WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM

Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Dr. Andreas Bett

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Berlin, 13. Februar 2020

www.ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Fraunhofer ISE

Inhalt

Motivation und Einführung

Systemanalyse – Methodik

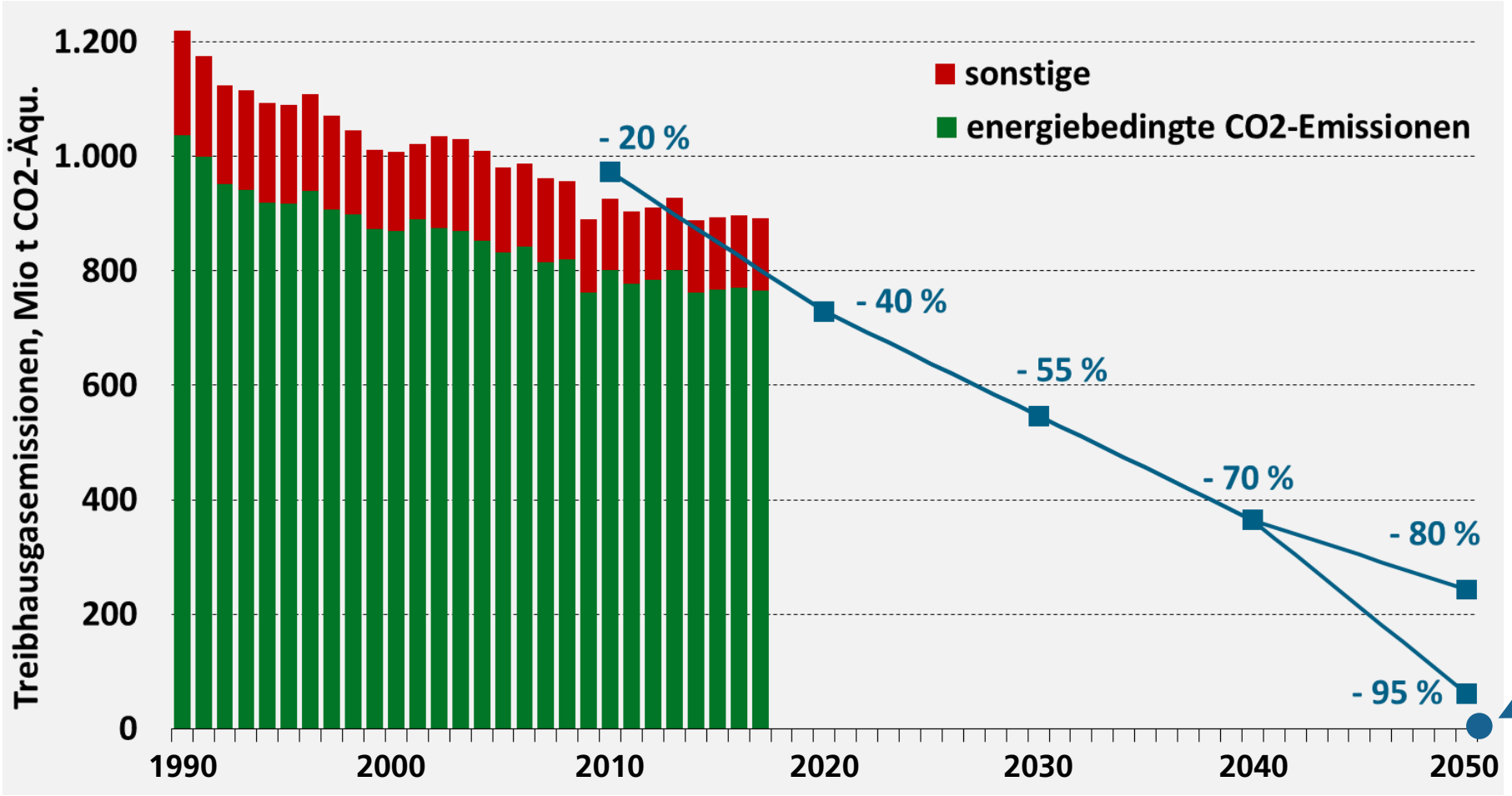
Systemanalyse – Ergebnisse

Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Motivation

Treibhausgasemissionen Deutschland – Historie und Ziele



Bundeskanzlerin Merkel Mitte Mai 2019 und bei UN-Klimagipfel September 2019

Ziel EU »Green Deal«

Basierend auf: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. Umweltbundesamt (UBA) Dessau, März 2017

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Inhalt

Motivation und Einführung

Systemanalyse – Methodik

Systemanalyse – Ergebnisse

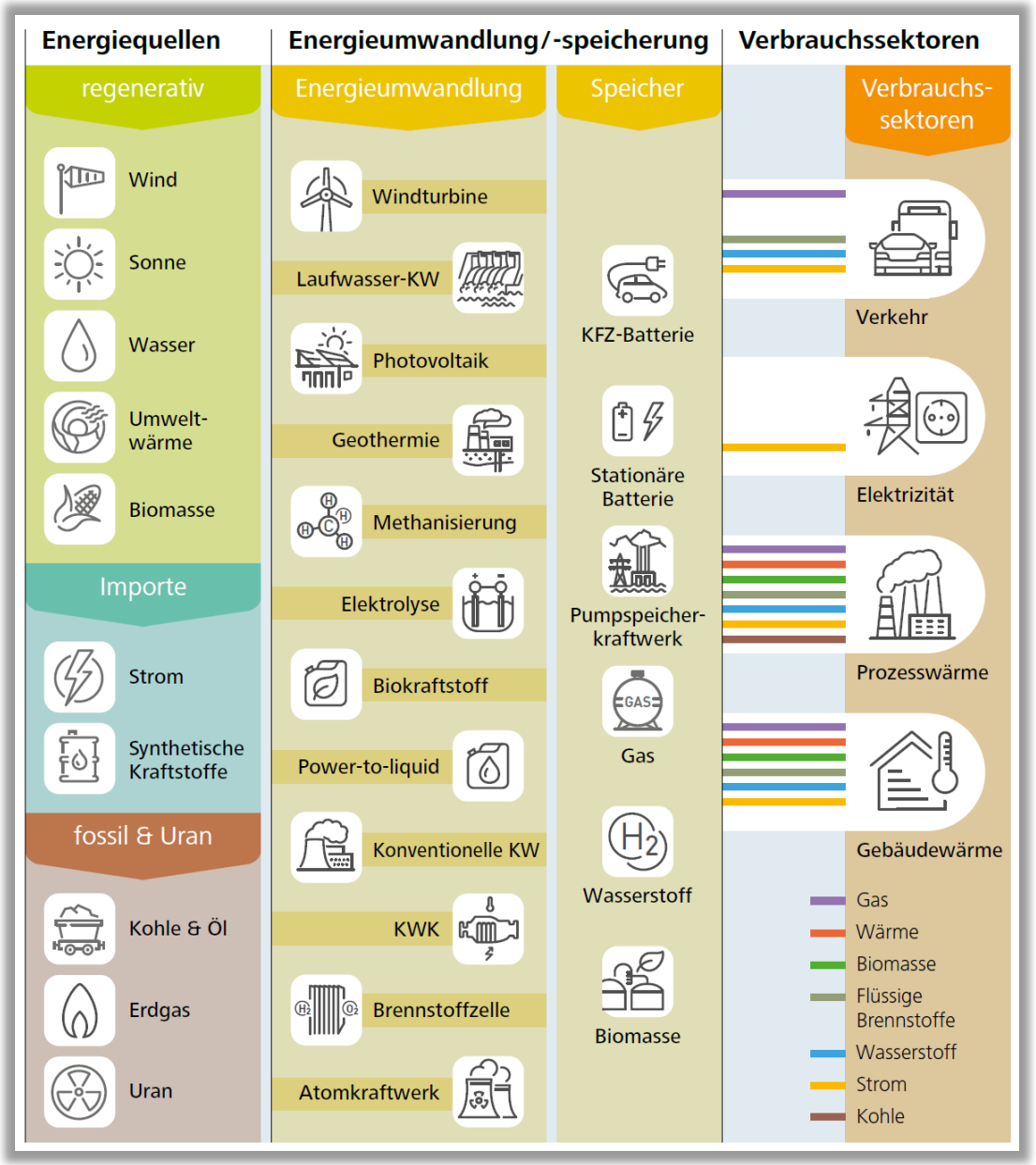
Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Systemanalyse – Methodik

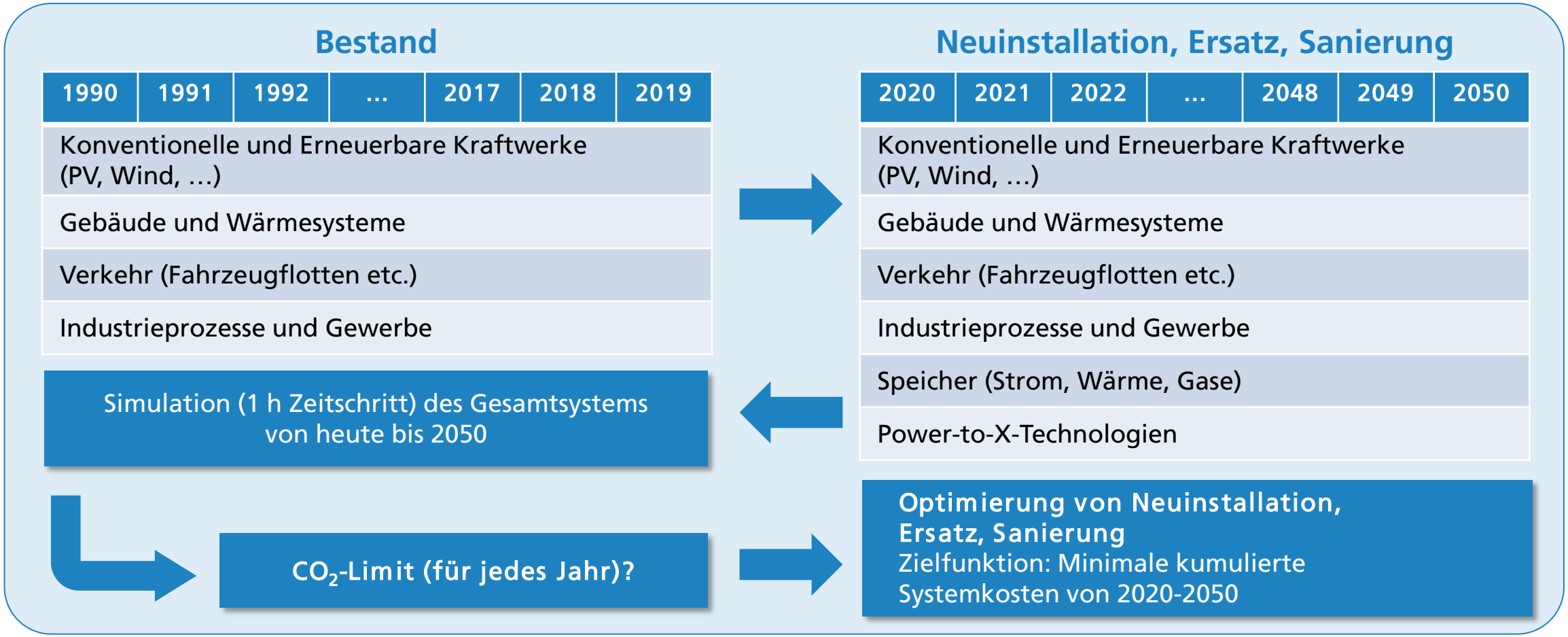
Regenerative Energien Modell REMod

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



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC
Fraunhofer ISE

Systemanalyse – Methodik



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

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 Netzausbau 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-PUBLIC

Inhalt

Motivation und Einführung

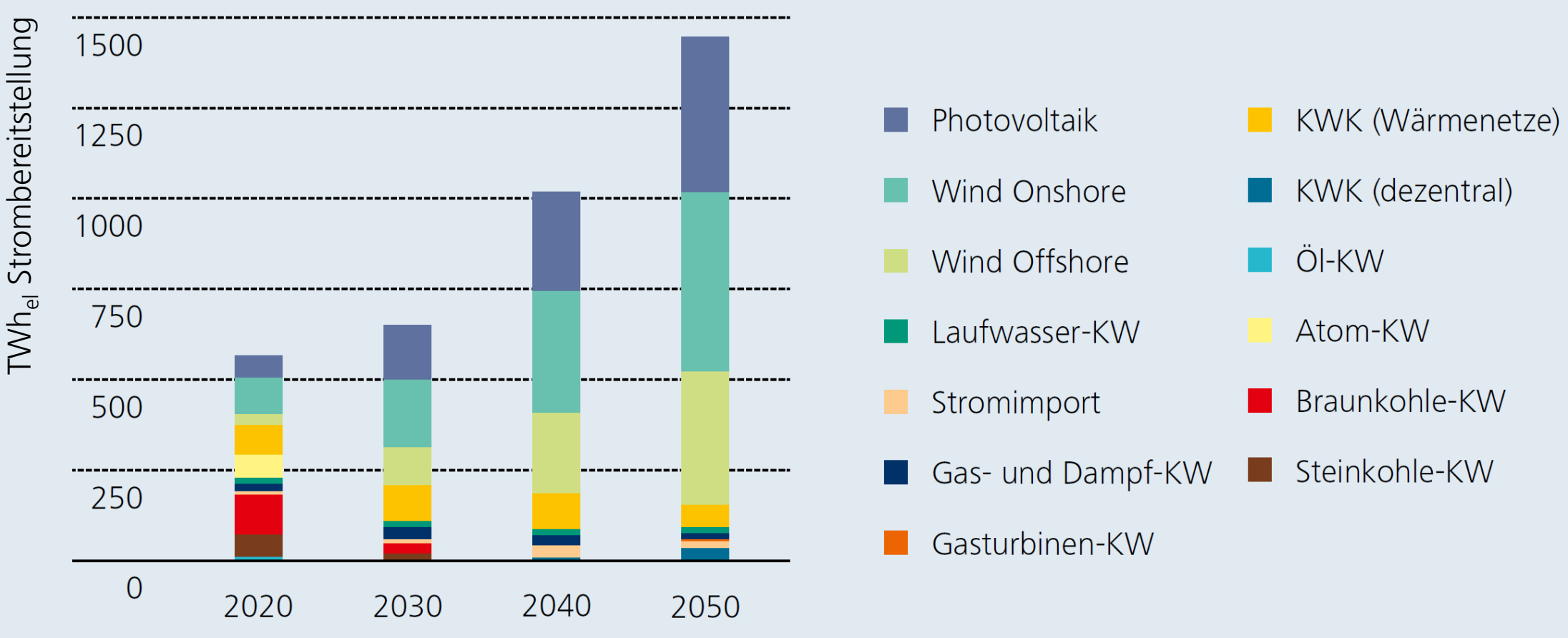
Systemanalyse – Methodik

Systemanalyse – Ergebnisse

Fazit

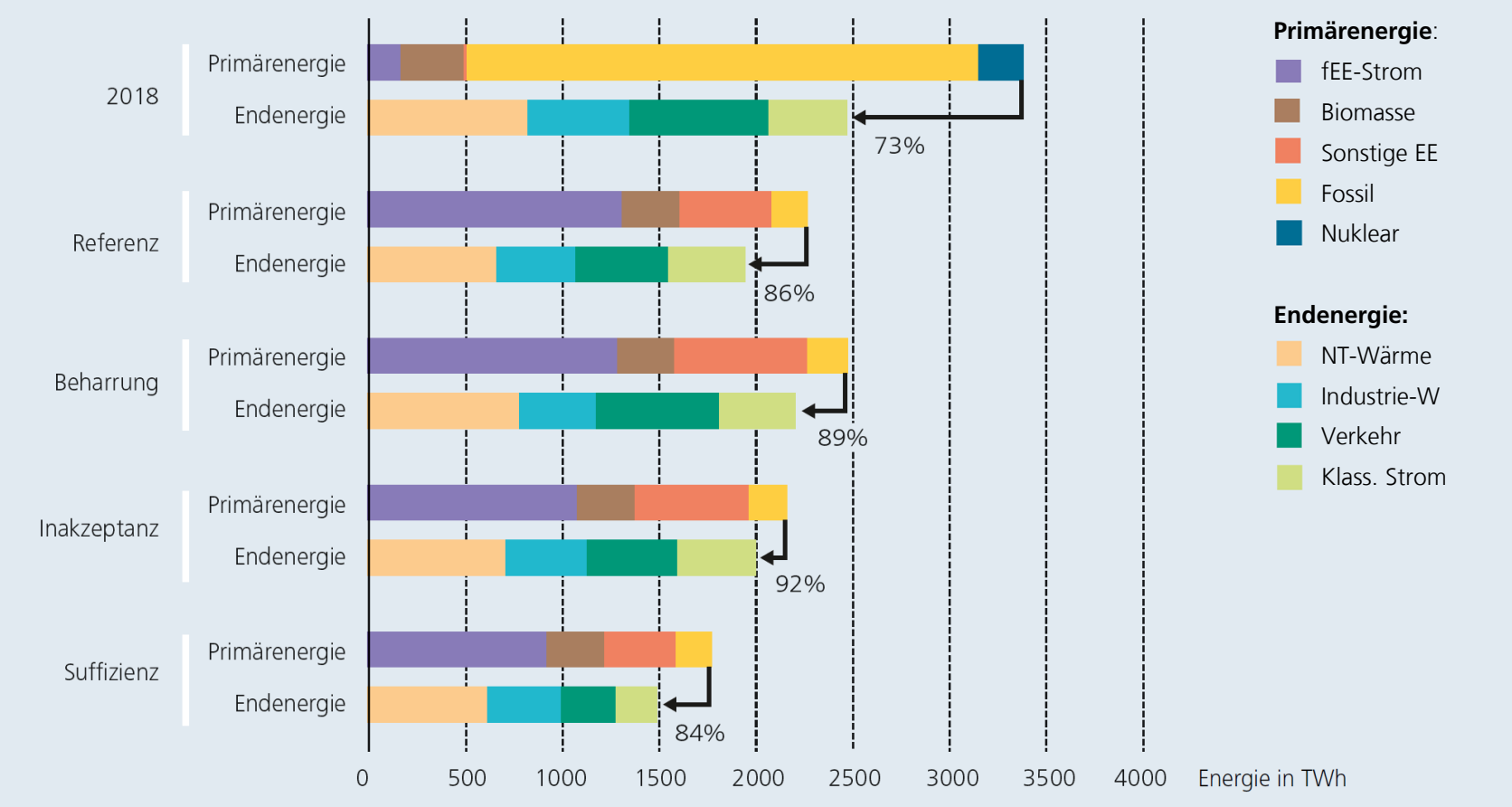
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Strom aus erneuerbaren Quellen wird zur wichtigsten Primärenergie. Die erneuerbaren Energien Wind und Sonne liefern hierzu den größten Beitrag.



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

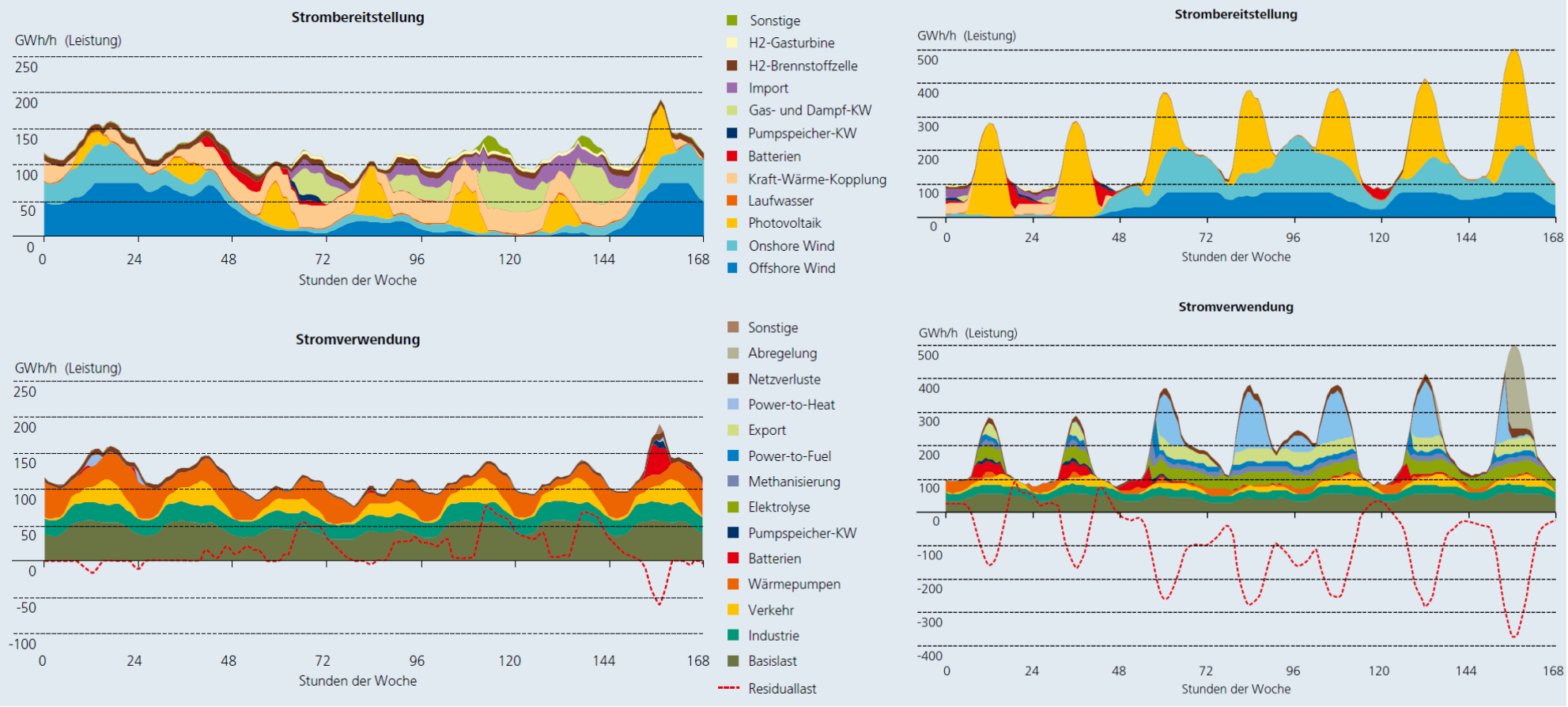
Aufgrund geringerer Verluste in den Wandlungsketten – ein wesentliches Resultat der Sektorenkopplung – sinkt das Primärenergieaufkommen erheblich.



fEE: fluktuierende erneuerbare Energien (Sonne, Wind)

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Eine starke Flexibilisierung der Strombereitstellung und -nutzung wird zu einem Schlüsselelement der Systementwicklung.

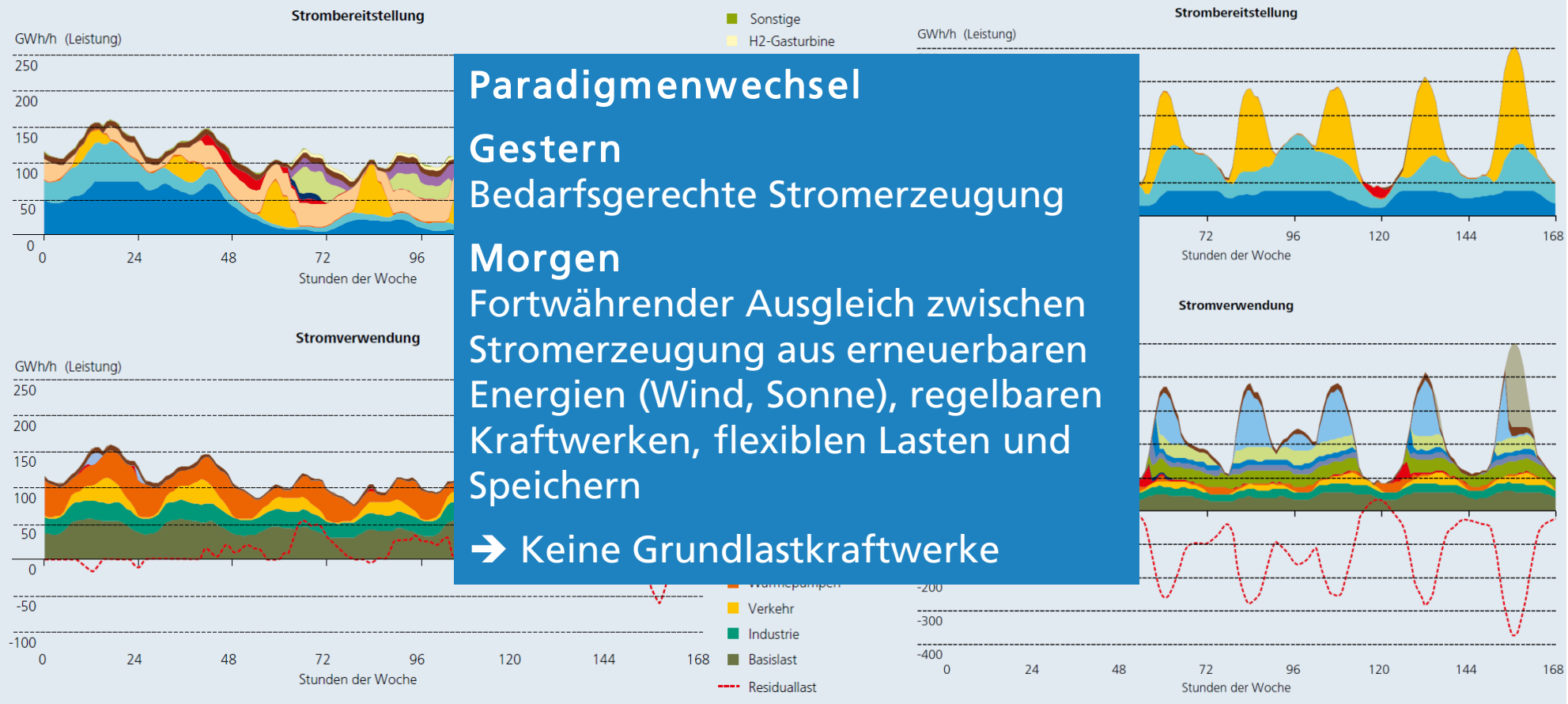


Links:
Woche April 2050

Rechts:
Woche Oktober 2050

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Eine starke Flexibilisierung der Strombereitstellung und -nutzung wird zu einem Schlüsselelement der Systementwicklung.



Paradigmenwechsel

Gestern
Bedarfsgerechte Stromerzeugung

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

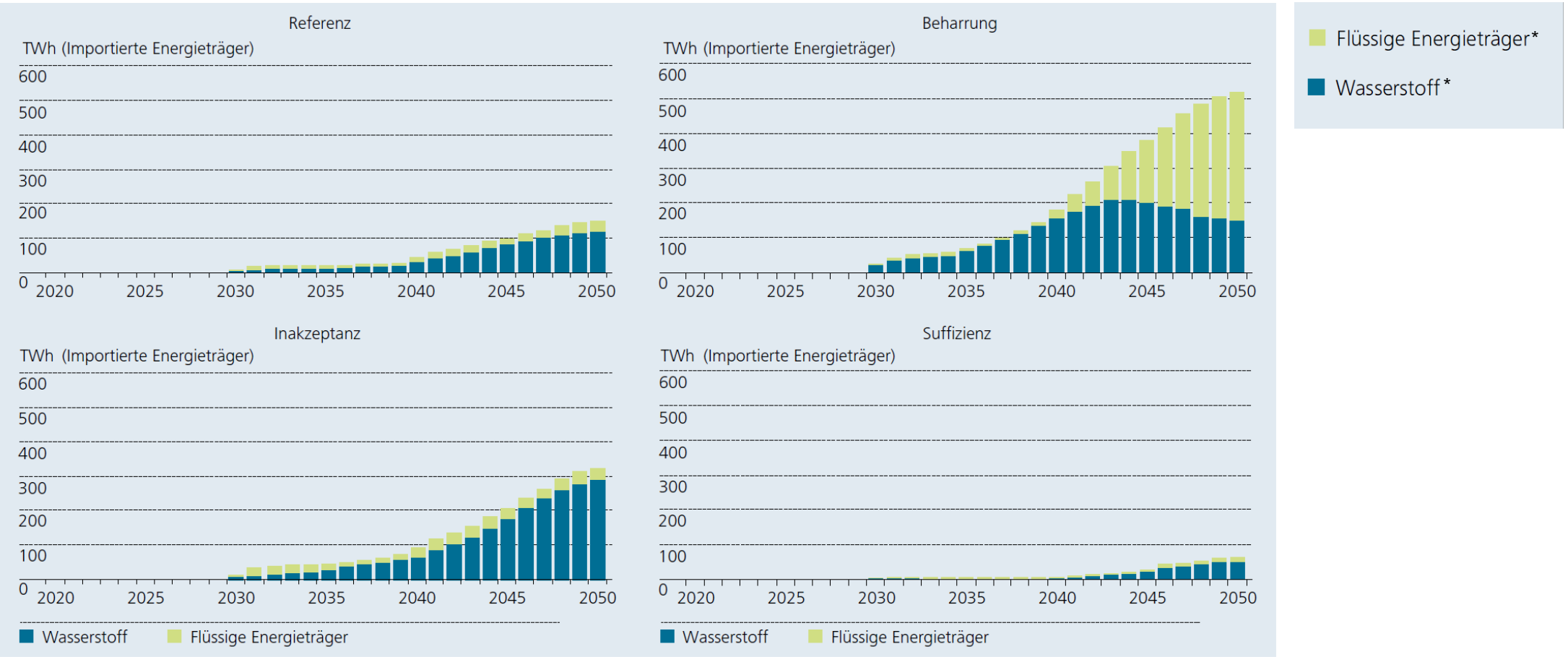
➔ Keine Grundlastkraftwerke

Links:
Woche April 2050

Rechts:
Woche Oktober 2050

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

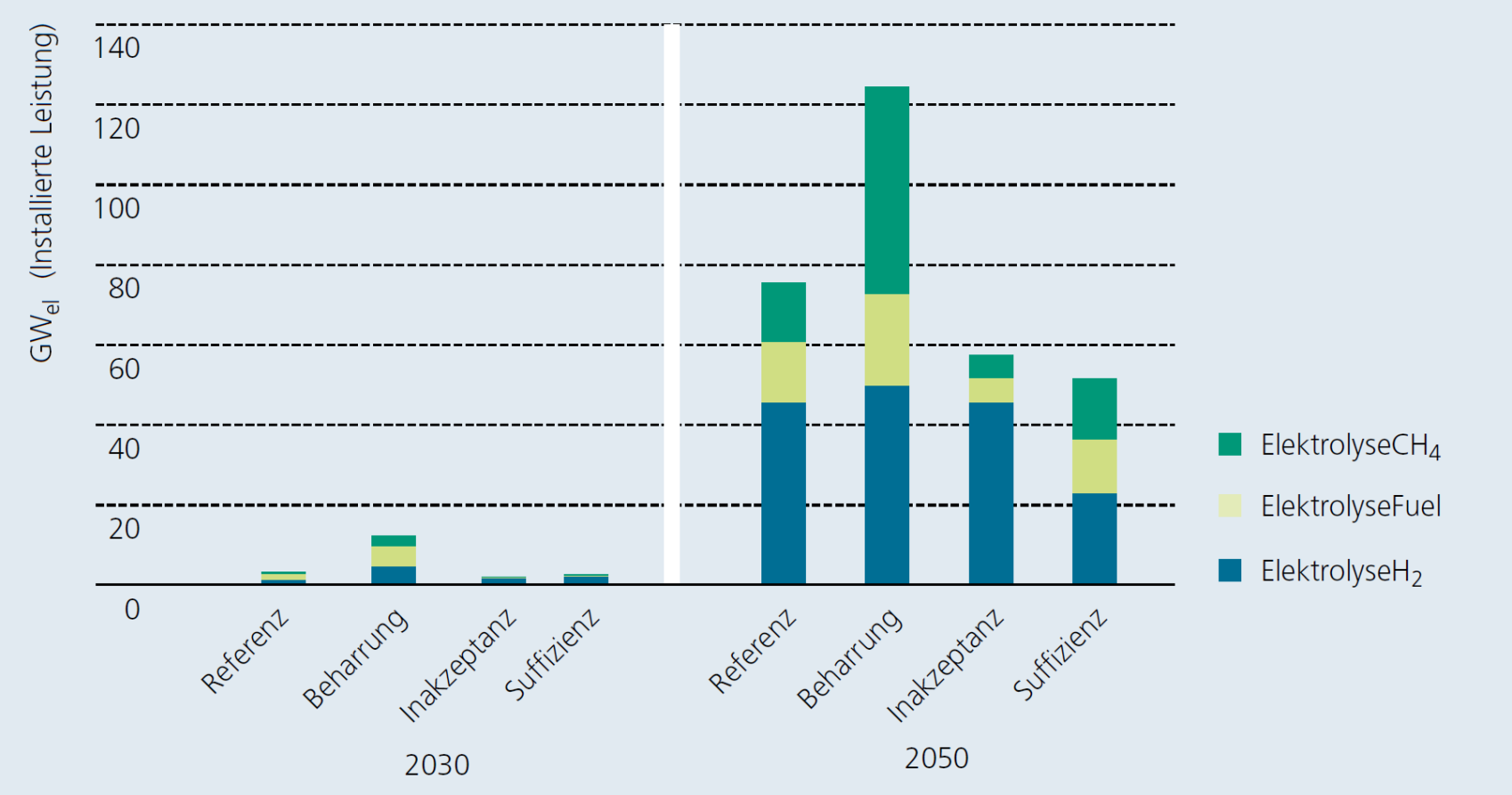
Der Import von Energie in Form von Strom und im Ausland auf Basis erneuerbaren Stroms hergestellter synthetischer chemischer Energieträger ist ein wichtiger Teil zur Erreichung der deutschen Klimaschutzziele.



*Herstellung mittels Elektrolyse und Weiterkonversion des Wasserstoffs durch Strom aus EE im Ausland.

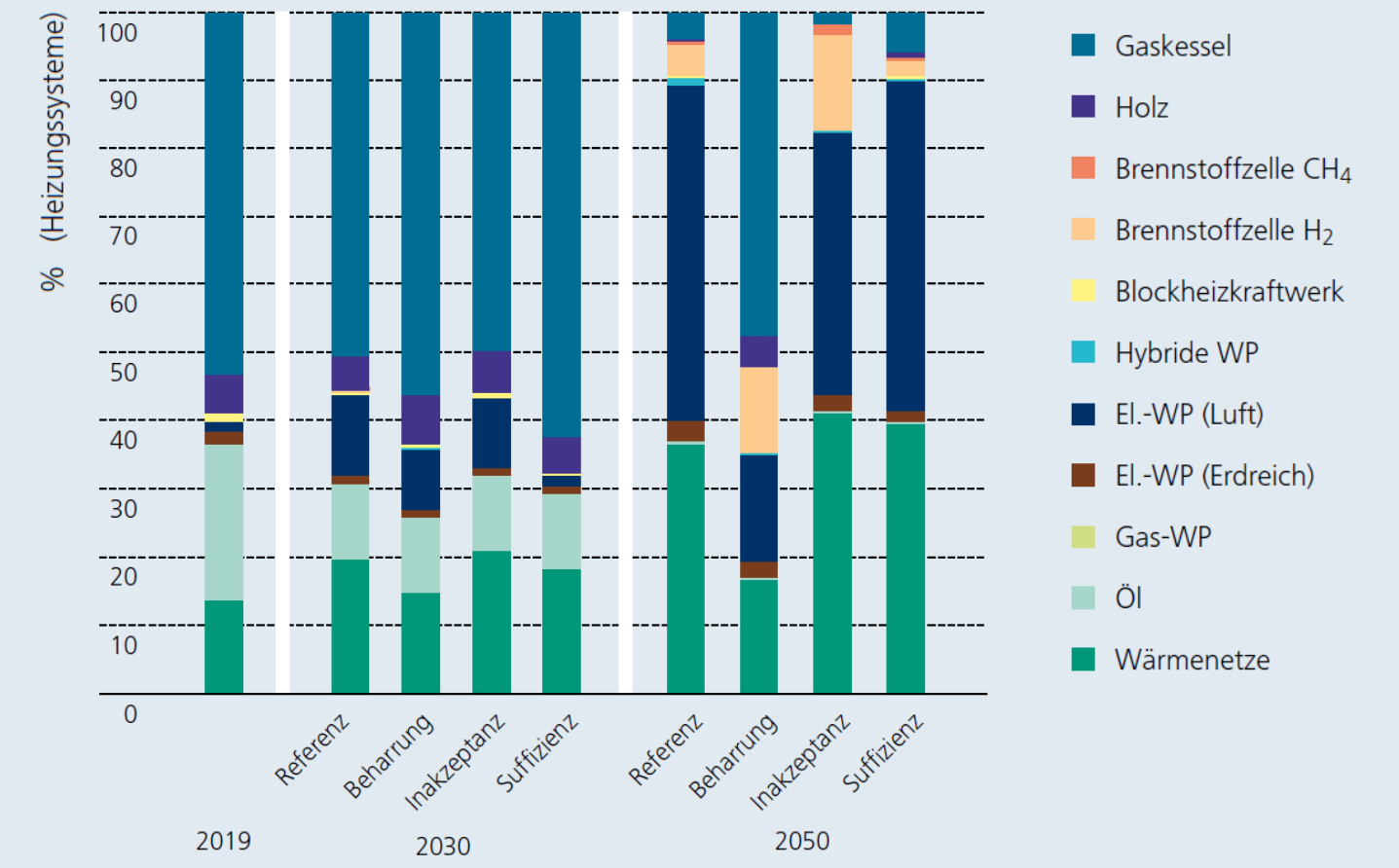
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Die Elektrolyse verbunden mit der Nutzung von Wasserstoff in verschiedenen Anwendungsbereichen ist ein wichtiger Baustein der zukünftigen Energieversorgung.



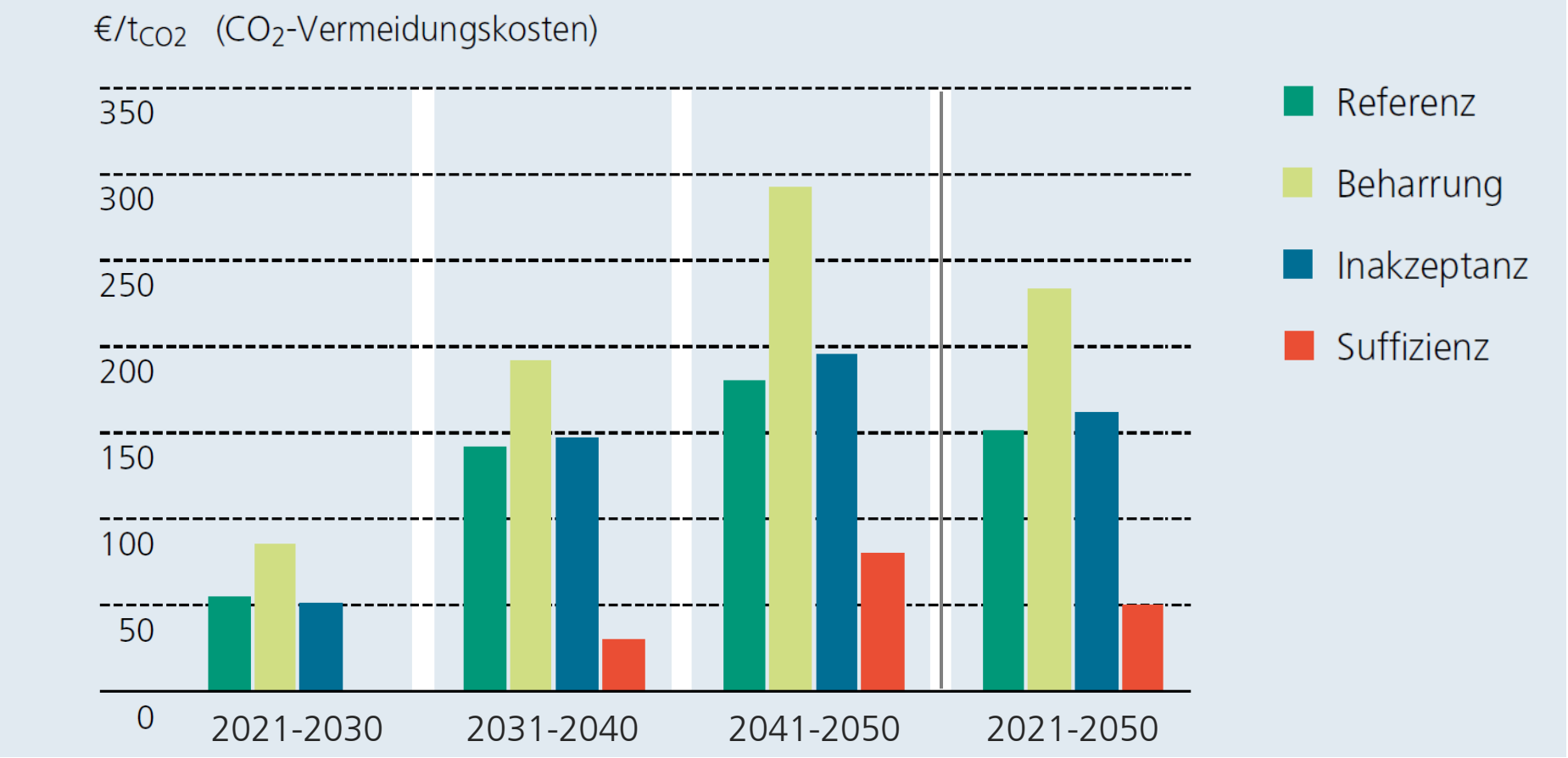
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC
Fraunhofer ISE

Die effiziente Nutzung von Energie und eine damit einhergehende Verbrauchs-reduktion durch technische Maßnahmen tragen insbesondere im Bereich der Wärmebereitstellung wesentlich zur Erreichung von Klimaschutzzielen bei.



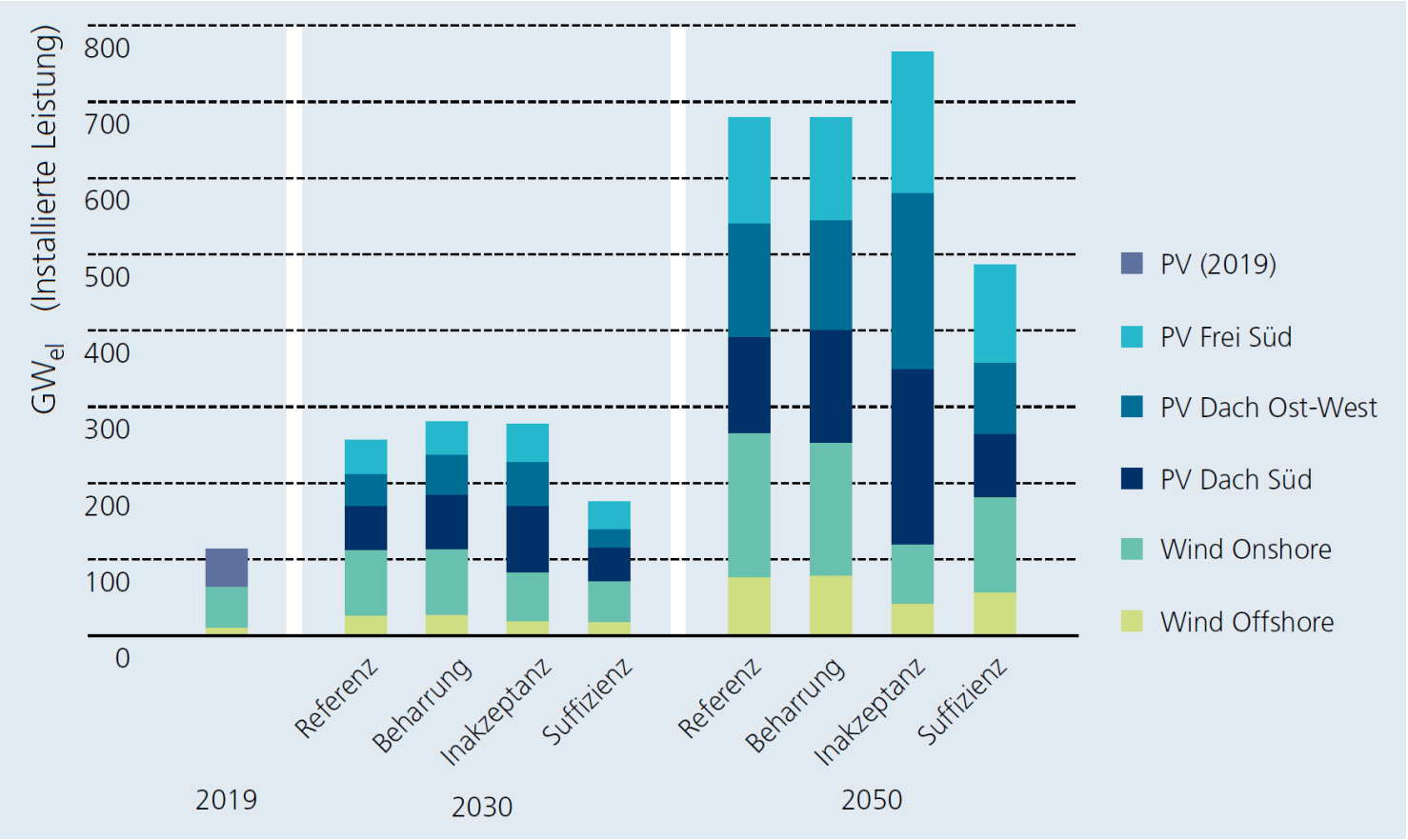
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC
Fraunhofer ISE

Verhaltensänderungen in weiten Teilen der Gesellschaft im Sinne eines sparsamen Umgangs mit Energie können die Kosten substanziell reduzieren.



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Aus Systemsicht besteht die Möglichkeit der stärkeren Nutzung von Photovoltaik, wenn der Windausbau nicht im optimalen Maße gelingt.

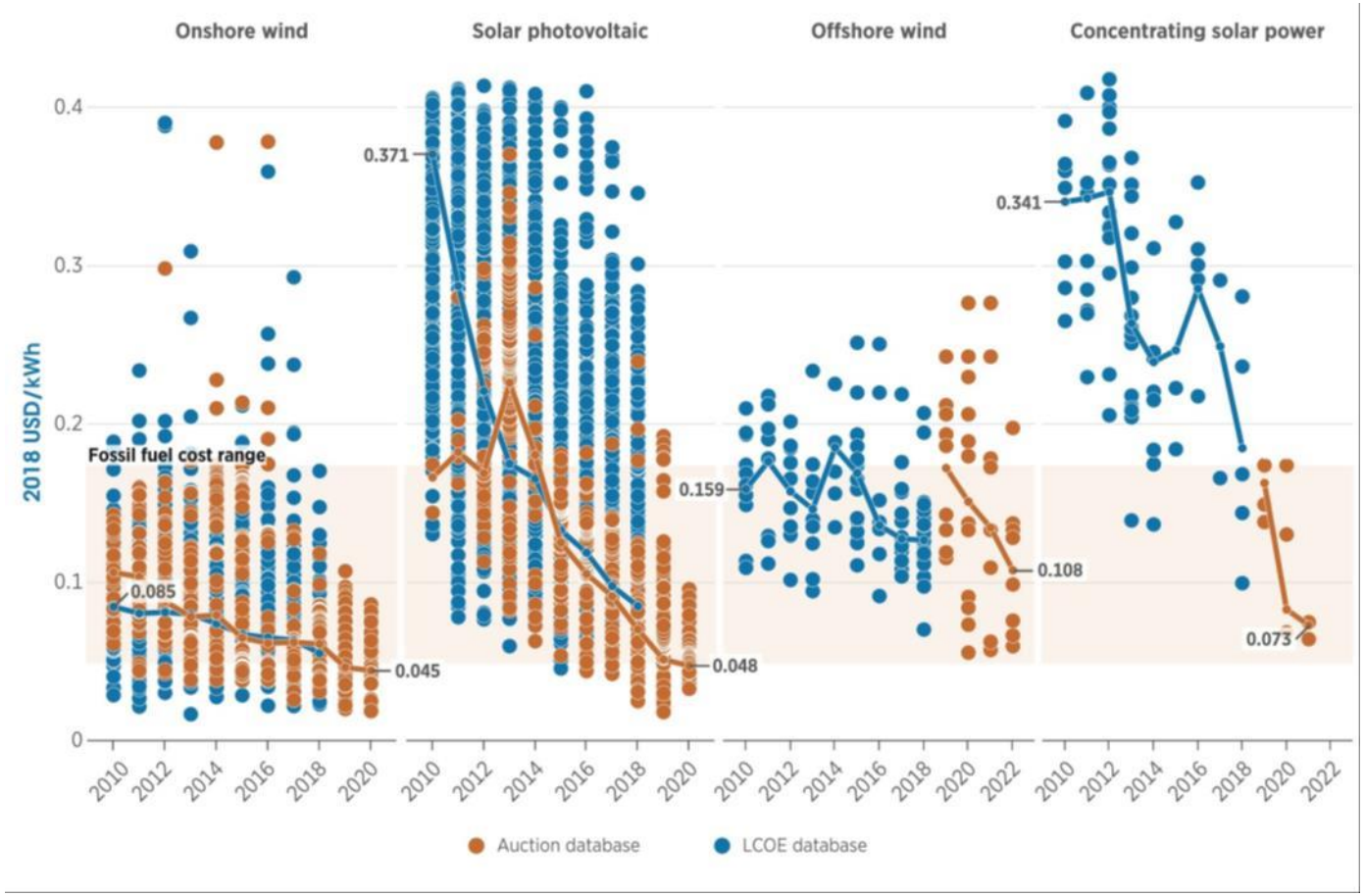


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC
Fraunhofer ISE

Photovoltaik stellt heute Energie am kostengünstigsten zur Verfügung!

Freiflächenanlagen

- Reduktion der Kosten
  für Strom aus Sonne und Wind
  von 2010 bis 2018 um 70 – 80 %
- weltweit schon PPAs unter
  1,4 €-cent/kWh
- in Deutschland zwischen
  4,3 – 5,5 €-cent/kWh

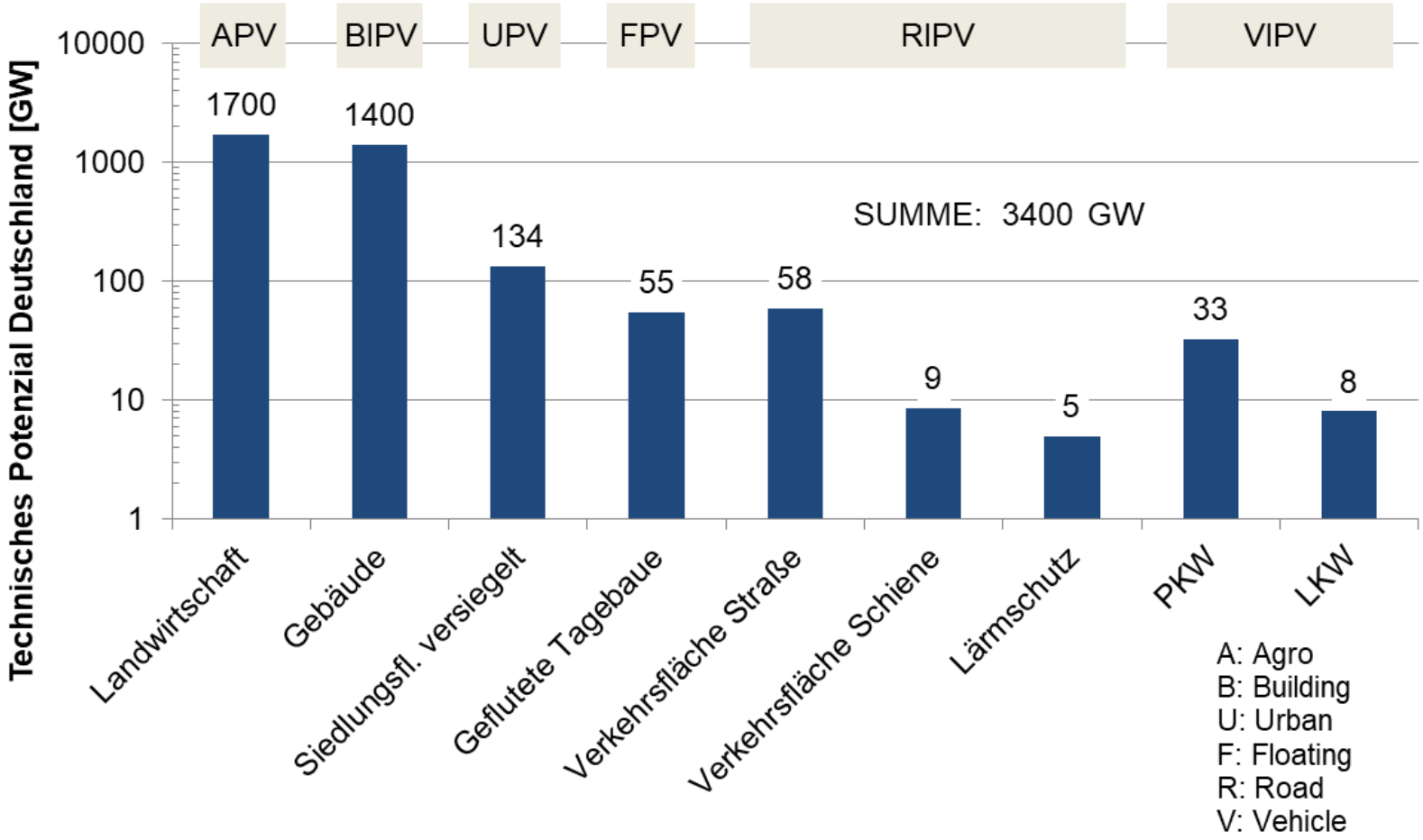


Renewable Power Generation Costs, Irena Report 2018

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Flächenbedarf für Photovoltaik
Potenziale in Deutschland

- theoretisches Potenzial: physikalische Gesetzmäßigkeiten
- **technisches Potenzial**: technische Restriktionen
- wirtschaftlich-praktisches Potenzial: Kosten, Infra-struktur, Rechtsrahmen, Akzeptanz



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC
Fraunhofer ISE

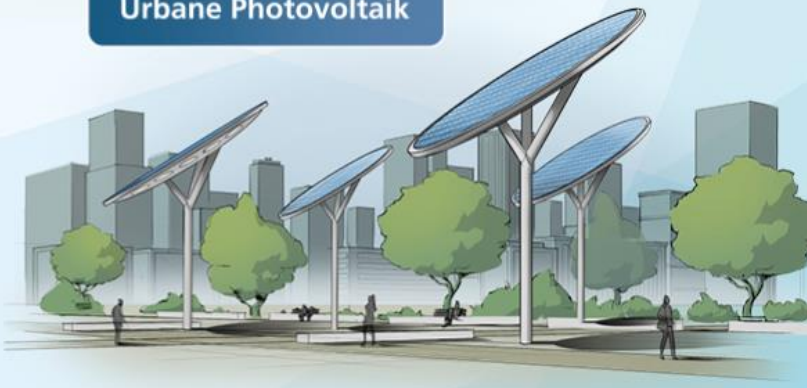
INTEGRIERTE PHOTOVOLTAIK

Fahrzeugintegrierte PV

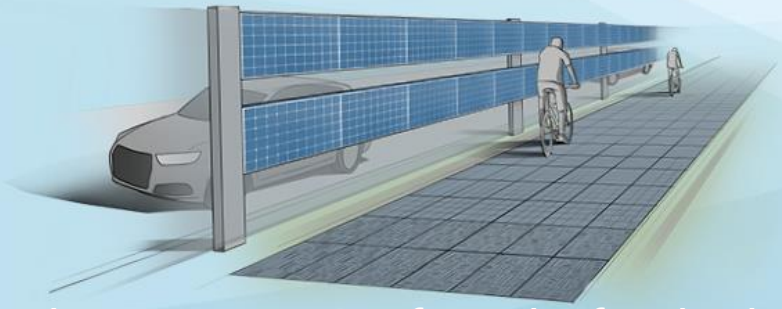
Bauwerkintegrierte PV

Agrophotovoltaik

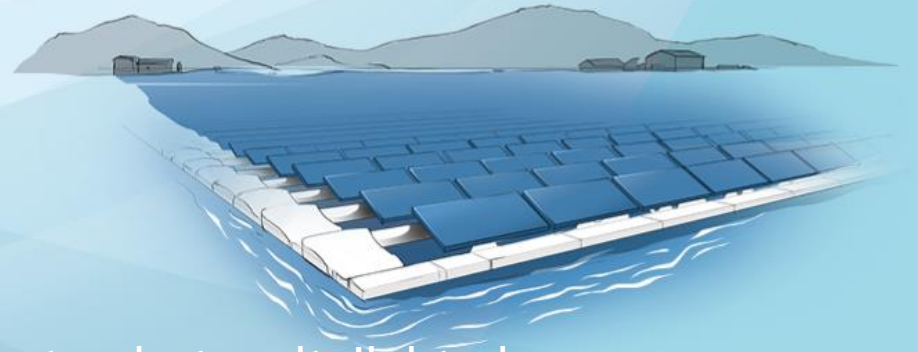
Urbane Photovoltaik



Verkehrswegeintegrierte PV



Schwimmende PV



https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik.html

Photovoltaik treibt die Speichertechnologien

Im Kraftwerksbereich – Erhöhung des Kapazitätsfaktors durch zeitlich verlängerte Verfügbarkeit

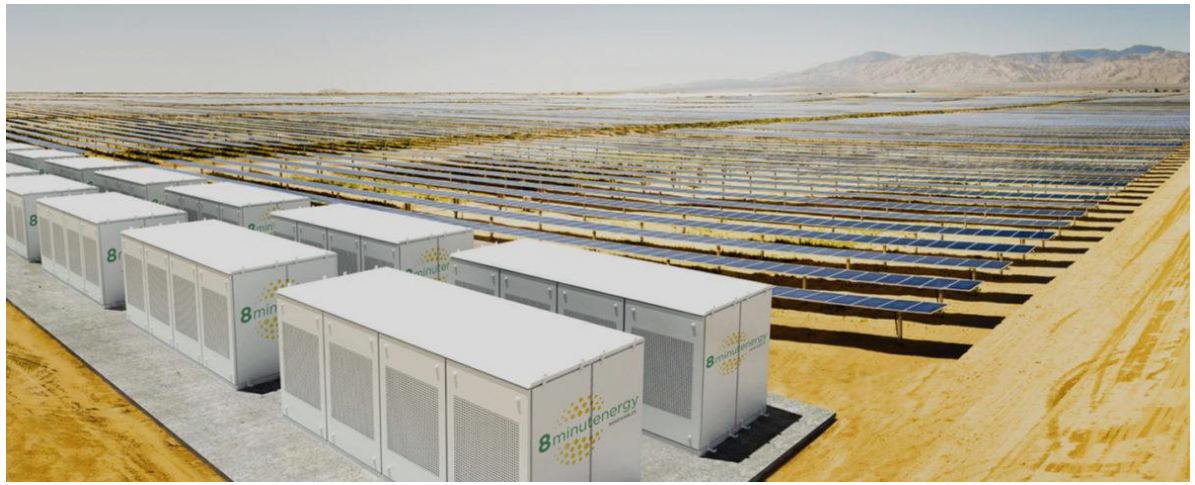
Los Angeles says “Yes” to the cheapest solar plus storage in the USA

Los Angeles’ municipal utility has voted 5-0 to approve a 25-year contract with a 400 MWac solar plus 300 MW / 1.2 GWh energy storage facility, with the aggregate price of the electricity from the project at 3.962¢/kWh.

SEPTEMBER 11, 2019 JOHN WEAVER

pv magazine

- PV: 400 MW_{ac}
- Speicher: 300 MW/1.2 GWh
- **PPA: 3.962 ¢/kWh**
- Erhöhung des Kapazitätsfaktors von ca. 20 % auf ca. 60 %

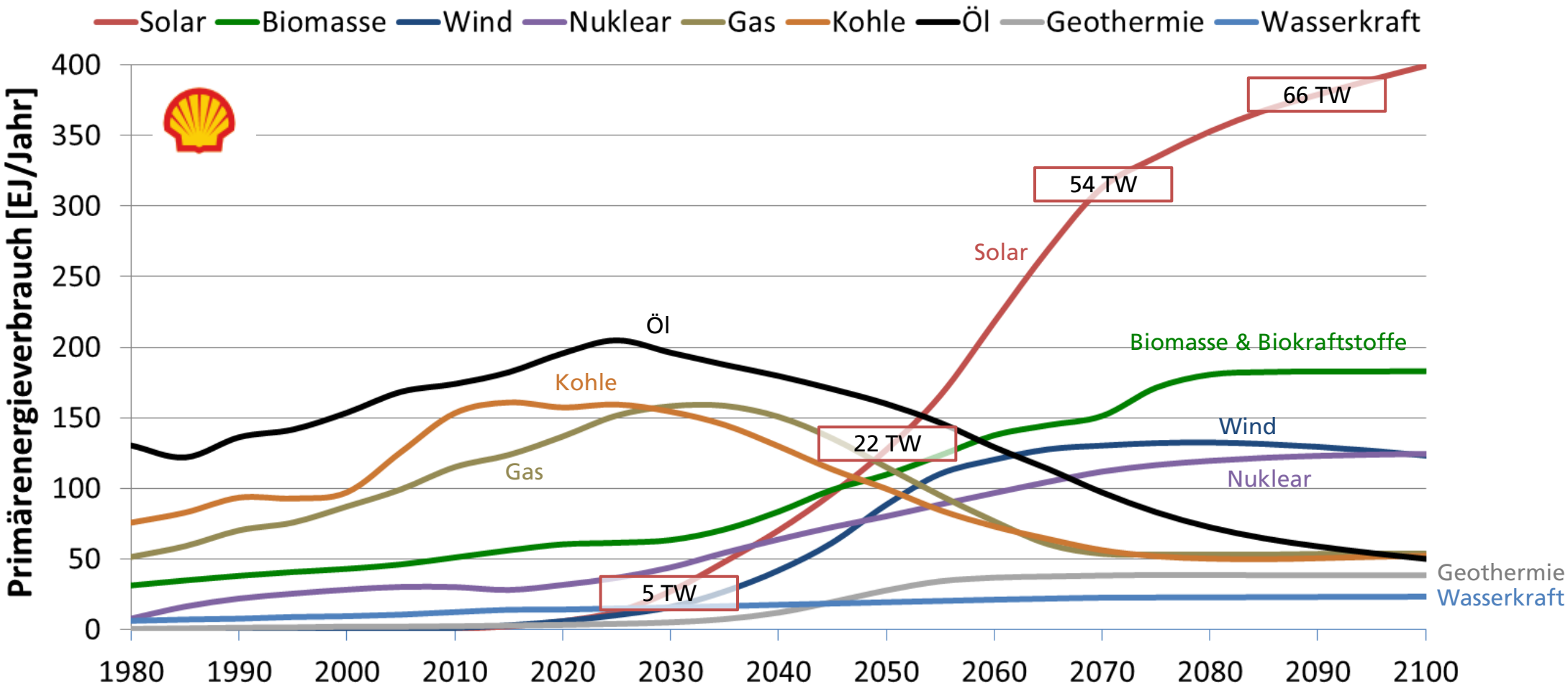


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

https://www.pv-magazine.com/2019/09/11/los-angeles-says-yes-to-the-cheapest-solar-plus-storage-in-the-usa/
https://pv-magazine-usa.com/2019/03/22/ultimate-five-year-plan-24-hour-solarstorage-power-plants-in-design-pipeline-now/

Energie-Marktszenario von Shell - Weltweit

Photovoltaik dominiert am Ende



https://www.carbonbrief.org/in-depth-is-shells-new-climate-scenario-as-radical-as-it-says

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Inhalt

Motivation und Einführung

Systemanalyse – Methodik

Systemanalyse – Ergebnisse

Fazit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Zielstellung 2030
Ergebnisse aus der Systembetrachtung

- Schnelle Absenkung der CO_2-Emissionen Stromerzeugung
  - CO_2-Faktor unter 200g/kWh in 2030, damit Sektorenkopplung sinnvoll ist (heute rund 414 g/kWh*)
  - Mindestens Verdoppelung der Leistung von Windenergieanlagen und PV bis 2030
- Kurzzeitspeicher / Flexibilitäten im großen Stil (etliche GWh) werden ab 2025 wichtig
- Elektrolyse im großen Stil (GW) wird ab 2030 wichtig
- Verkehr: 15 Mio. Elektrofahrzeuge in 2030
- Gebäudewärme: Steigerung Sanierungsrate auf mindestens 1,5%/a, Ausbau Wärmenetze, Steigerung elektrische Wärmepumpen (> 12 Prozent aller installierten Heizungen in 2030)

*Quelle: Agora Energiewende, 2020

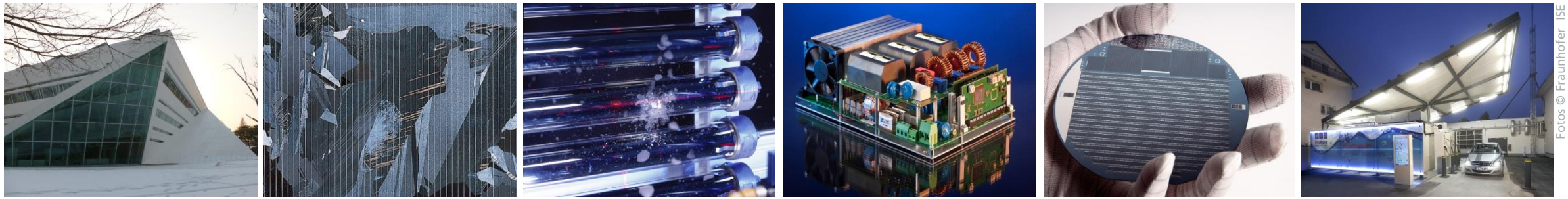
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Fazit
Einfluss gesellschaftlicher Verhaltensweisen

- Erreichen der Klimaschutzziele im Bereich der Energieversorgung aus technischer und systemischer Sicht machbar
- Maßgebliche Rolle gesellschaftlichen Verhaltens:
  - **Suffizienz** (sparsamer Umgang mit Energie)
    → **Reduzierung der notwendigen Menge an Anlagen und der damit einhergehenden Kosten**
  - **Beharrung** (Festhalten an der Nutzung gewohnter verbrennungsbasierter Techniken zur Wärmeversorgung und Fortbewegung)
    → **wesentlich größere Ausbauziele für erneuerbare Energien, erhöhter Import und höhere Kosten**
  - **Inakzeptanz** (Widerstand gegen den Ausbau großer Infrastrukturen wie Windenergieanlagen und Netze)
    → **Notwendigkeit eines stärkeren Ausbaus von Photovoltaik-Anlagen und Batteriespeichern, geringfügig höhere Kosten**

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC
Fraunhofer ISE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fotos © Fraunhofer ISE

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dr. Andreas Bett, Prof. Dr. Hans-Martin Henning

www.ise.fraunhofer.de

andreas.bett@ise.fraunhofer.de, hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-PUBLIC