TECHNOLOGISCH-ÖKONOMISCHE BEWERTUNG DER TRANSFORMATION DES DEUTSCHEN ENERGIESYSTEMS

Prof. Dr. Hans-Martin Henning

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

www.ise.fraunhofer.de

46. VDI-Jahrestagung, 06. Oktober 2020

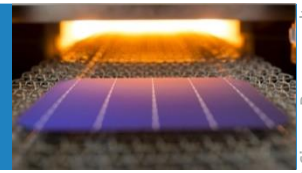
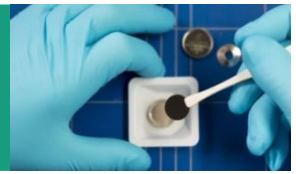
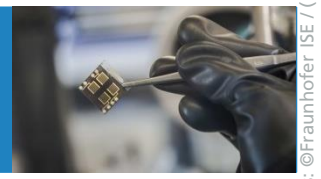
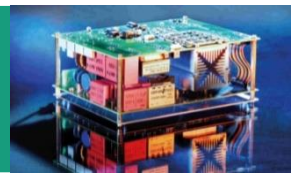
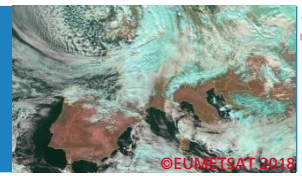
»Schadensanalyse in der Energietechnik 2020«

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE

Fraunhofer ISE

Technologien und Systemlösungen für die globale Energiewende

ENERGIETECHNOLOGIEN UND -SYSTEME Prof. Dr. Hans-Martin Henning		PHOTOVOLTAIK Prof. Dr. Andreas Bett	
Energieeffiziente Gebäude		Silicium-Photovoltaik	
Solarthermische Kraftwerke und Industrieprozesse		III-V- und Konzentrator-Photovoltaik	
Wasserstofftechnologien und Elektrische Energiespeicher		Neuartige Photovoltaik-Technologien	
Leistungselektronik, Netze und Intelligente Systeme		Photovoltaische Module und Kraftwerke	

Fotos: ©Fraunhofer ISE / (1,3,4) Dirk Mahler, (1) Simon Braungardt, (8)©EUMETSAT 2018

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE

Inhalt

Motivation und Einführung

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Inhalt

Motivation und Einführung

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

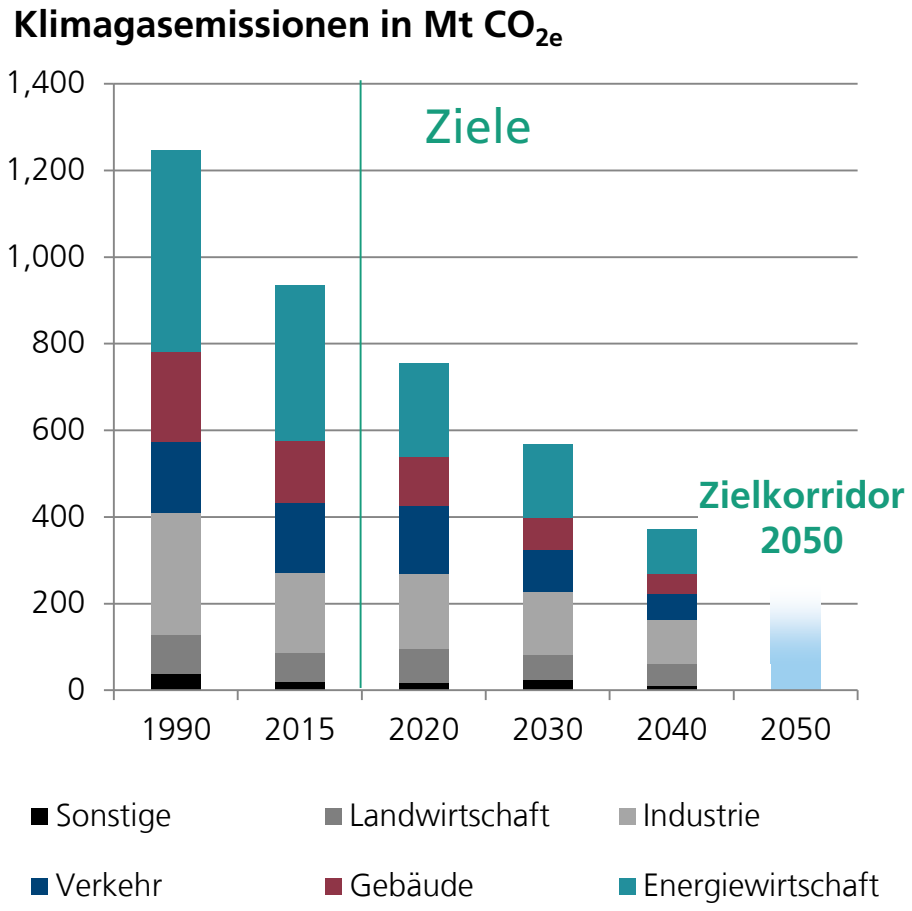
Motivation – Deutschland
Ziele des Klimaschutzplans der Bundesregierung

Bis 2030 sind erhebliche Minderungen v.a. im Bereich der Energiewirtschaft, Gebäude und Verkehr zu erreichen

- Langsamere Reduktion im Sektor Verkehr
- Anspruchsvolle Ziele für Gebäude und Energiewirtschaft

Ziele 2050 sind bislang nicht sektoral aufgelöst, aber

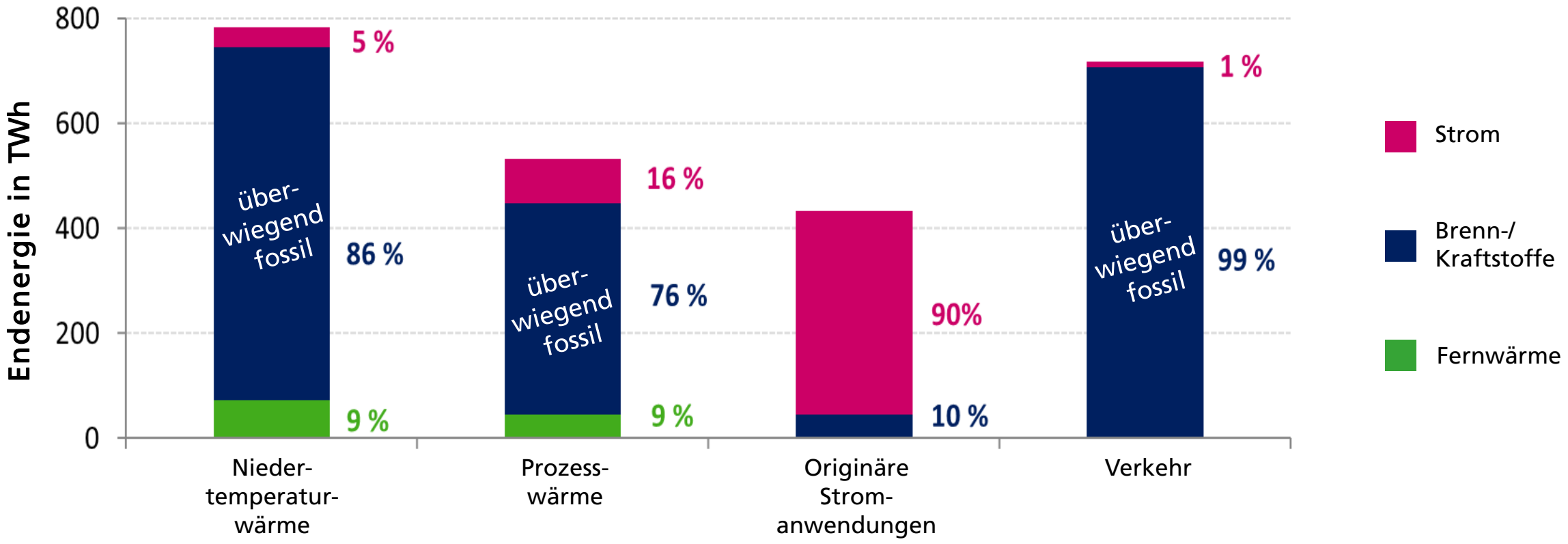
- Schwierige und teure Reduktion der Emissionen in Landwirtschaft und Teilen der Industrie
- Deshalb nahezu vollständige Dekarbonisierung der anderen Sektoren notwendig



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Motivation – Deutschland

Derzeitige Zusammensetzung der Endenergie



Quelle: »Sektorkopplung« – Optionen für die nächste Phase der Energiewende. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften et. al. November 2017. Daten: „Energiedaten, Gesamtausgabe“, BMWi, 02/2017.

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Inhalt

Motivation und Einführung

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

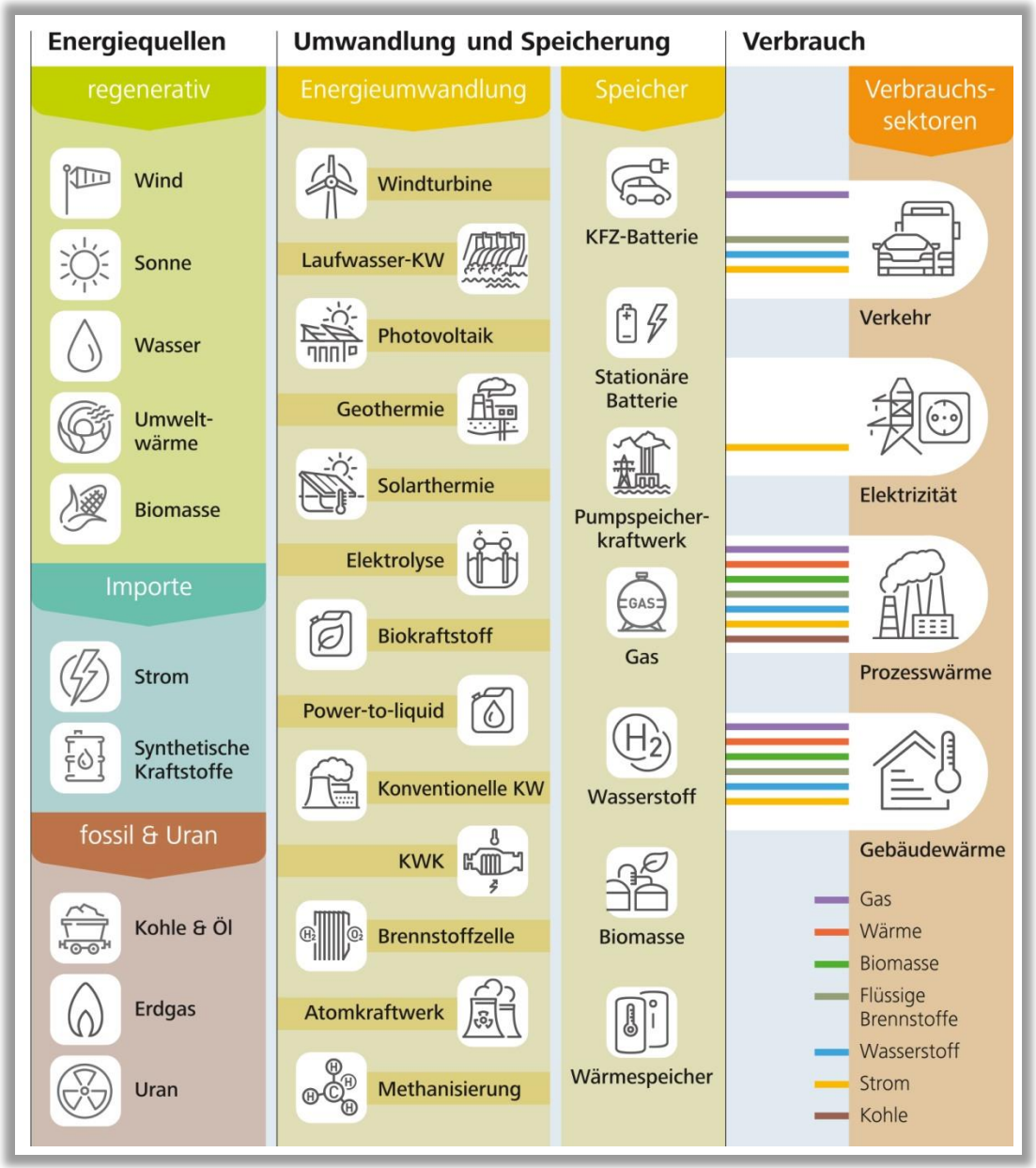
Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Systemanalyse – Methodik
Regenerative Energien Modell REMod

- **Modell zur Simulation und Optimierung der Entwicklung nationaler Energiesysteme**
  - Einbeziehung aller Verbrauchssektoren und Energieträger
  - Minimierung der Transformationskosten
  - Stundengenaue Modellierung



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Sterchele, P. et al. (2020). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, S. 13

Fraunhofer ISE

Systemanalyse – Methodik

Bestand

1990	1991	1992	…	2017	2018	2019
Konventionelle und Erneuerbare Kraftwerke (PV, Wind, …)						
Gebäude und Wärmesysteme						
Verkehr (Fahrzeugflotten etc.)						
Industrieprozesse und Gewerbe						

Neuinstallation, Ersatz, Sanierung

2020	2021	2022	…	2048	2049	2050
Konventionelle und Erneuerbare Kraftwerke (PV, Wind, …)						
Gebäude und Wärmesysteme						
Verkehr (Fahrzeugflotten etc.)						
Industrieprozesse und Gewerbe						
Speicher (Strom, Wärme, Gase)						
Power-to-X-Technologien						

Simulation (1 h Zeitschritt) des Gesamtsystems von heute bis 2050

CO_2-Limit (für jedes Jahr)?

Optimierung von Neuinstallation, Ersatz, Sanierung
Zielfunktion: Minimale kumulierte Systemkosten von 2020-2050

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Systemanalyse – Methodik

Annahmen für die vier Energiewelten/Szenarien

kosten-optimaler Pfad

Referenz

- –

Beharrung auf konventionellen Technologien

Beharrung

- Verkehr: höherer Anteil von Verbrennungsmotoren bei PKW-Neuzulassungen
- [illegible]hr Gaskessel bei Neuinstallationen, [illegible]epumpen; geringere Sanierungsrate

Alle Szenarien

Reduktion energiebedingter CO_2-Emissionen um 95 %

massiver Wi[illegible] gegen Wind[illegible] und Leitu[illegible]

Inakzeptanz

- Reduktion der Ausbaupotenziale für Windenergie
- Geringerer Netzausbaus für Stromimporte
- Kein Einsatz von Oberleitungs-LKW

Energieeinsparungen und Verhaltens-änderungen

Suffizienz

- Rückgang des Energieverbrauchs in allen Sektoren (z.B. weniger gefahrene km, Abnahme der Stromnachfrage)
- Erhöhte Flexibilität bei Autobatterien (V2G, G2V)

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Sterchele, P. et al. (2020). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, S. 13

Inhalt

Motivation und Einführung

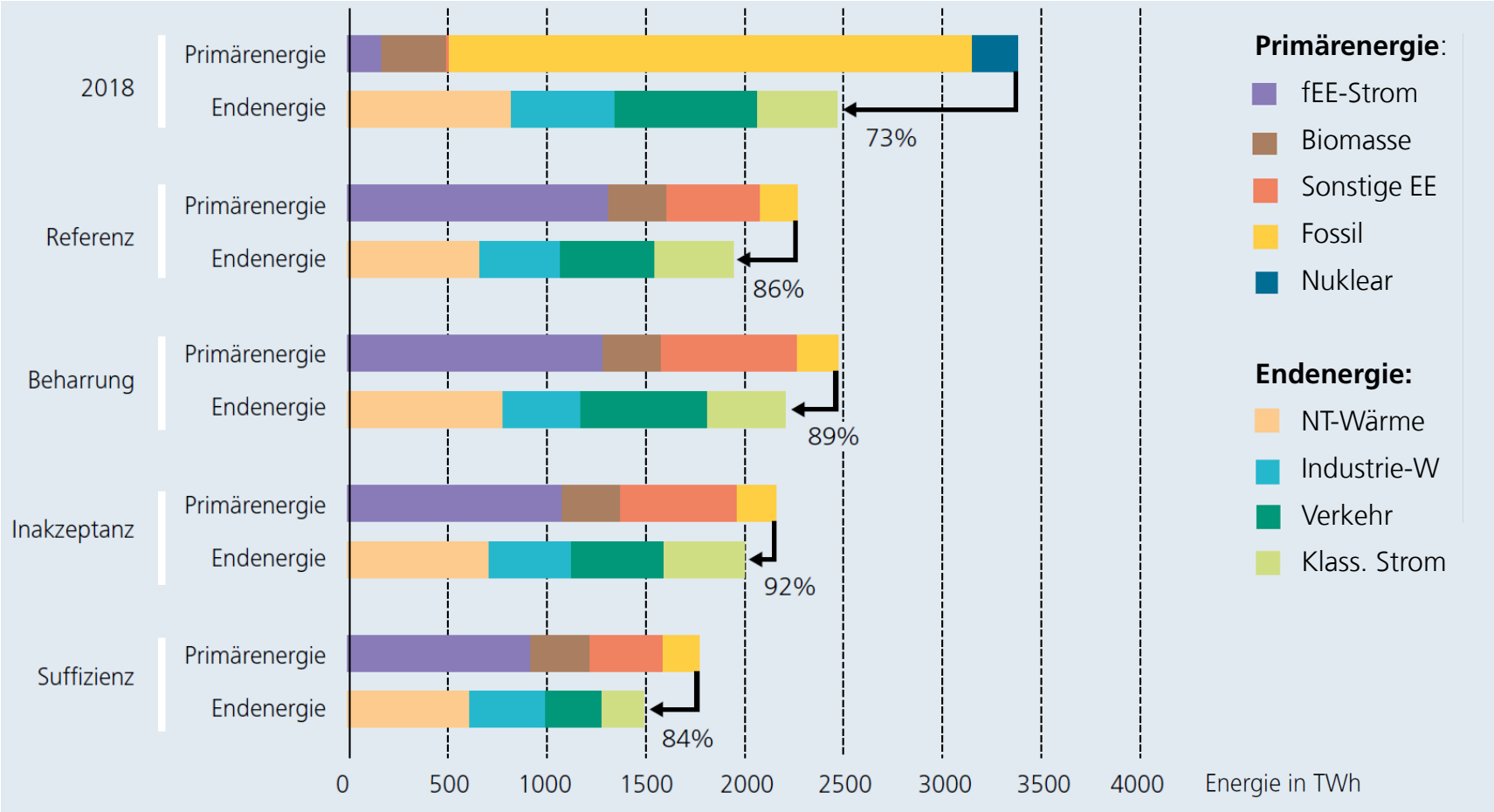
Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Das Primärenergieaufkommen sinkt aufgrund geringerer Verluste in den Wandlungsketten – Wesentliches Resultat der Sektorenkopplung



fEE: fluktuierende erneuerbare Energien (Sonne, Wind)

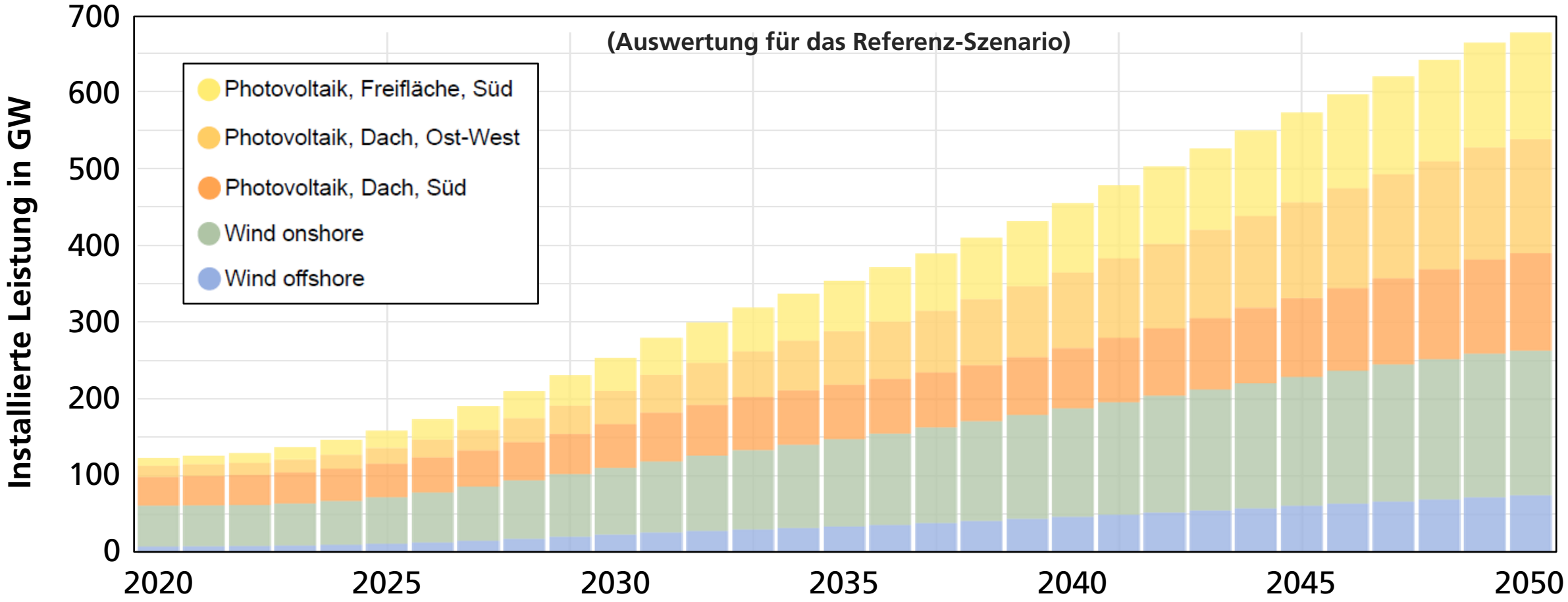
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Sterchele, P. et al. (2020). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, S. 23

Fraunhofer ISE

Transformationspfade

Installierte Leistung fluktuierender Erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung



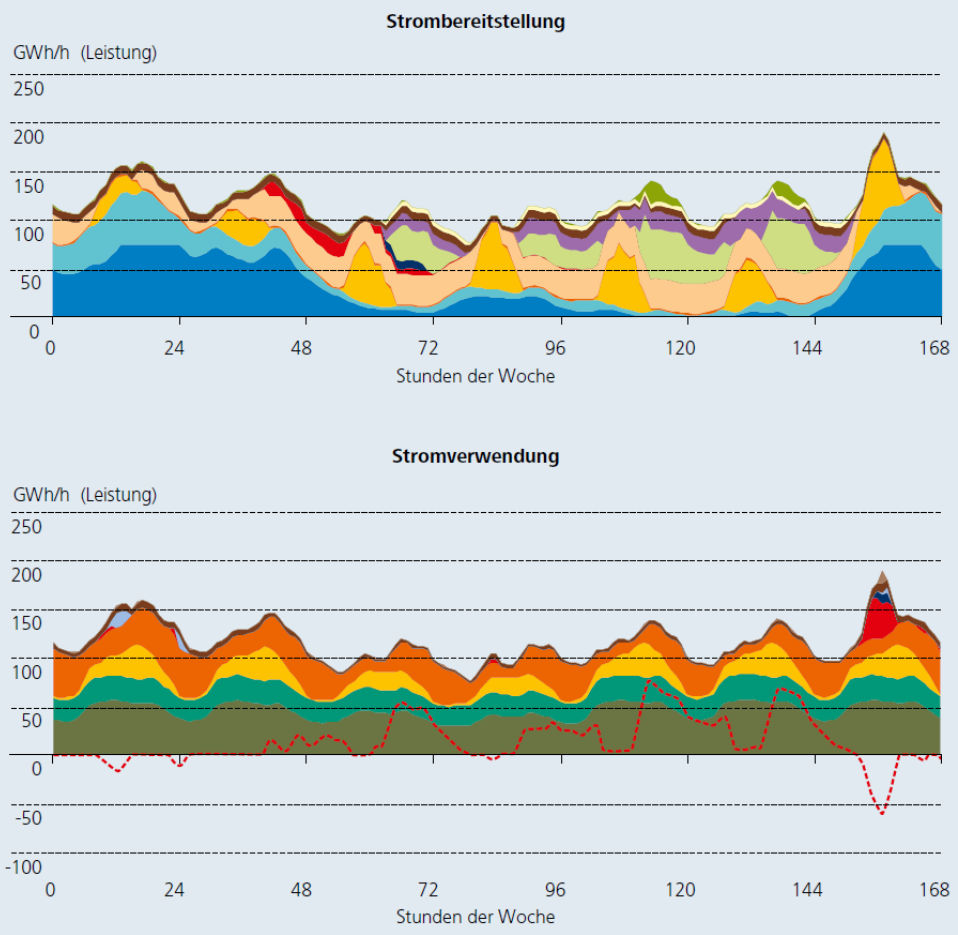
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Daten: Sterchele, P. et al. (2020). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, S. 25
Visualisierung: https://www.energy-charts.de/

Fraunhofer ISE

Flexibilisierung als Schlüsselelement der Systementwicklung im Stromsektor

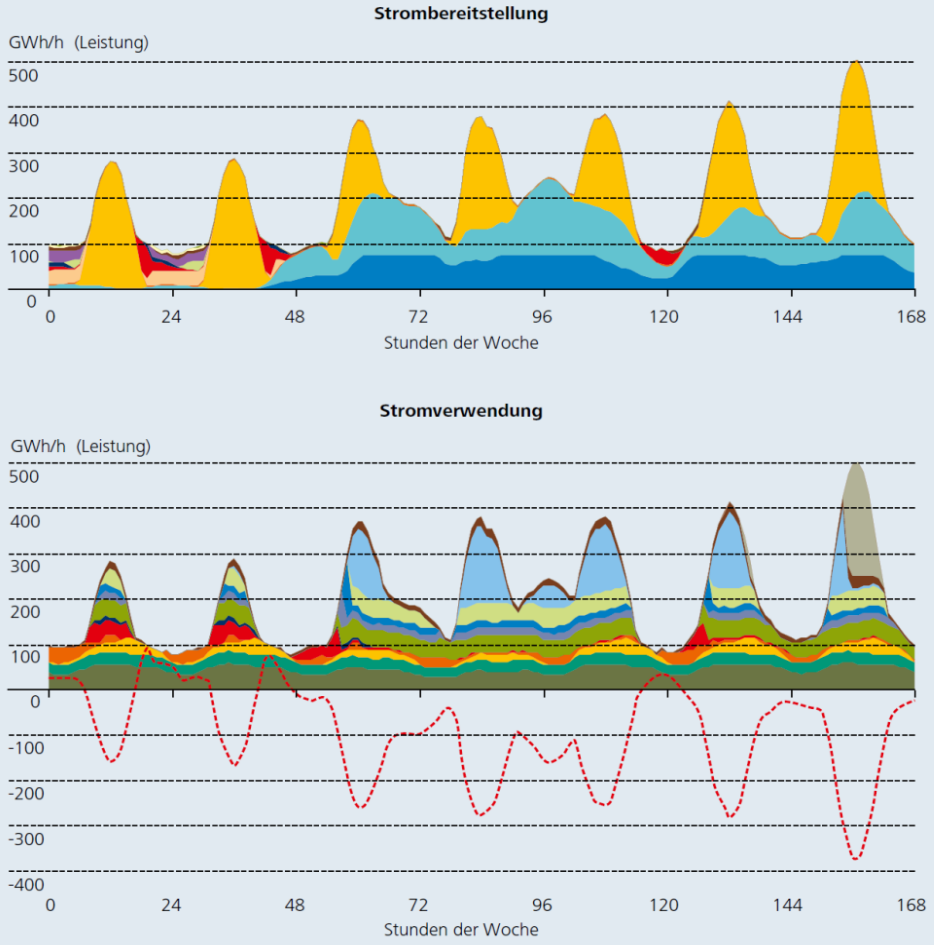
Woche April 2050



- Sonstige
- H2-Gasturbine
- H2-Brennstoffzelle
- Import
- Gas- und Dampf-KW
- Pumpspeicher-KW
- Batterien
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Laufwasser
- Photovoltaik
- Onshore Wind
- Offshore Wind

- Sonstige
- Abregelung
- Netzverluste
- Power-to-Heat
- Export
- Power-to-Fuel
- Methanisierung
- Elektrolyse
- Pumpspeicher-KW
- Batterien
- Wärmepumpen
- Verkehr
- Industrie
- Basislast
- Residuallast

Woche Oktober 2050

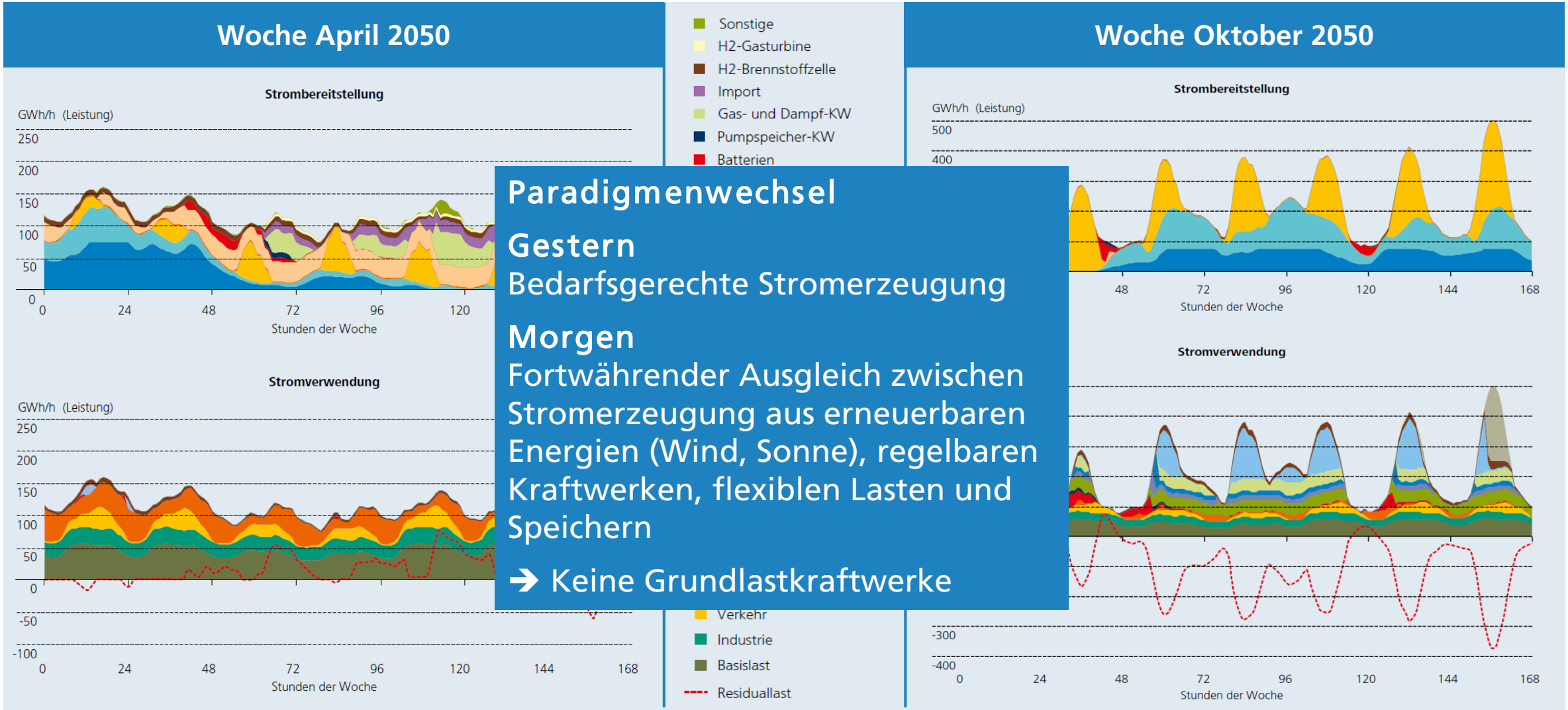


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Auswertung für das Referenz-Szenario

Fraunhofer ISE

Flexibilisierung als Schlüsselelement der Systementwicklung im Stromsektor



Paradigmenwechsel

Gestern
Bedarfsgerechte Stromerzeugung

Morgen
Fortwährender Ausgleich zwischen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Wind, Sonne), regelbaren Kraftwerken, flexiblen Lasten und Speichern

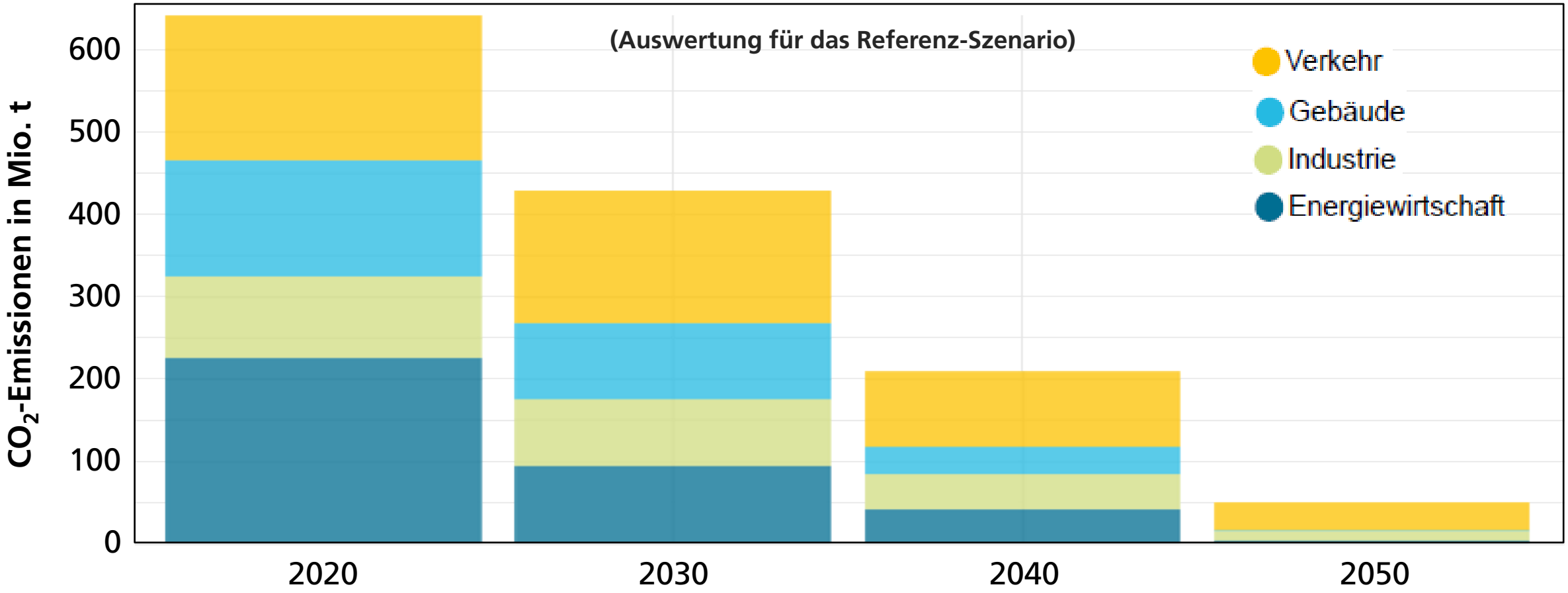
➔ Keine Grundlastkraftwerke

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Auswertung für das Referenz-Szenario

Fraunhofer ISE

Transformationspfade
Verlauf der Kohlendioxidemissionen



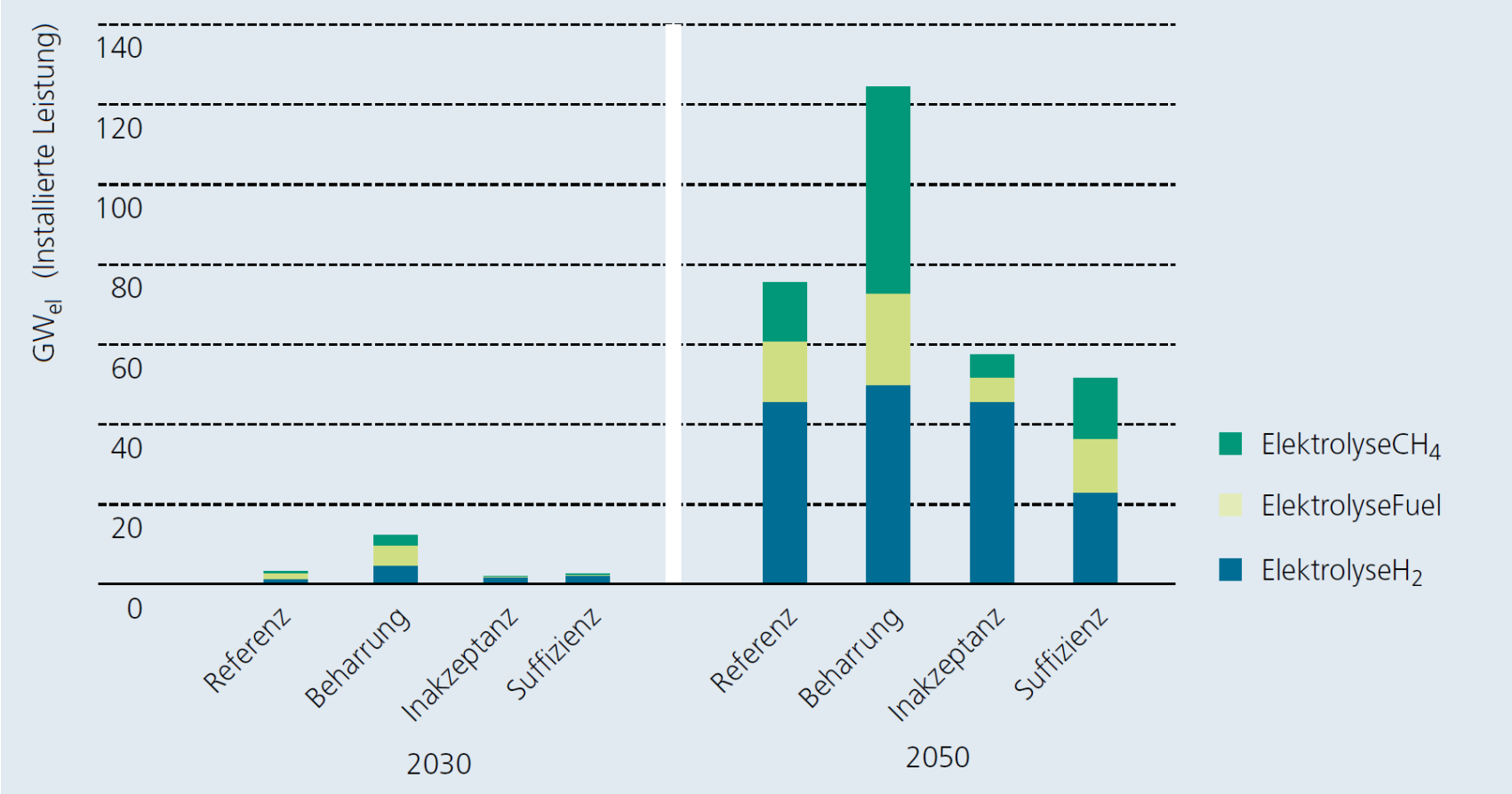
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Daten: Sterchele, P. et al. (2020). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, S. 25
Visualisierung: https://www.energy-charts.de/

Fraunhofer ISE

Elektrolyse als wichtiger Baustein der zukünftigen Energieversorgung

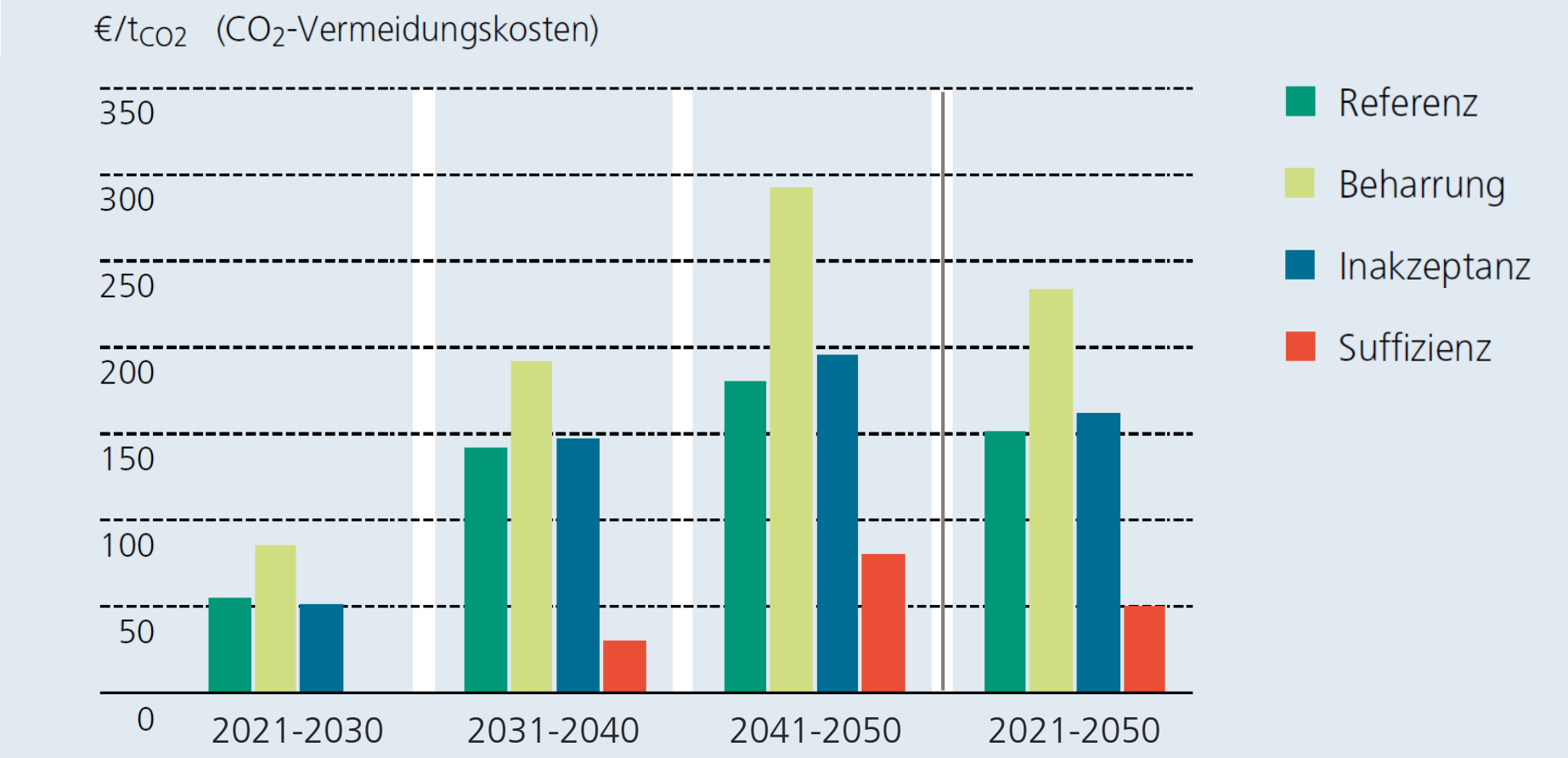
Nutzung von Wasserstoff in verschiedenen Anwendungsbereichen



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Verhalten hat wesentlichen Einfluss auf Kosten

CO_2-Vermeidungskosten der verglichenen Szenarien



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Inhalt

Motivation und Einführung

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Ergebnisse aus der Systembetrachtung

- Eine Transformation des Energiesystems unter Einhaltung der klimapolitischen Ziele scheint grundsätzlich technisch machbar
- Erneuerbare Energien (insbesondere Solar und Wind) werden dominant
- Bedeutung von Strom steigt ➔ Zunahme um 50 % bis 100 %
- Sektorenkopplung ➔ Nutzung von Strom (direkt, indirekt) für Wärme, Verkehr und Industrie
- Effizienz und Verbrauchsreduktion essentiell
- Kurzzeitspeicher / Flexibilitäten werden im großen Stil (etliche GWh) ab 2025 wichtig
- Elektrolyse wird im großen Stil (GW) ab 2030 wichtig

*Quelle: Agora Energiewende, 2020

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Fazit

Die Transformation des Energiesystems hin zu einer vollständigen Reduzierung der Treibhausgasemissionen wird uns nur gelingen, wenn wir den grundlegend neuen Charakter des neuen Systems verstehen:

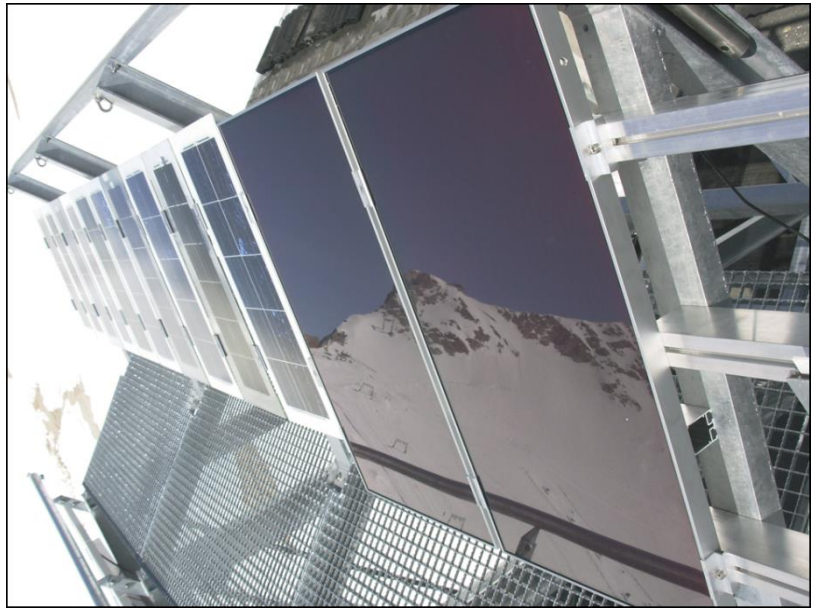
- Paradigmenwechsel hinzu einer dezentraler Bereitstellung von Energie
- Einsatz vieler hunderttausend neuer Anlagen des Energiesystems für die Bereitstellung, Speicherung und Nutzung von Energie
- Ein möglichst vollständiges Recycling ist essenziell für die Realisierung der Energiewende, um dem großen Materialbedarf gerecht zu werden
- Ein detailliertes Verständnis über Schadensfälle ist die Voraussetzung zur Vorhersage und Verringerung von Schadensfällen und damit für die Verlängerung der Gebrauchsdauer von Anlagen und Komponenten

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Schadens-, Gebrauchsdauer-, und Nachhaltigkeitsanalyse am Fraunhofer ISE für Anlagen, Komponenten und Materialien des Energiesystems

Ausstattung:

- Anlagen zur beschleunigten Prüfung mit allen relevanten Belastungen
- Weltweite Freibewitterungsstationen (bspw. auf der Zugspitze, in Israel und Gran Canaria)



Kompetenzen:

- Schadens- und Ursachenanalyse
- Bestimmung mikroklimatischer Belastungen durch Messung oder Simulation
- Entwicklung angepasster Prüfsequenzen für spezielle Klimazonen und Betriebsbedingungen
- Gebrauchsdauer- und Ertragsprognose
- Bewertung der Nachhaltigkeit der Energiebereitstellung

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Herausforderungen bei der Transformation des Energiesystems
Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft

1. **Energieeffizienz:** → Reduzierung der benötigten Anzahl von Komponenten
2. **Materialeffizienz:** Reduzierung des Rohstoffverbrauchs oder Substitution kritischer Materialien
3. **Wiederverwendung:** z.B. Second-Life von Autobatterien
4. **Wiederverwertung:**
   - Sekundärproduktion von Metallen durch Recycling zur Reduktion der benötigten Rohmaterialien
   - Recyclinggerechte Konstruktion: Produkte, die leicht zerlegbar sind sowie Angabe von Bestandteilen auf Komponenten zur leichteren Materialtrennung

Figure: EIT Raw Materials, https://eitrawmaterials.eu/events/spring-school-on-circular-economy/

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Foto © Fraunhofer ISE

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, www.ise.fraunhofer.de

Prof. Dr. Hans-Martin Henning, hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE