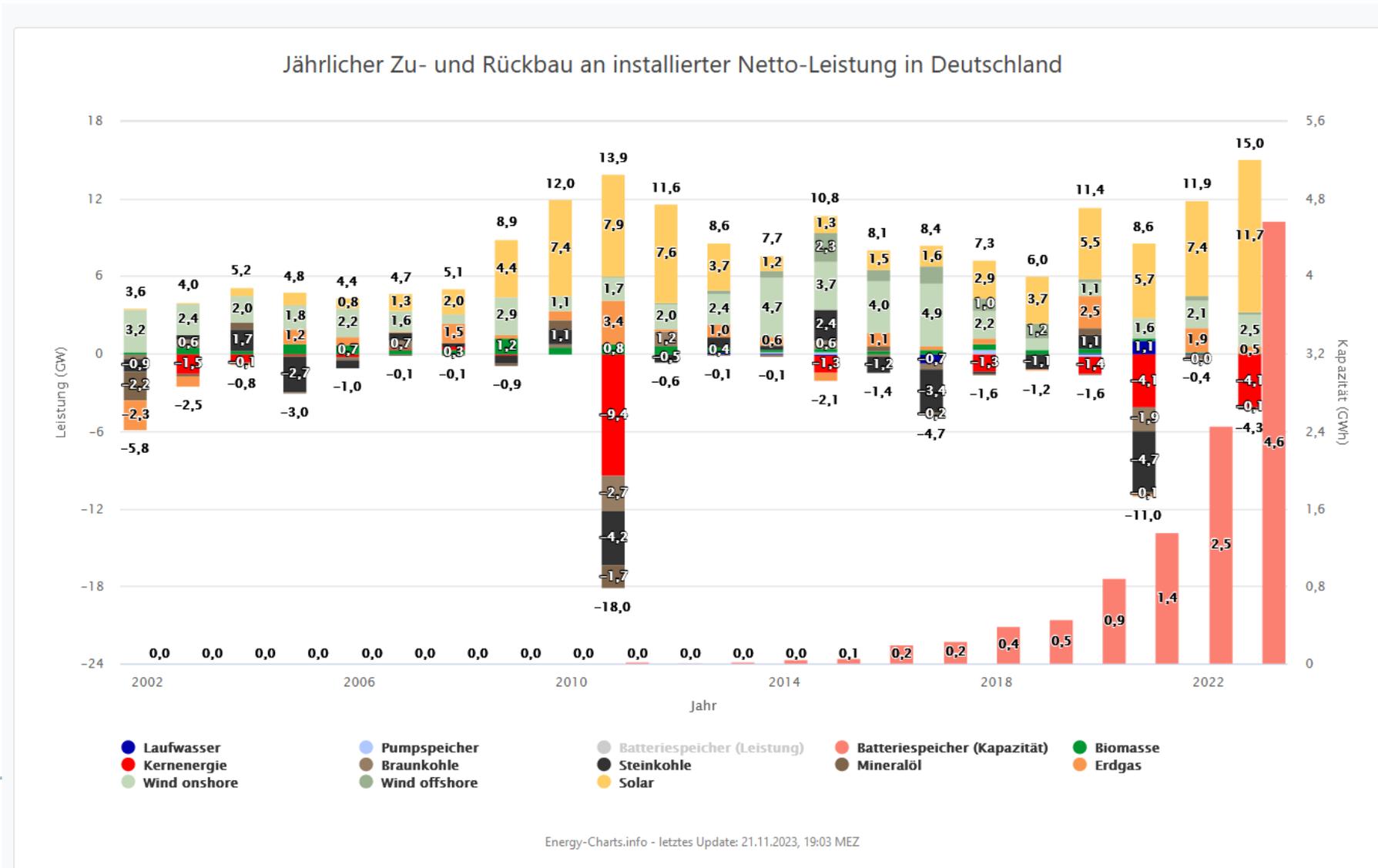
Dr. Christoph Kost
Gruppenleiter für Energiesysteme und Energiewirtschaft,
Fraunhofer ISE

Die heutigen Dimensionen der Erneuerbaren Energien



Source: ENBW, ISE, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, EUWID-Energie, PV magazine

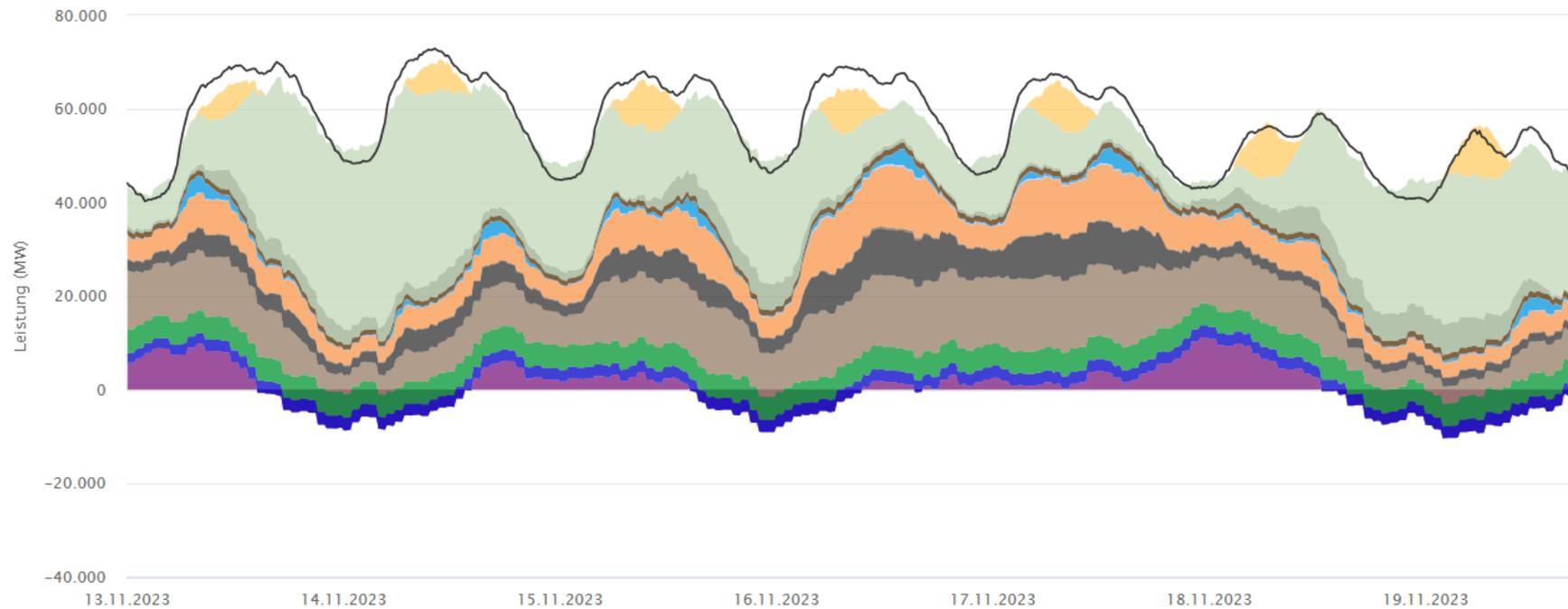
Jährlicher Zubau von Kraftwerksleistungen in Deutschland



Die Stromerzeugung ist schon stark erneuerbar geprägt

Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland in Woche 46 2023

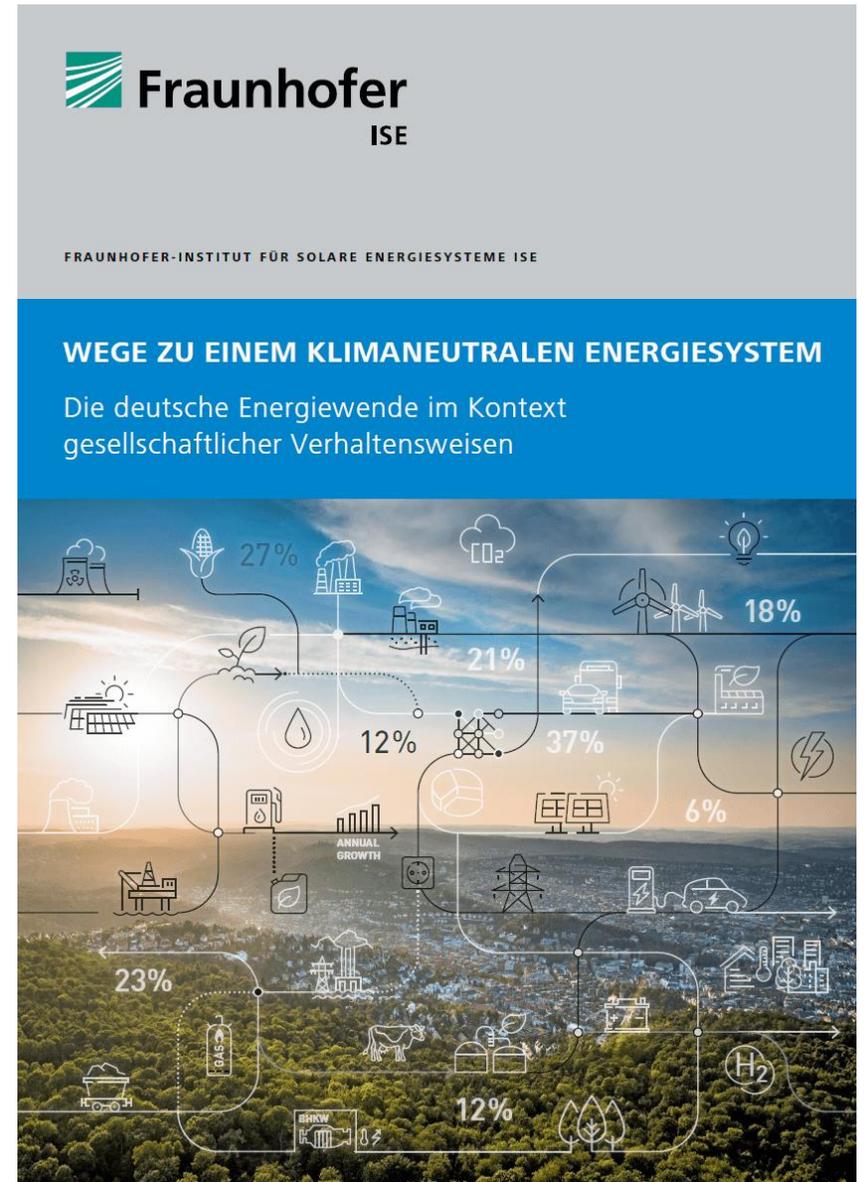
Energetisch korrigierte Werte



- | | | | |
|--|---|--|--|
|  Pumpspeicher Verbrauch |  Grenzüberschreitender Stromhandel |  Kernenergie |  Laufwasser |
|  Biomasse |  Braunkohle |  Steinkohle |  Öl |
|  Erdgas |  Geothermie |  Speicherwasser |  Pumpspeicher |
|  Andere |  Müll |  Wind Offshore |  Wind Onshore |
|  Solar |  Last |  Residuallast |  Anteil EE an der Erzeugung |
|  Anteil EE an der Last |  Day Ahead Auktion (DE-LU) | | |

Klimaneutralität 2045 – Wie geht es weiter?

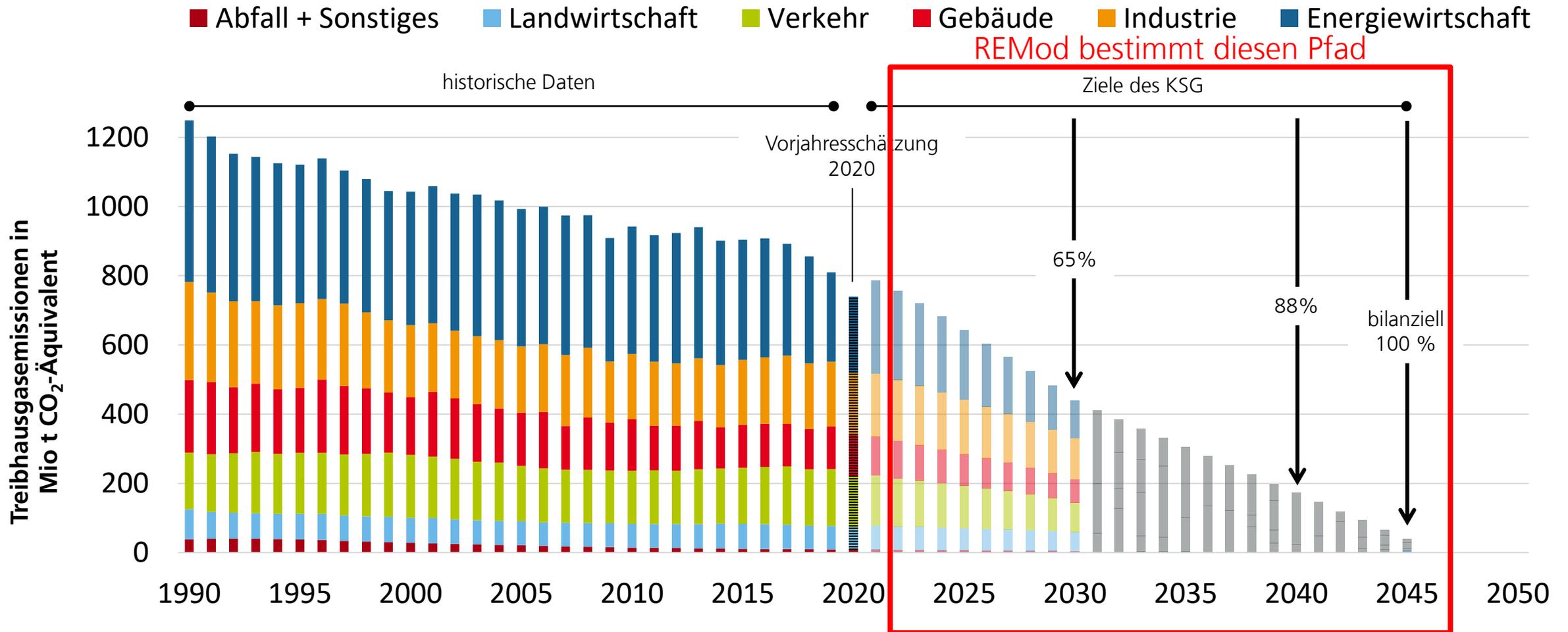
- **Wie sehen Transformationspfade für das deutsche Energiesystem bis 2045 aus?**
- **Welchen Einfluss haben gesellschaftliche Verhaltensweisen und Trends?**
- Veröffentlichung im Oktober 2021 – Kontinuierlicher Update z.B. Gaskrise
- Studie durchgeführt am Fraunhofer ISE in der Gruppe Energiesysteme und Energiewirtschaft
- Online zum Download verfügbar



<https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html>

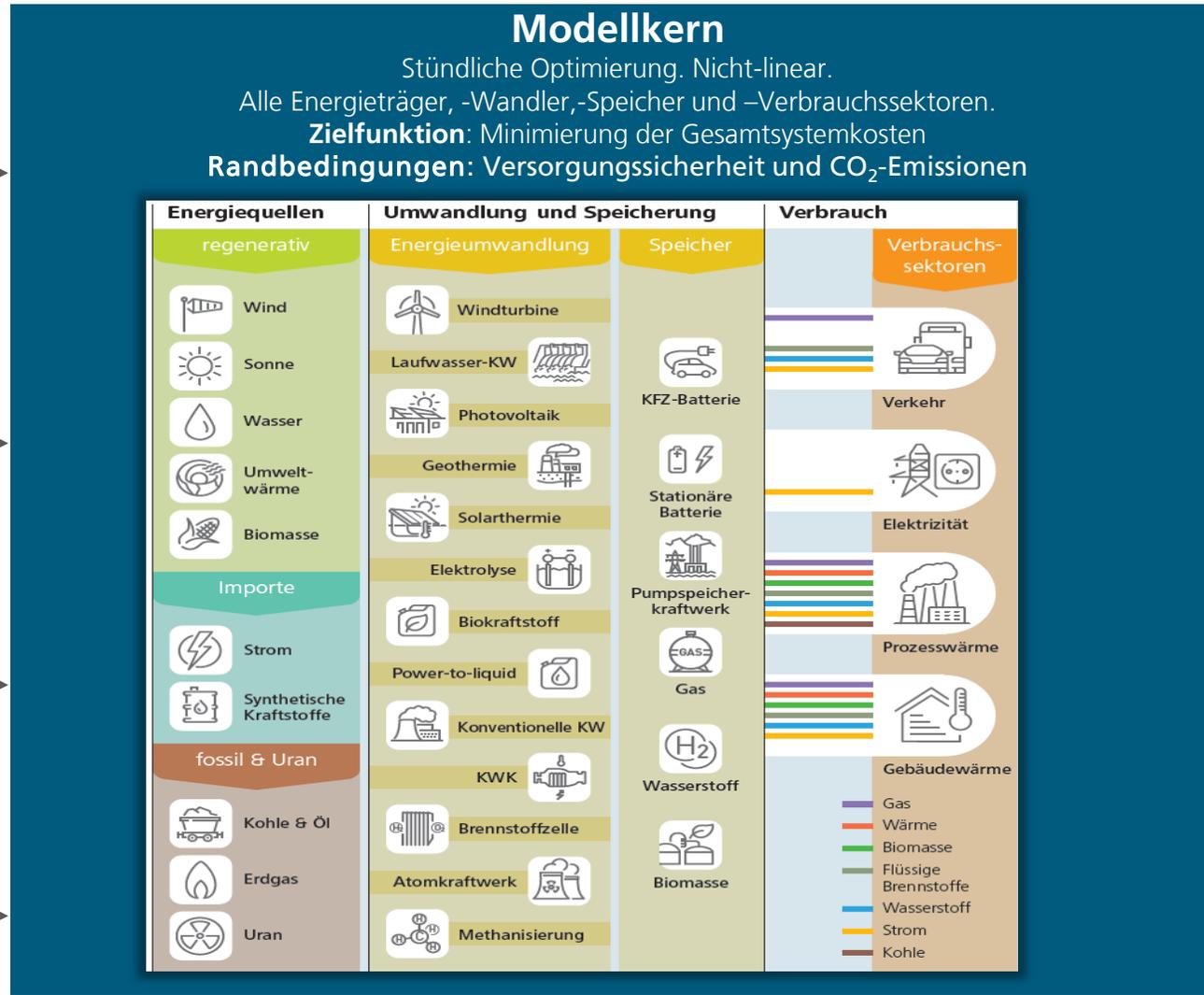
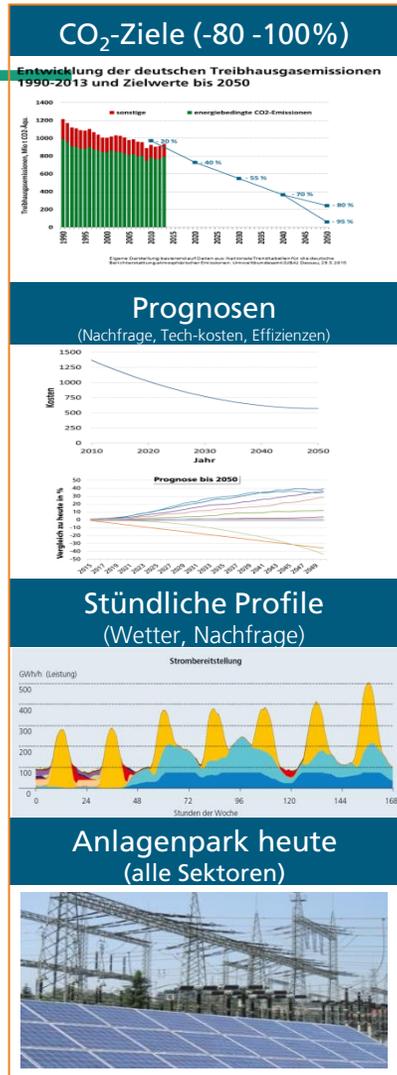
Ausgangslage

THG-Emissionen Deutschlands – Historie und Ziele nach Klimaschutzgesetz

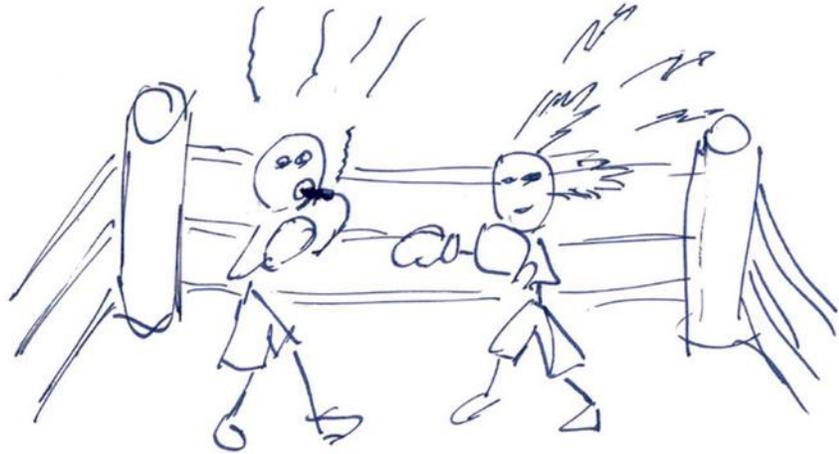


Historische Daten und VJS: Vorjahresschätzung (VJS) der deutschen Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2020. Umweltbundesamt, 15.3.2021

REMod – Sektorenübergreifendes Energiesystemmodell



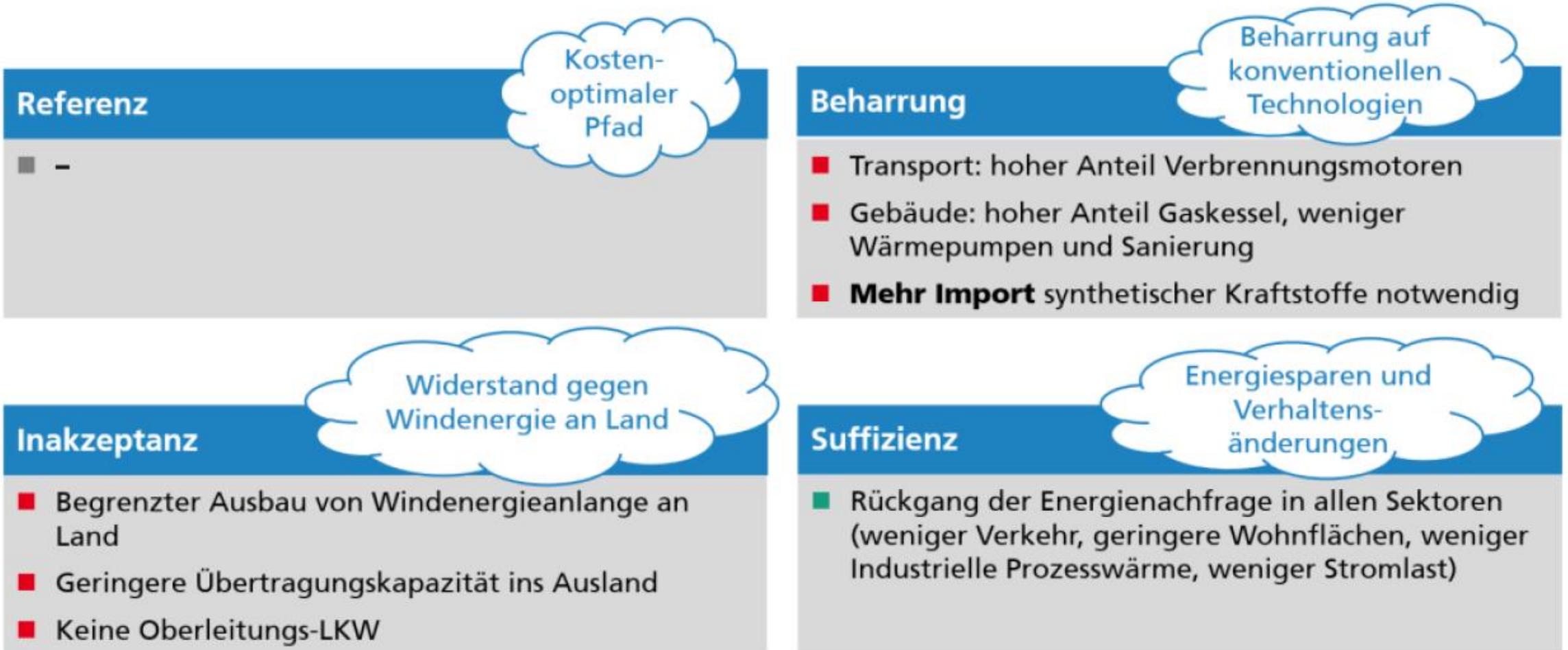
Verbrenner vs. Elektro



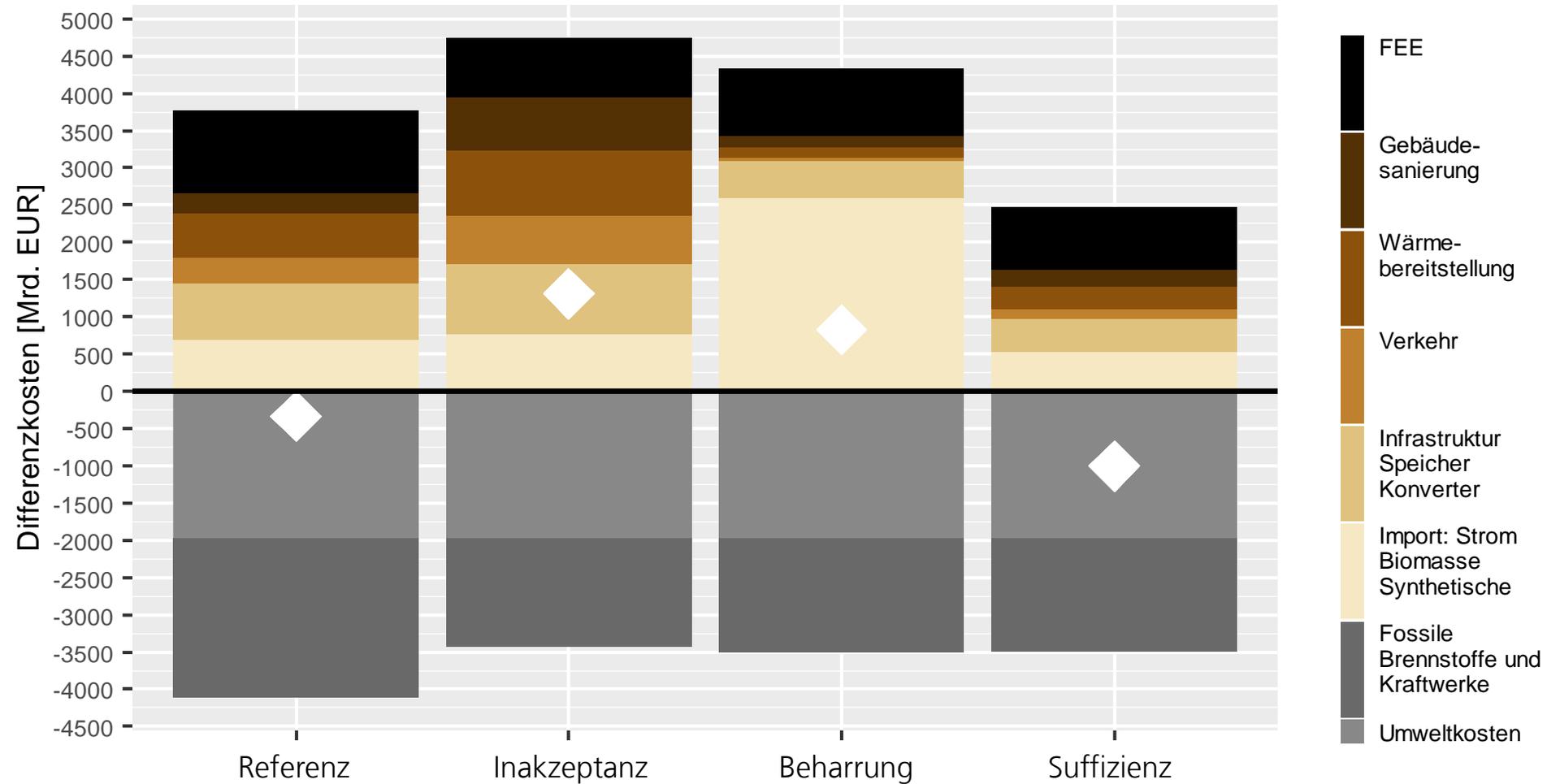
2049
ELEKTROMOBILITÄT
www.2049.at



Transformationsszenarien bis zur Klimaneutralität 2045

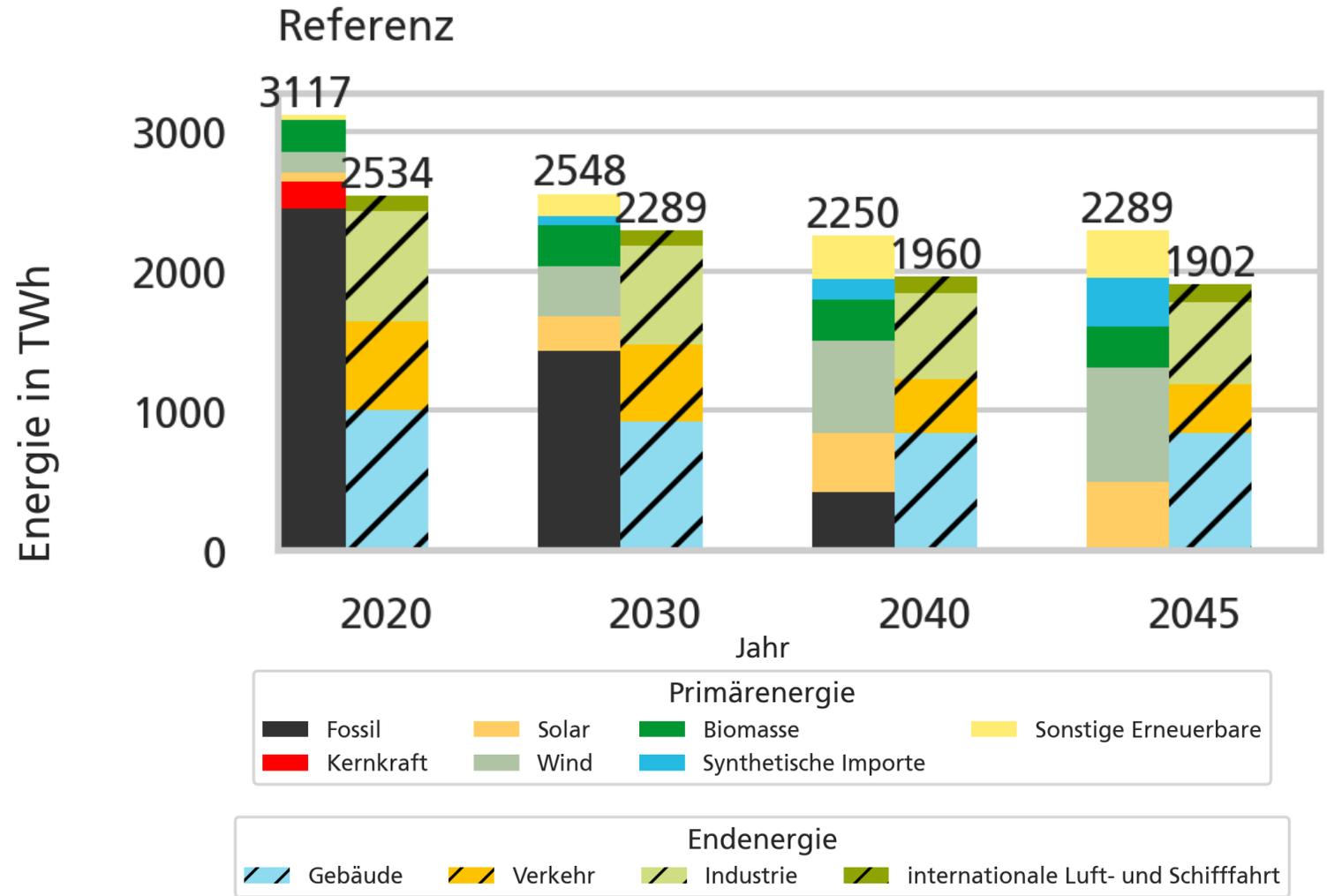


Die Kosten der Energiewende in Abhängigkeit von den gesellschaftlichen Verhaltensweisen



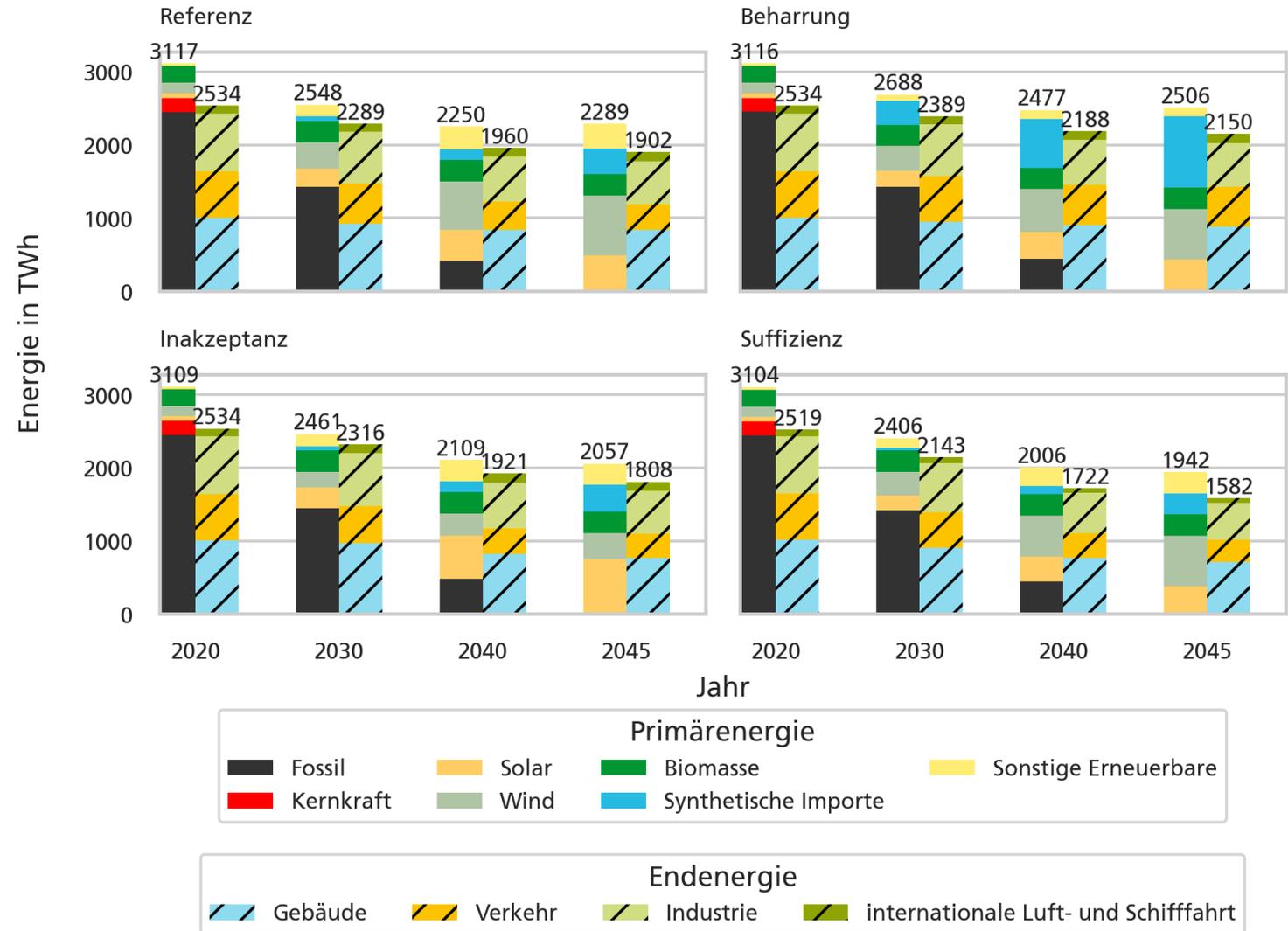
Entwicklung von Primärenergie und Endenergie in Deutschland

- Heute: 80% durch fossile Energiequellen
 - Solar ca. 2%, Wind ca. 5%
- 2045: Solar und Wind sind die wichtigsten Primärnergiequellen mit ca. 1300 TWh, dazu Biomasse, andere EE und Importe
- Endenergie geht stark zurück in allen Sektoren

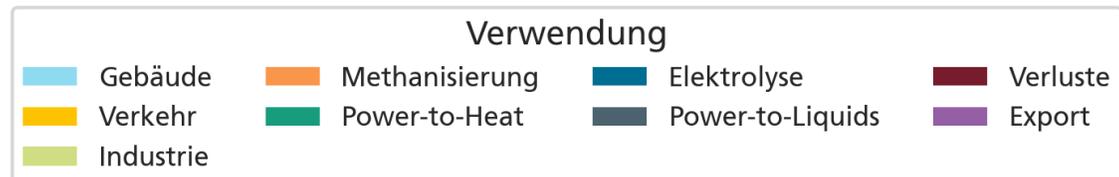
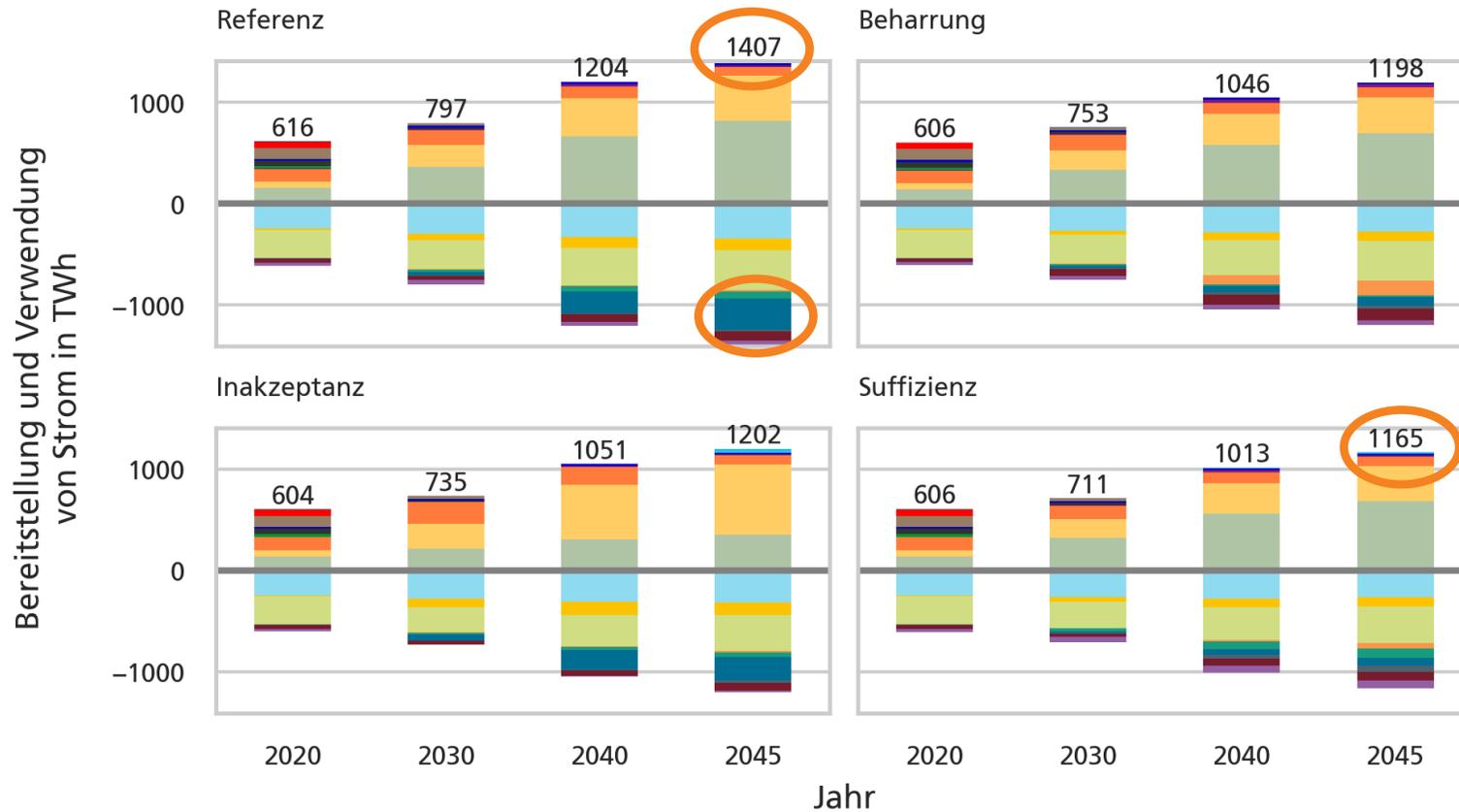


Entwicklung von Primärenergie und Endenergie

- Heute: 80% durch fossile Energiequellen
 - Solar ca. 2%, Wind ca. 5%
- 2045: Solar und Wind sind die wichtigsten Primärnergiequellen mit ca. 1300 TWh, dazu Biomasse, andere EE und Importe
- Endenergie geht stark zurück in allen Sektoren

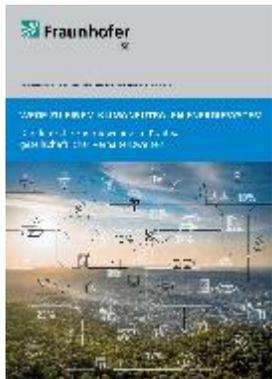


Strom wird der zentrale Energieträger in einem dekarbonisierten Energiesystem



Welche Technologien benötigen wir für die Energiewende?

Zielwerte 2030 und 2045 auf Basis der Rechnungen mit dem Energiesystemmodell REMod



PV

GW



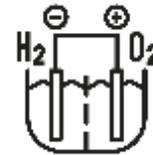
Wind

GW



Batterie

GWh



Elektrolyse

GW



Konventionelle Kraftwerke

GW



Wärmepumpen

Anzahl in Millionen



E-Mobilität: PKW

Anzahl in Millionen



E-Mobilität: LKW

Anzahl in Millionen

2030

Szenarienbandbreite

171
↕
202

130
↕
144

49
↕
104

4
↕
11

96
↕
111

4,5
↕
5,8

12
↕
20

0,05
↕
0,07

2045

Szenarienbandbreite

332
↕
429

231
↕
265

118
↕
178

44
↕
91

138
↕
152

12,5
↕
14,9

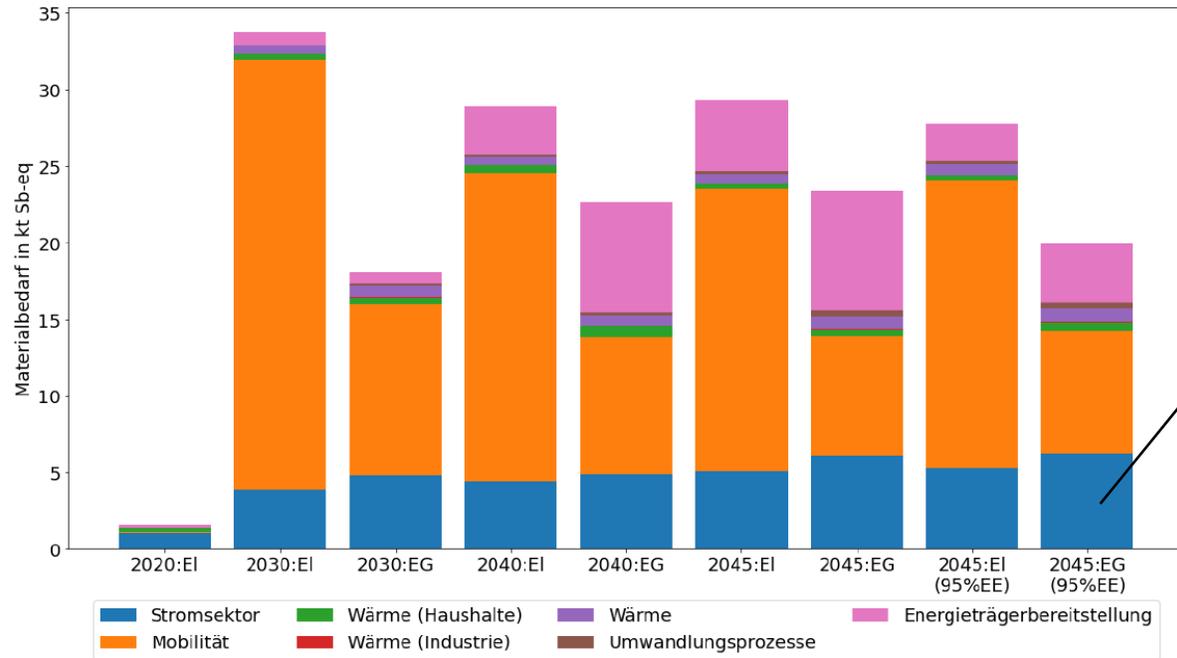
30
↕
41

0,61
↕
0,41

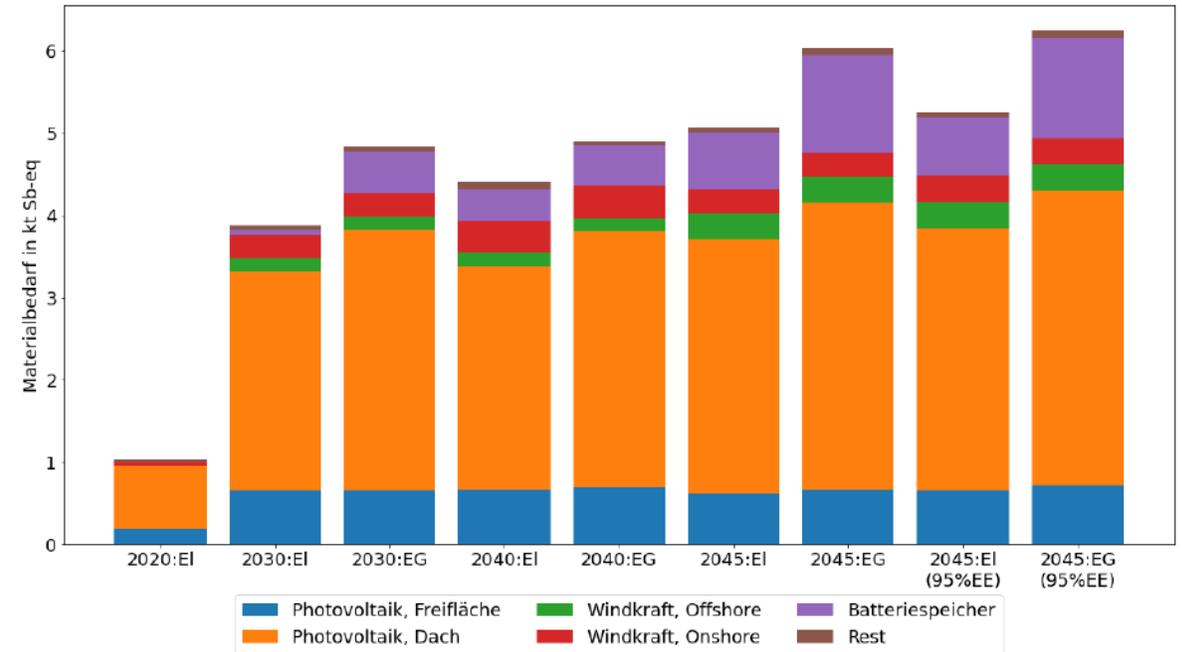
Möglichkeiten der Bewertung von Energieszenarien

Ex-post Quantifizierung der Ressourcenbedarfe durch LCA

Materialbedarf Gesamtsystem



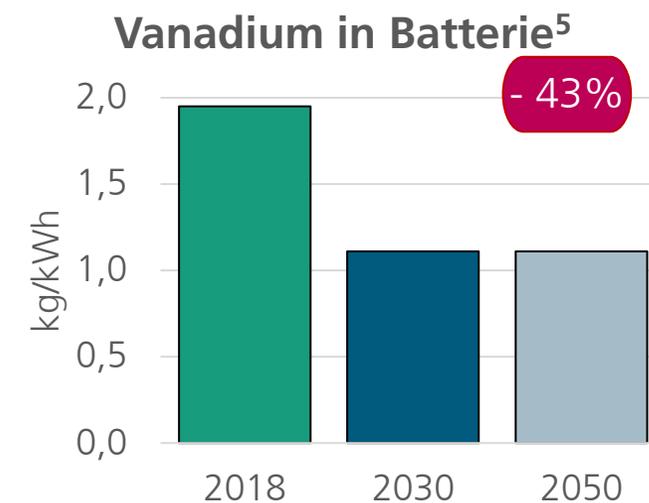
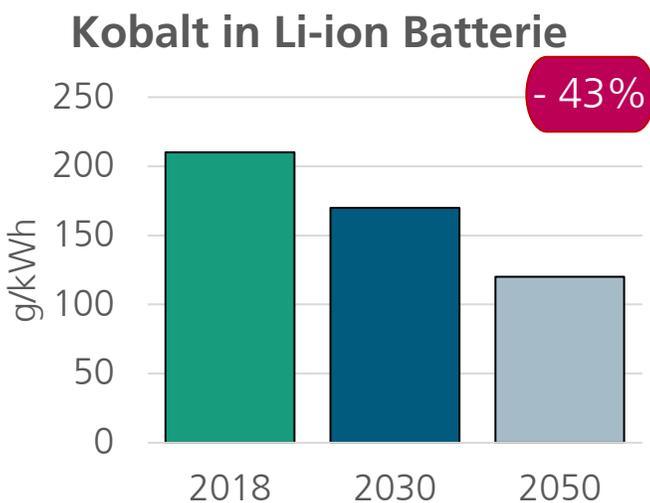
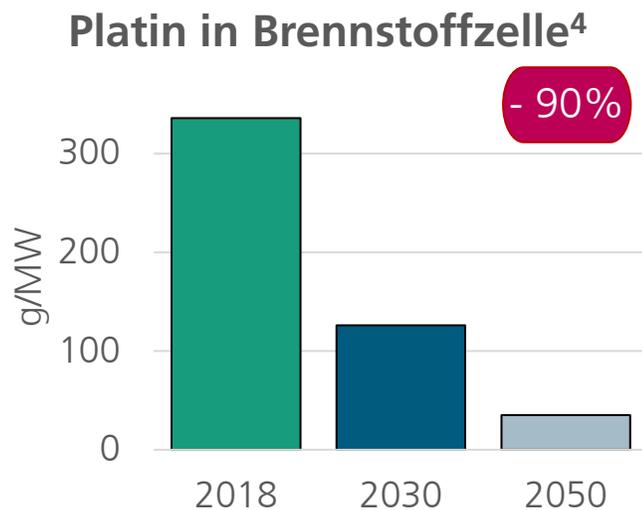
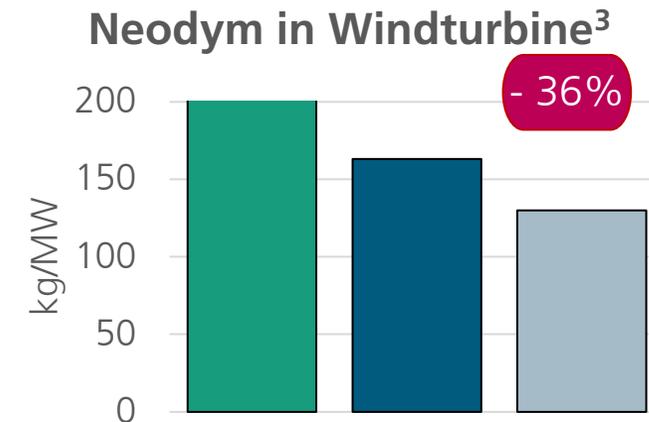
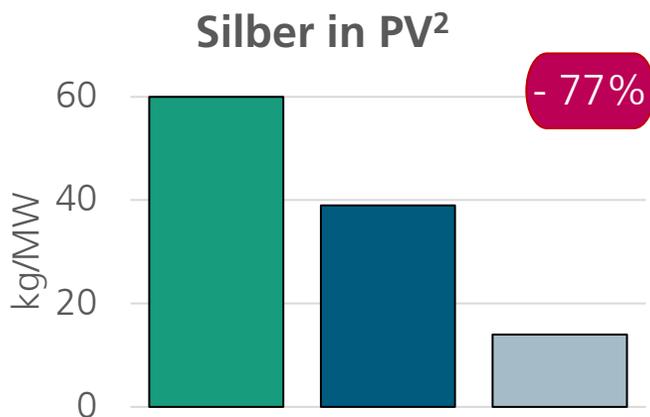
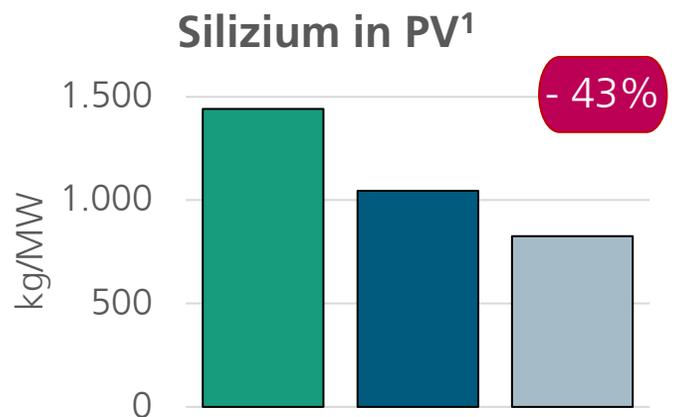
Materialbedarf Stromsektor



Welche Rolle kann Materialeffizienz zukünftig spielen?

Hohes Optimierungspotenzial

- 1 PERC
- 2 HJT
- 3 PMSG-DD
- 4 PEMFC
- 5 VRF



Was ist nun wichtig?

- (1) Investitionen in konventionelle Technologien sind mit Fehlinvestitionen / Abschreibungen verbunden, da das System schnell und umfangreich umgestellt werden muss. CO₂-Preisanstieg, Verbote, Grenzwerte sind in allen Bereichen zu beachten.
- (2) Gesellschaftliche Verhaltensweisen (Akzeptanzfragen, Beharrungstendenzen) haben ökonomische Auswirkungen. Die Energiewende wird unnötig teurer.
- (3) Nachfragereduktion und Effizienz vereinfachen die Umstellung und reduziert die Investitionen und Materialressourcen. Elektrifizierung hat eine höhere Gesamteffizienz.
- (4) Importe von synthetischen Kraftstoffen (Efuels, Wasserstoff) sind zu einem geringen Grad notwendig, aber sie schaffen neue Abhängigkeiten und sind tendenziell nicht günstig.
- (5) Energieszenarien können Materialressourcen beinhalten. Das ist aber noch kein Standard.

Kontakt

Dr. Christoph Kost
Energiesystemanalyse Fraunhofer ISE
Tel. + 49 761-4588 5750
christoph.kost@ise.fraunhofer.de

WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM

Die deutsche Energiewende im Kontext
gesellschaftlicher Verhaltensweisen



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE



Institutsleiter:

Prof. Dr. Hans-Martin Henning

Prof. Dr. Andreas Bett

Mitarbeitende: rund 1400

Budget 2022: 120,6 Mio. EUR

Gegründet: 1981

Photovoltaik

Silicium-Photovoltaik

III-V- und Konzentrator-Photovoltaik

Perowskit- und Organische Photovoltaik

Photovoltaische Module und Kraftwerke

Energieeffiziente Gebäude

Solarthermische Kraftwerke und
Industrieprozesse

Wasserstofftechnologien und
Elektrische Energiespeicher

Leistungselektronik, Netze
und Intelligente Systeme