WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM

Prof. Dr. Hans-Martin Henning

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Freiburger Diskurse, 01. Dezember 2020
„Bald alles kalt und dunkel hier?“

www.ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE

Inhalt

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Phasen der Energiewende

Fazit

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

Inhalt

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

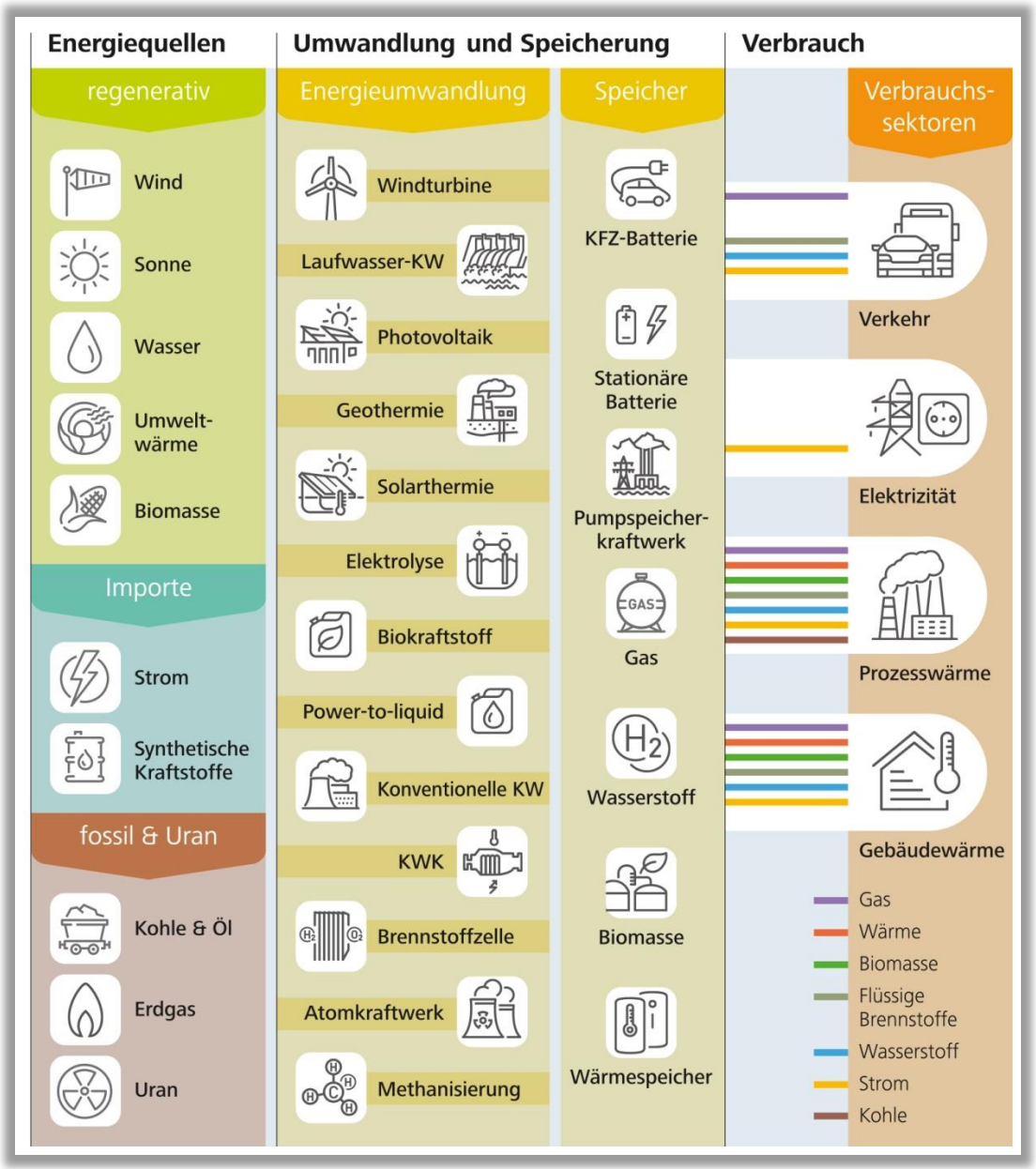
Phasen der Energiewende

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
  - Projektionen der Kostenentwicklung für alle relevanten Technologien
  - 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
Zugrundeliegende Annahmen

Reduktion energiebedingter CO_2-Emissionen um 95 % bis zum Jahr 2050 (gegenüber dem Wert von 1990)

Ausstieg aus der Kernenergie 2022

Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2035

Anstieg der Kuppelleistung für den Stromimport von 17 GW_{el} auf 40 GW_{el}

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

Systemanalyse – Methodik

Annahmen für die acht Energiewelten/Szenarien

		Vier Entwicklungen gesellschaftlicher Verhaltensweisen			
		Referenz: Mathematische Optimierung	**Beharrung: Festhalten an Bekanntem**	**Inakzeptanz: Widerstand gegen große Infrastrukturen**	**Suffizienz: Die Energiewende förderndes Verhalten**
Zwei Entwicklungen für Weltmarkt-preise des Imports grüner Energieträger	**Preis-pfad hoch**	Referenz_Hoch	Beharrung_Hoch	Inakzeptanz_Hoch	Suffizienz_Hoch
	Preis-pfad niedrig	Referenz_Niedrig	Beharrung_Niedrig	Inakzeptanz_Niedrig	Suffizienz_Niedrig

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

Inhalt

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

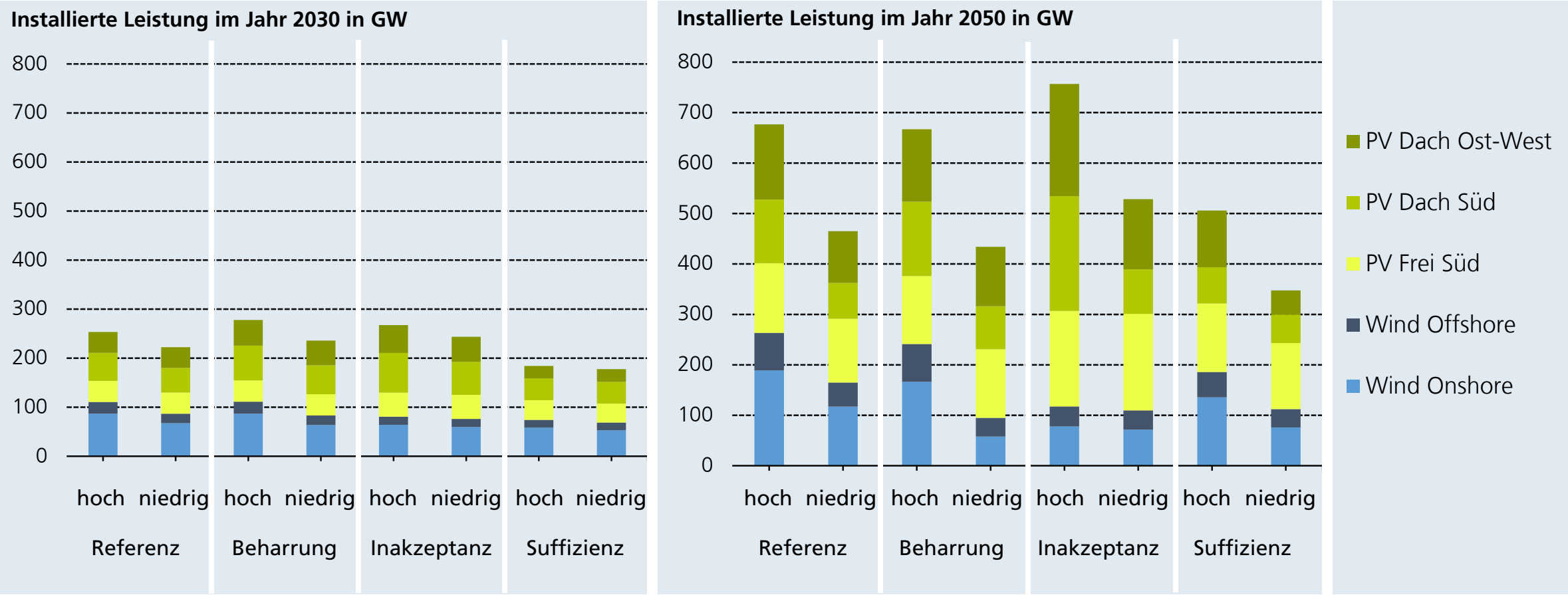
Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Phasen der Energiewende

Fazit

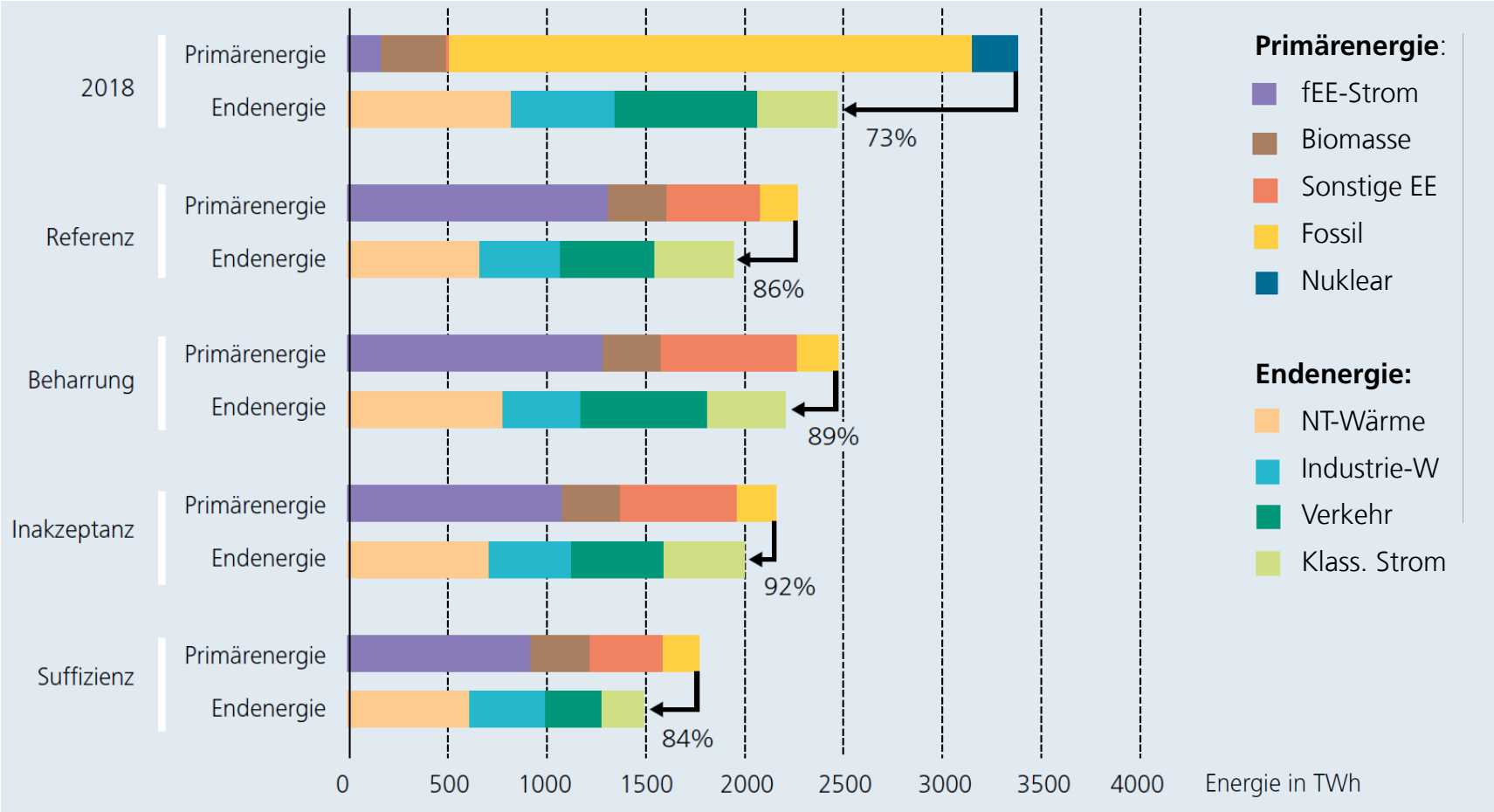
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Ergebnisse
Installierte Leistung Wind und PV



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

Primärenergie und Endenergie
Heute und im Jahr 2050



fEE: fluktuierende erneuerbare Energien (Sonne, Wind)

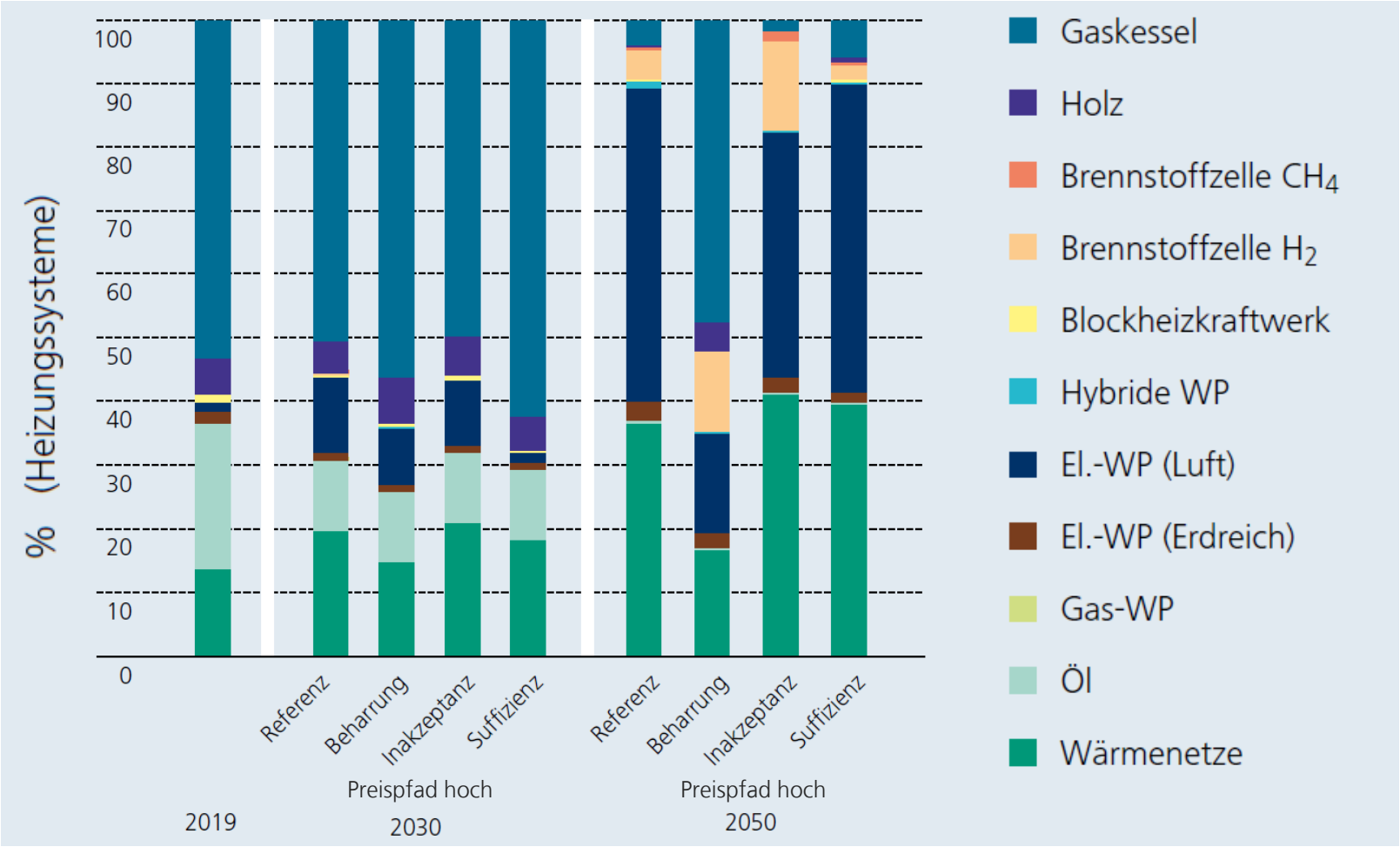
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

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

Zusammensetzung der Heizungssysteme

Bereitstellung von Heizwärme und Trinkwarmwasser in Gebäuden



Nur **Haupt-Wärmeerzeuger** dargestellt. Solarthermie und Heizstäbe werden zusätzlich genutzt, sind hier aber nicht gezeigt.

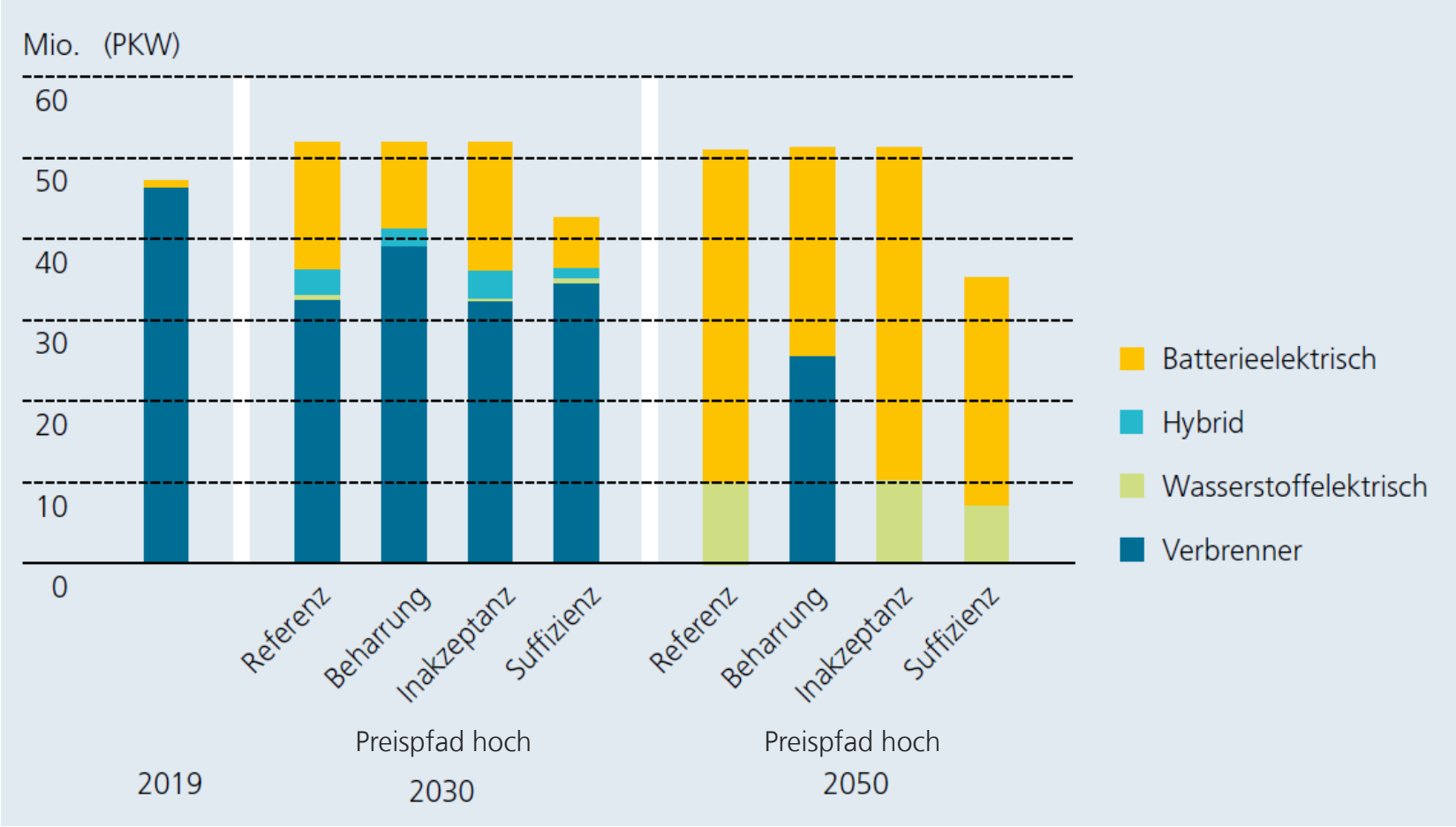
(WP: Wärmepumpe)

© 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. 43

Fraunhofer ISE

Verkehrssektor
Verwendete Antriebstechnologien im PKW-Bereich



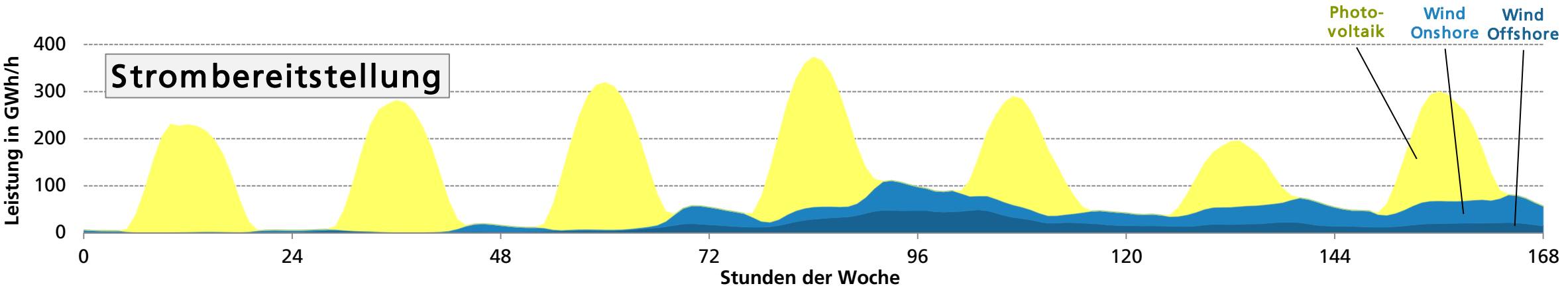
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

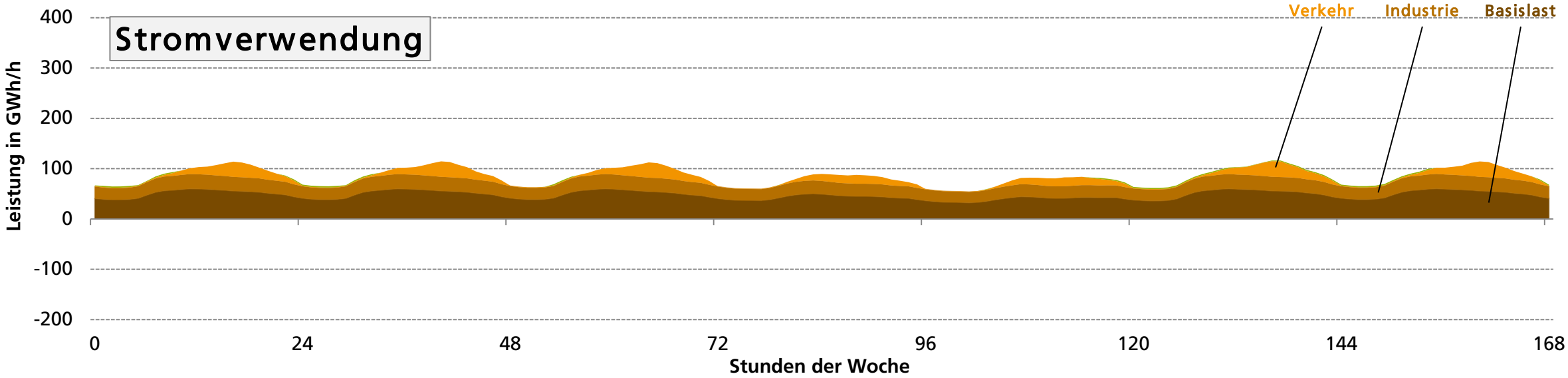
Sterchele, P. et al. (2020). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, S. 43

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





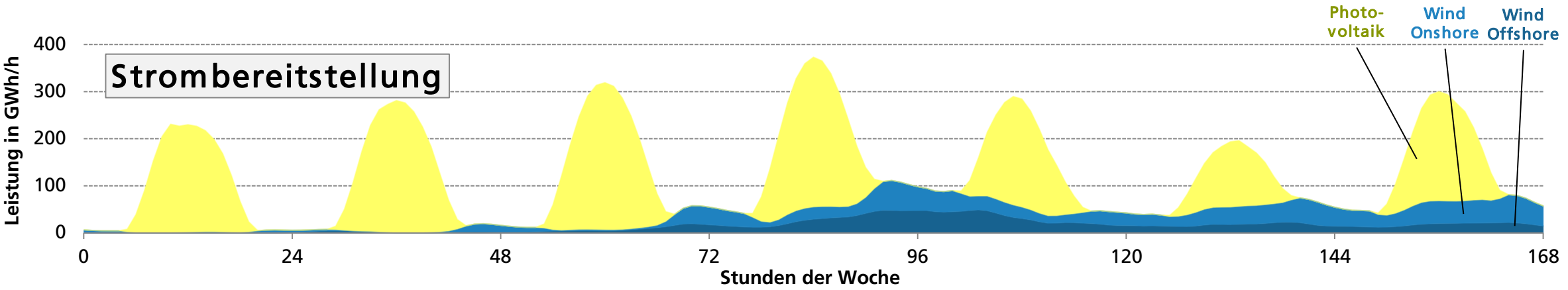
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

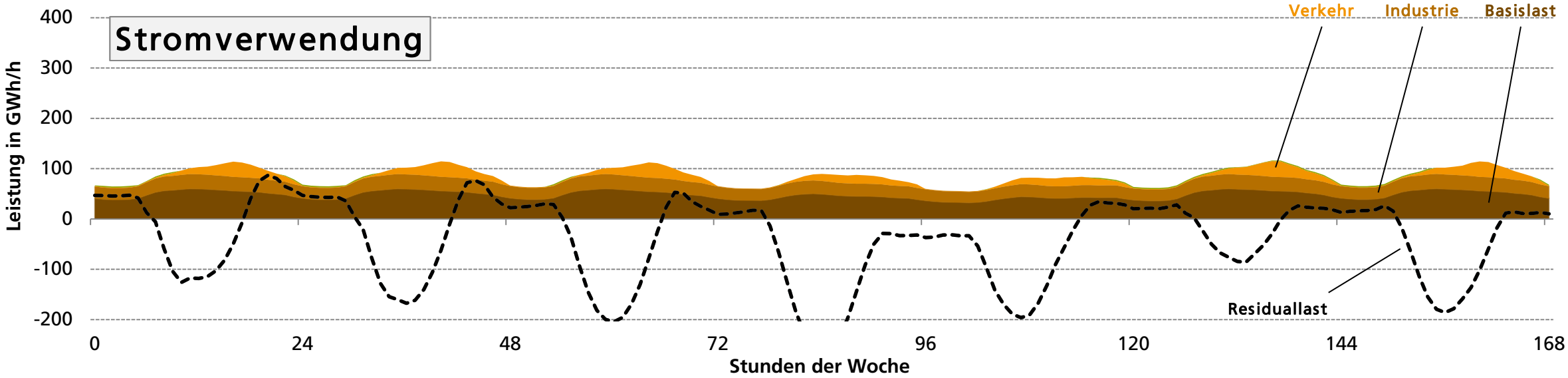
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





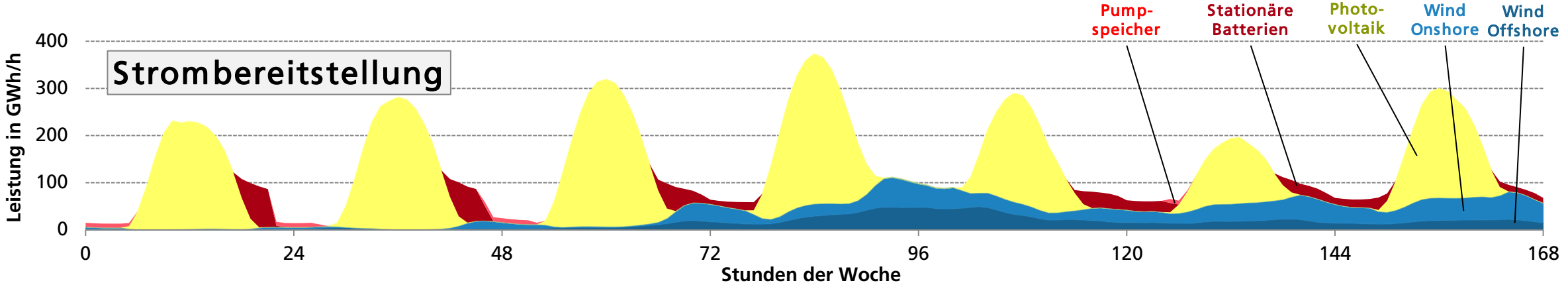
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

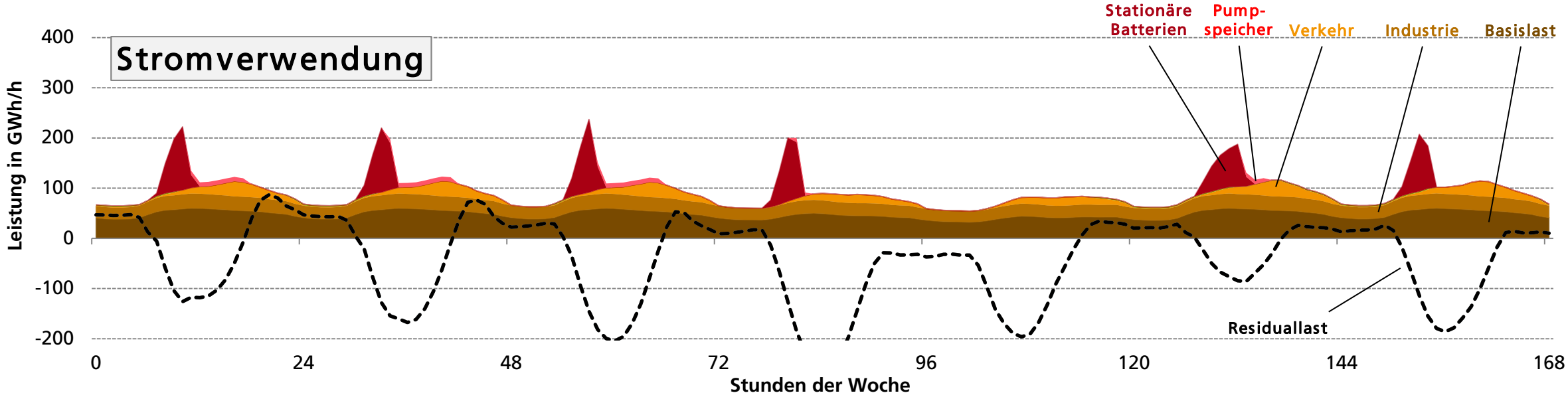
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





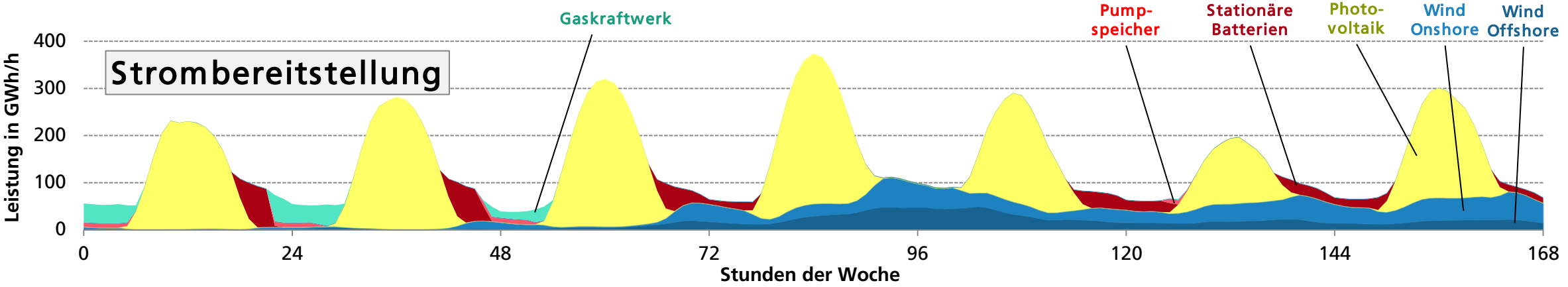
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

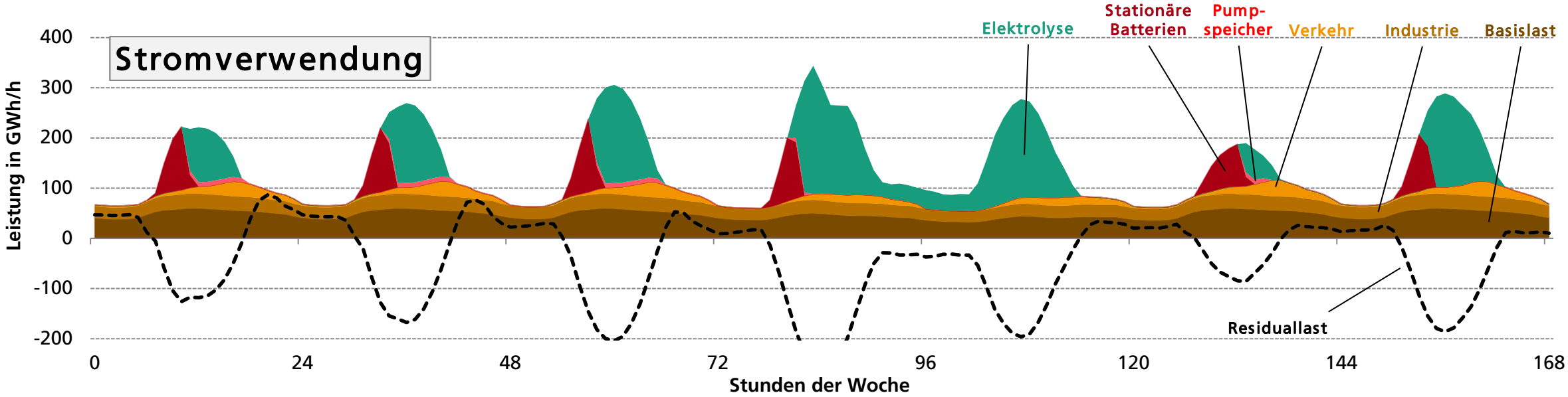
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





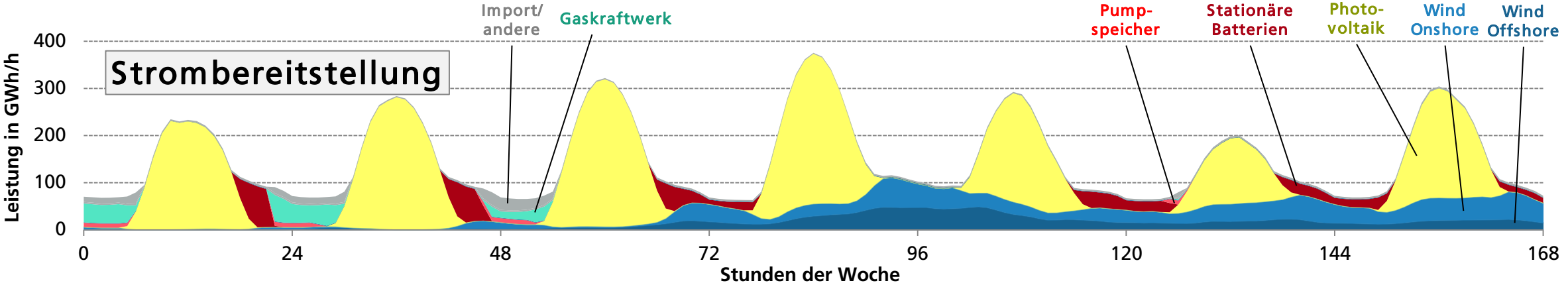
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

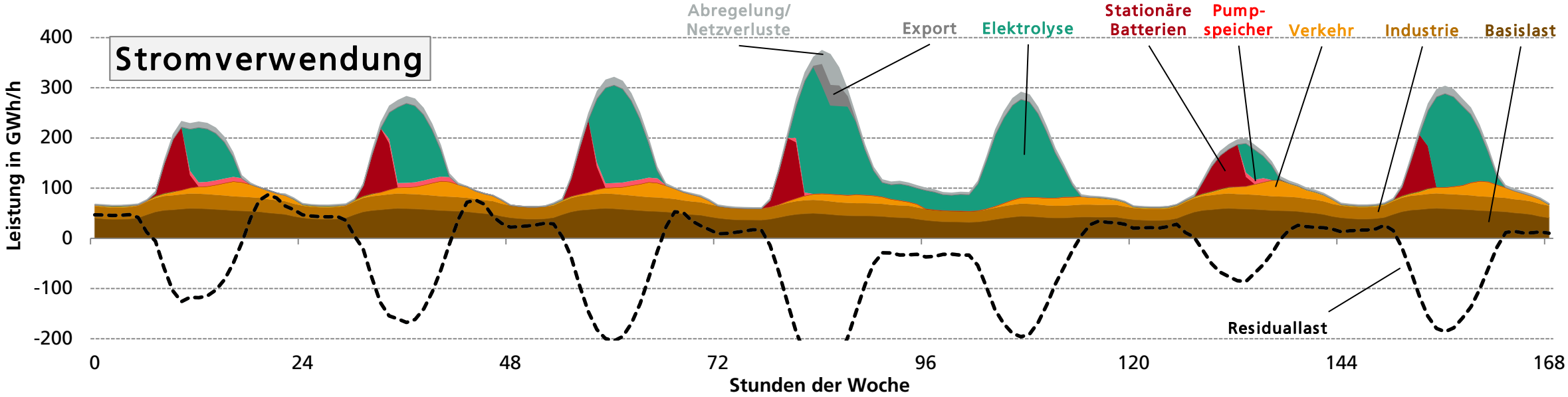
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





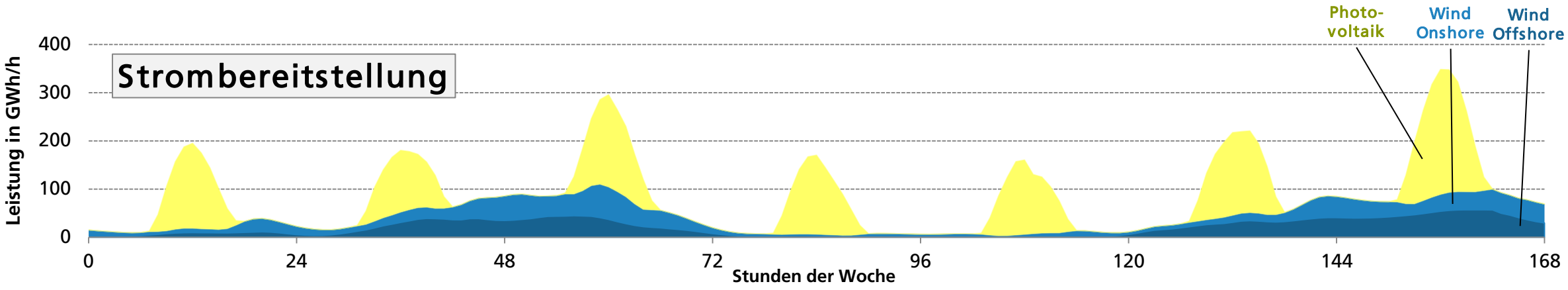
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

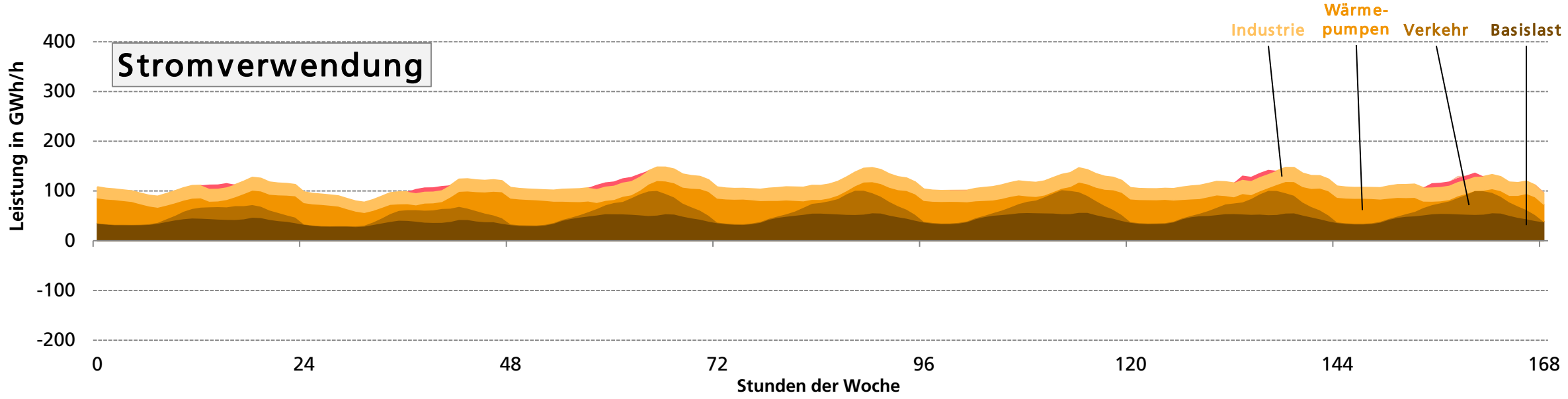
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





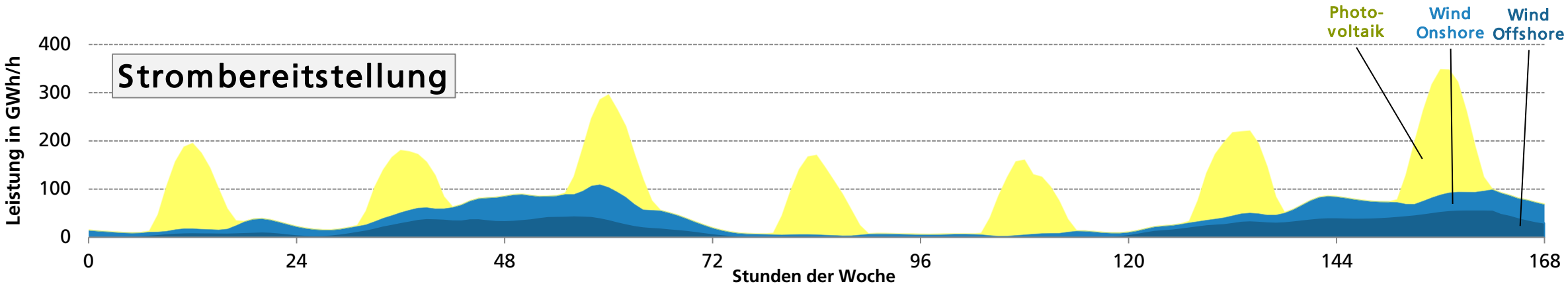
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

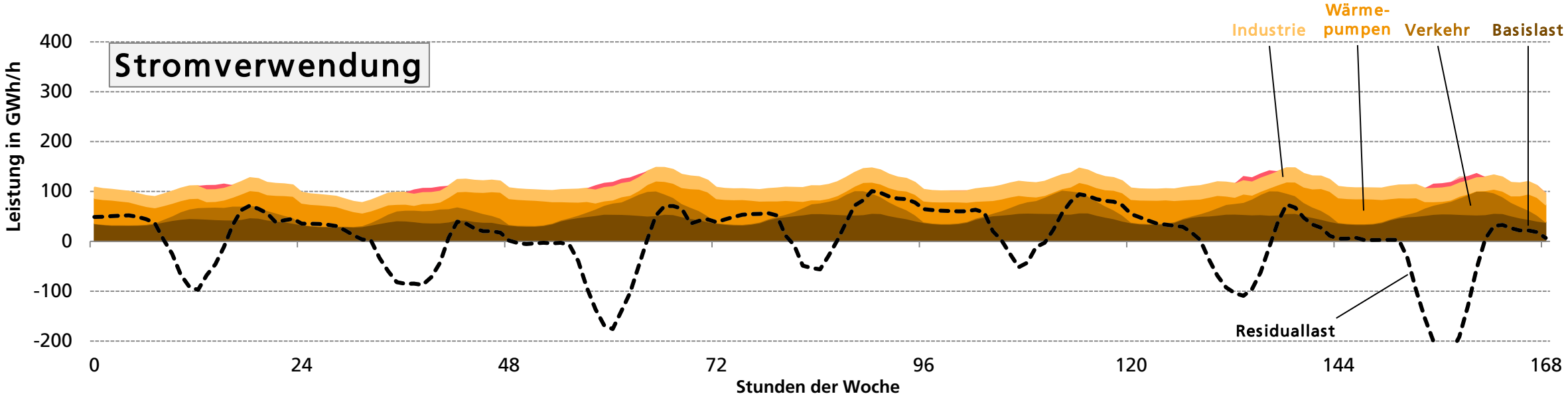
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





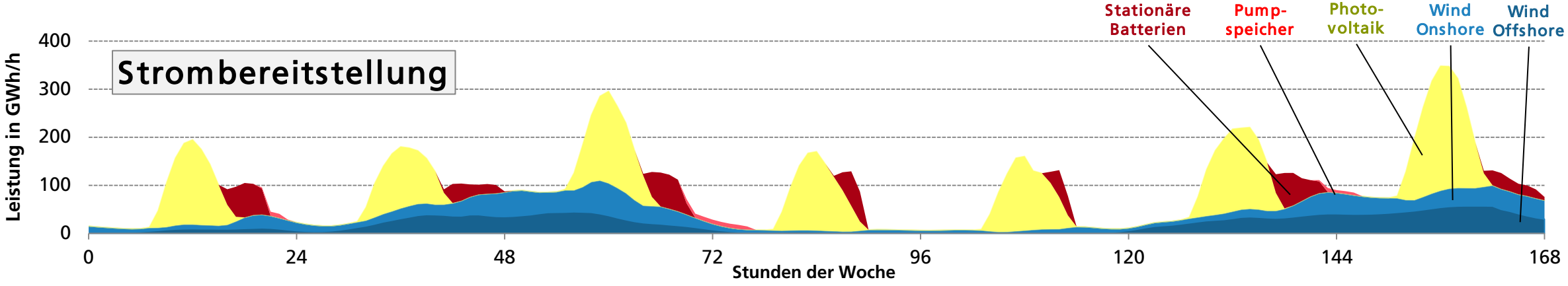
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

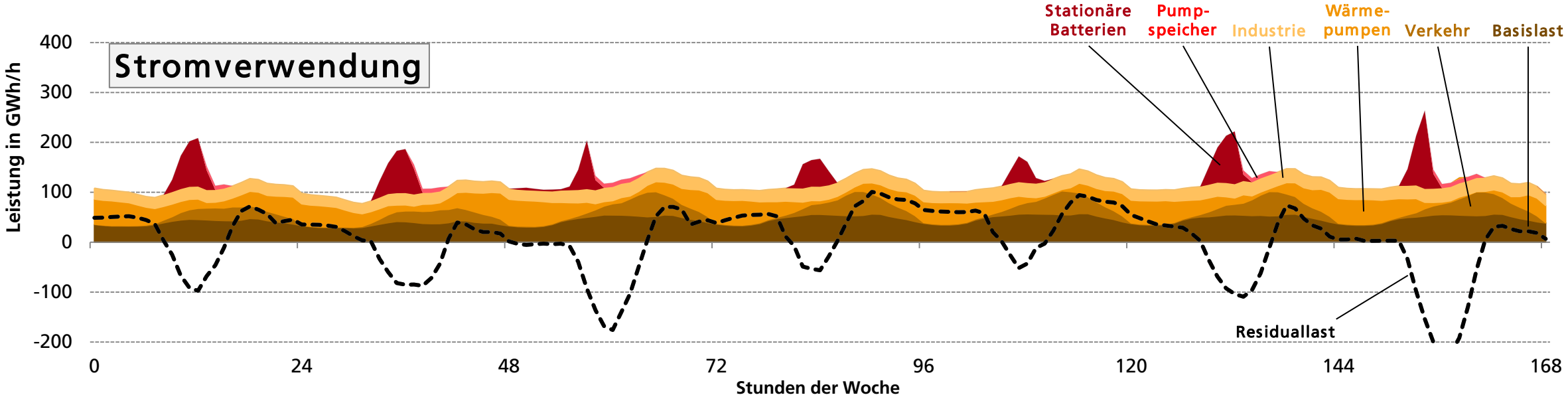
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





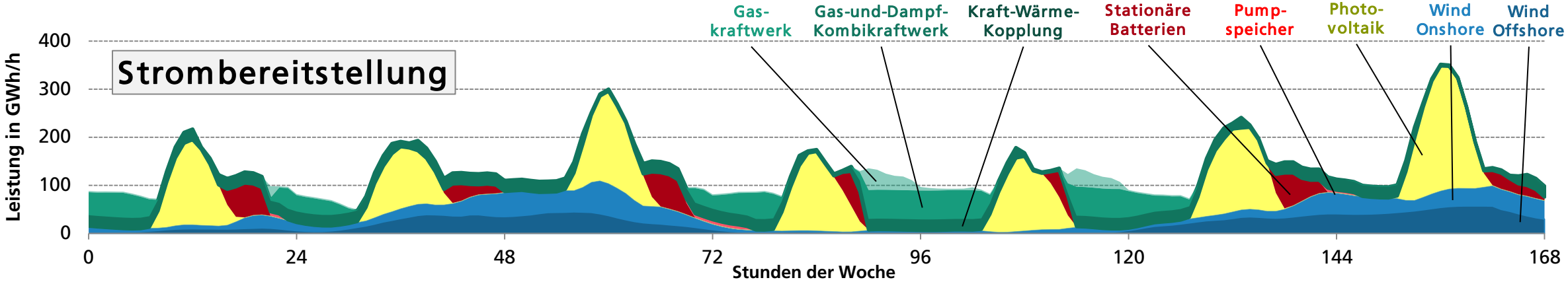
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

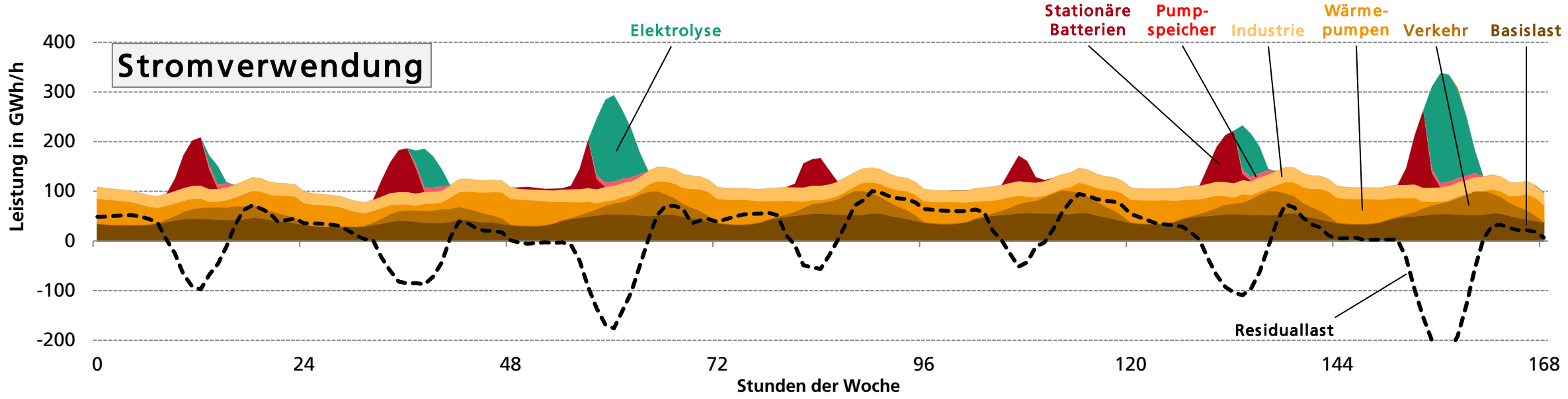
Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2050

Szenario Referenz_hoch





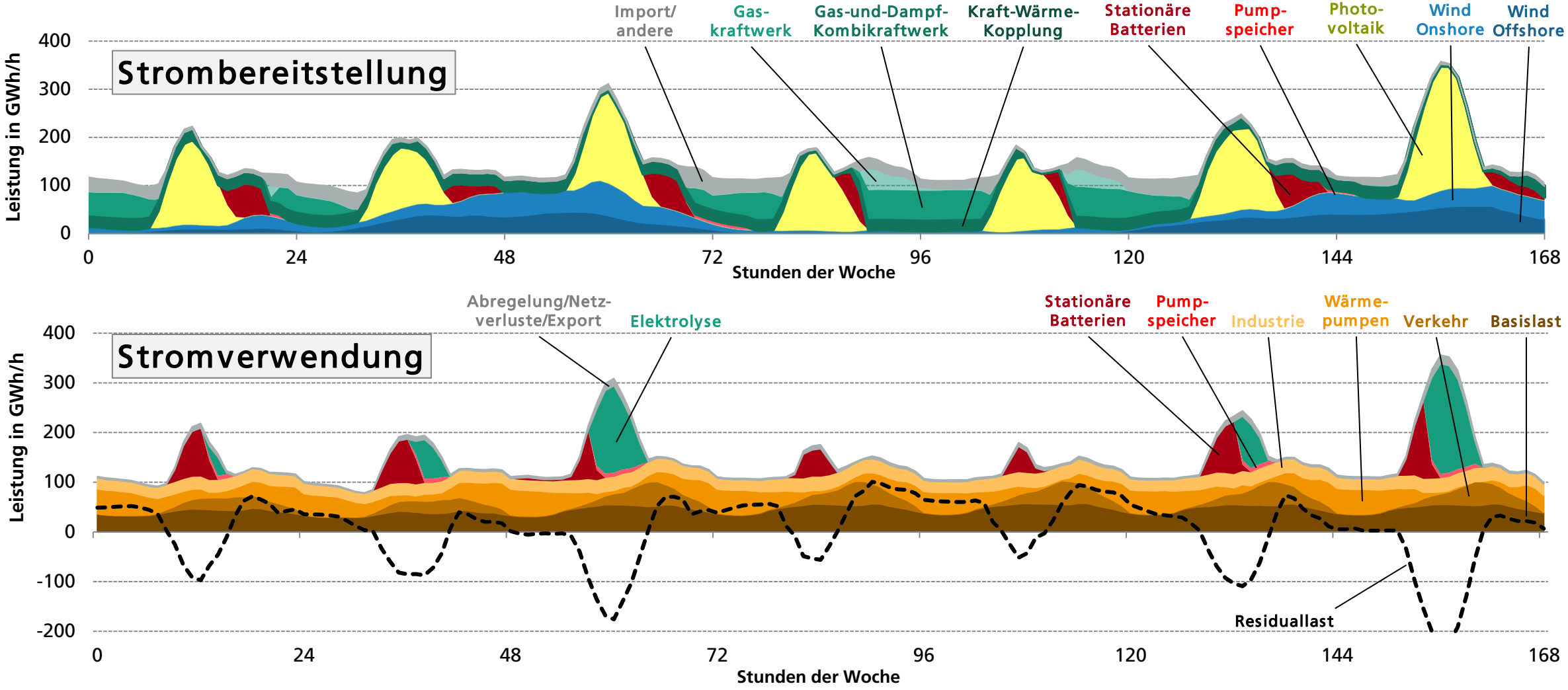
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2050

Szenario Referenz_hoch



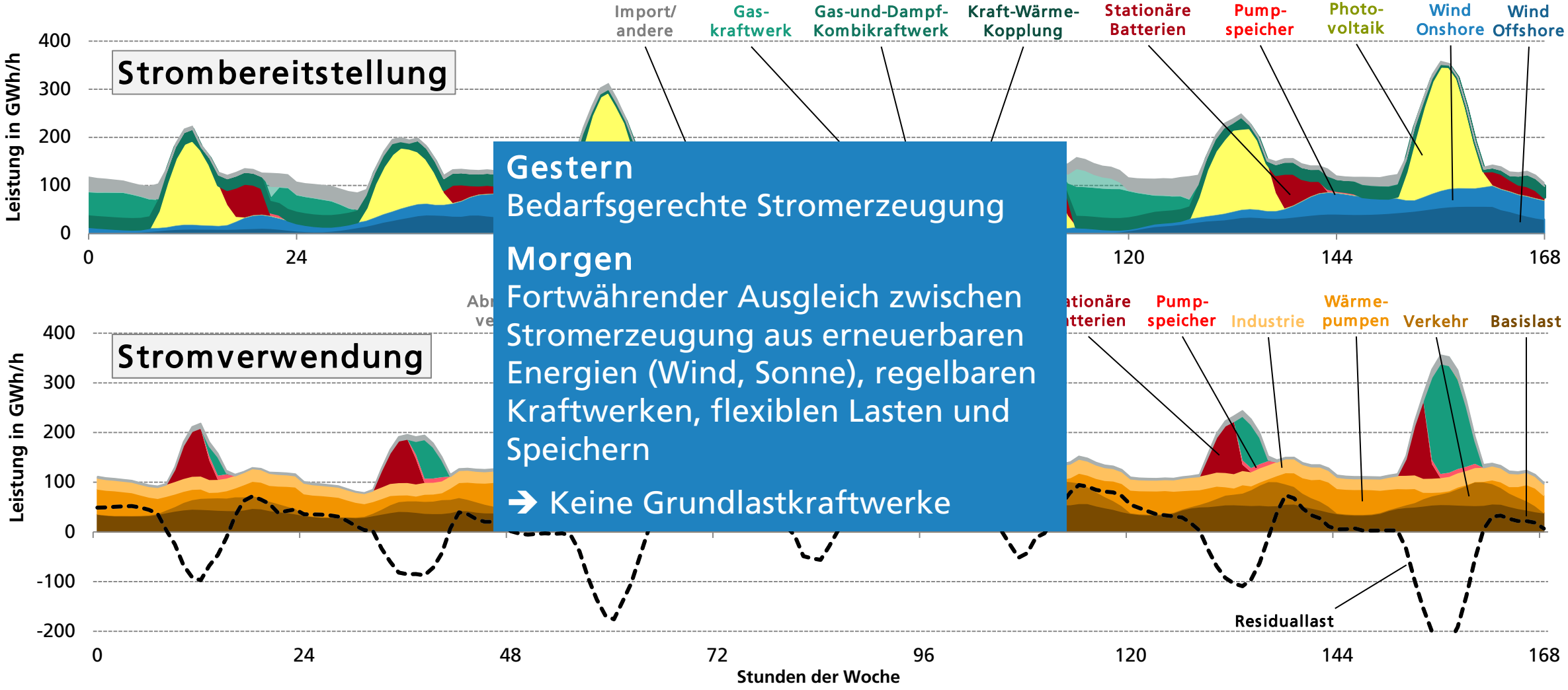
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Winterwoche 2050

Szenario Referenz_hoch



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

Daten: P. Sterchele, „Analysis of Technology Options to Balance Power Generation from Variable Renewable Energies “, Dissertation (2019)

Fraunhofer ISE

Elektrotechnische Versorgungssicherheit
Zukünftige Netzregelung durch Umrichter

Synchronmaschinen in konventionellen Kraftwerken spielen heute eine wichtige Rolle:

- Spannungsregelung
- Blindleistungsversorgung
- Frequenzregulierung
- Bereitstellung der Stromreserve
- Netzdynamik / Stabilität / Momentanreserve
- Schutz des Netzes

Leistungselektronische Komponenten (Wechselrichter) werden (u.a. in Kombination mit Batteriespeichern) diese Leistungen übernehmen:

- ➔ Virtuelle Synchronmaschinen
- ➔ Halbleiter-basierte Netze

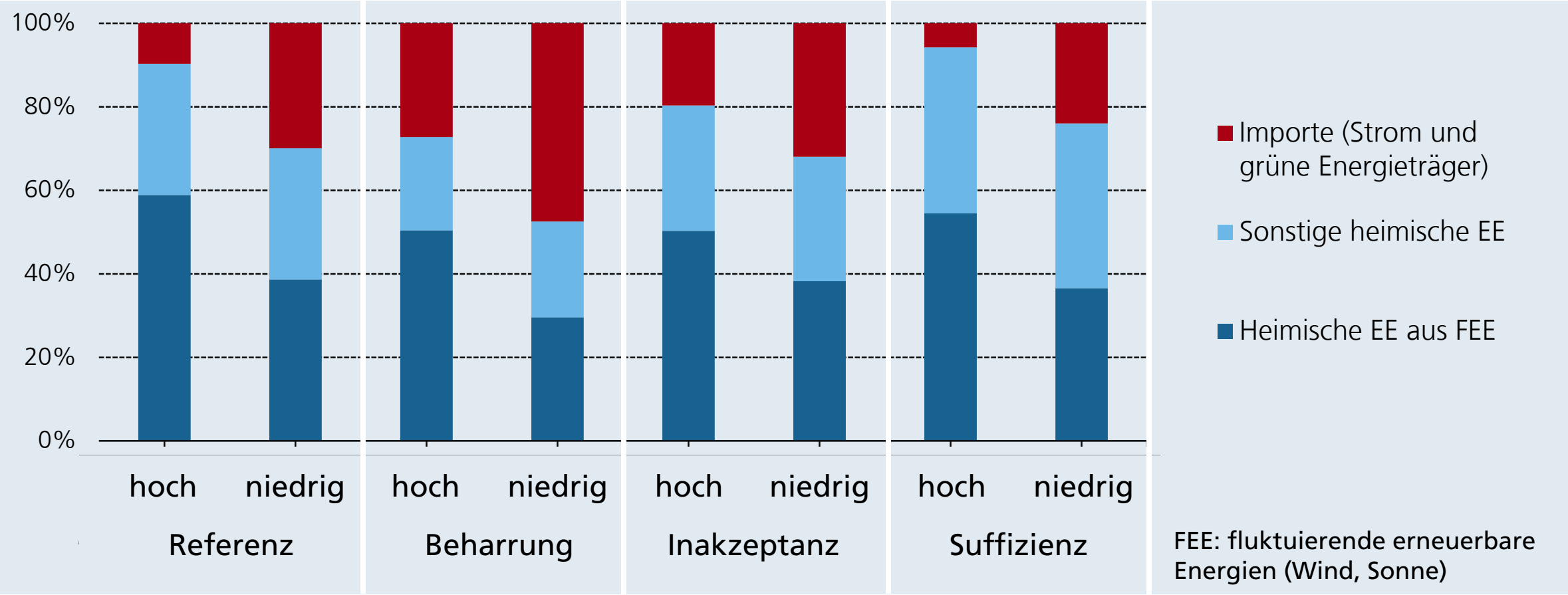
Turbosatz: Dampfturbine mit Synchrongenerator, Quelle: Siemens

PV-Wechselrichter, Quelle: SMA

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

Ergebnisse

Prozentualer Beitrag zur Reduktion CO_2-Emissionen

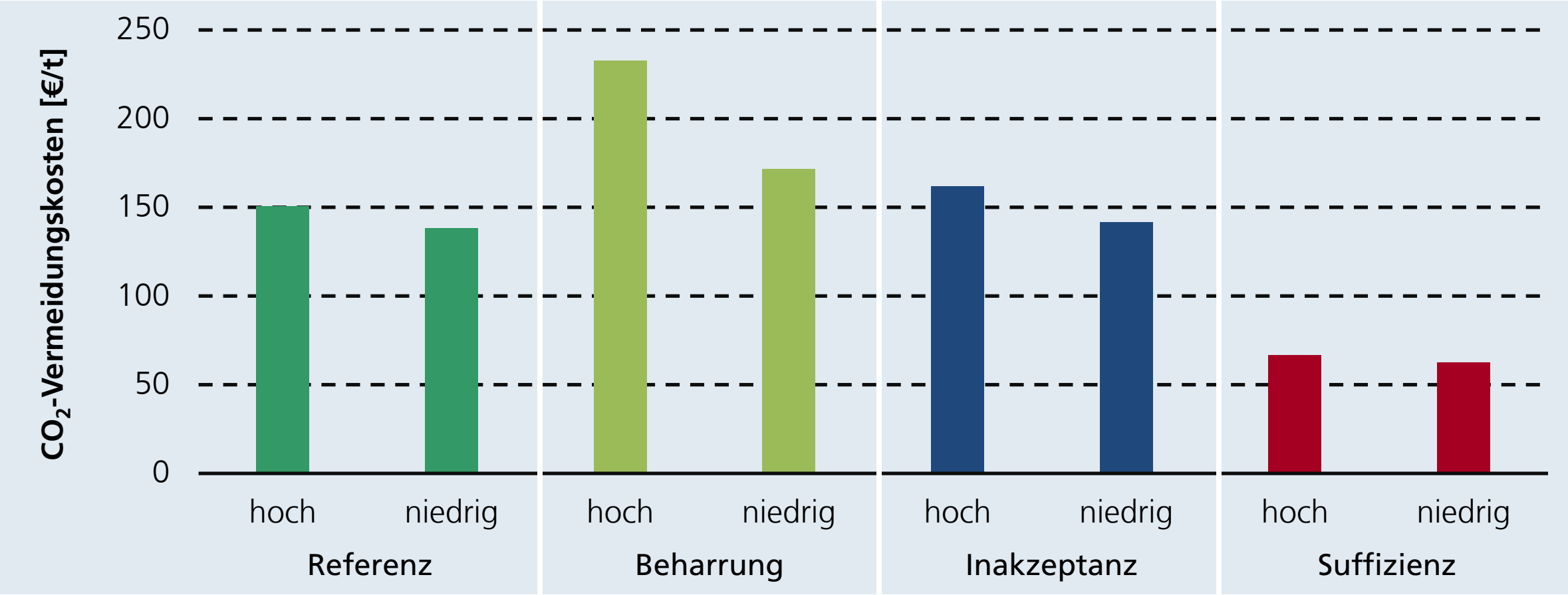


FEE: fluktuierende erneuerbare Energien (Wind, Sonne)

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

Ergebnisse

CO_2-Vermeidungskosten der verglichenen Szenarien (Mittel 2021-2050)



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

Inhalt

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

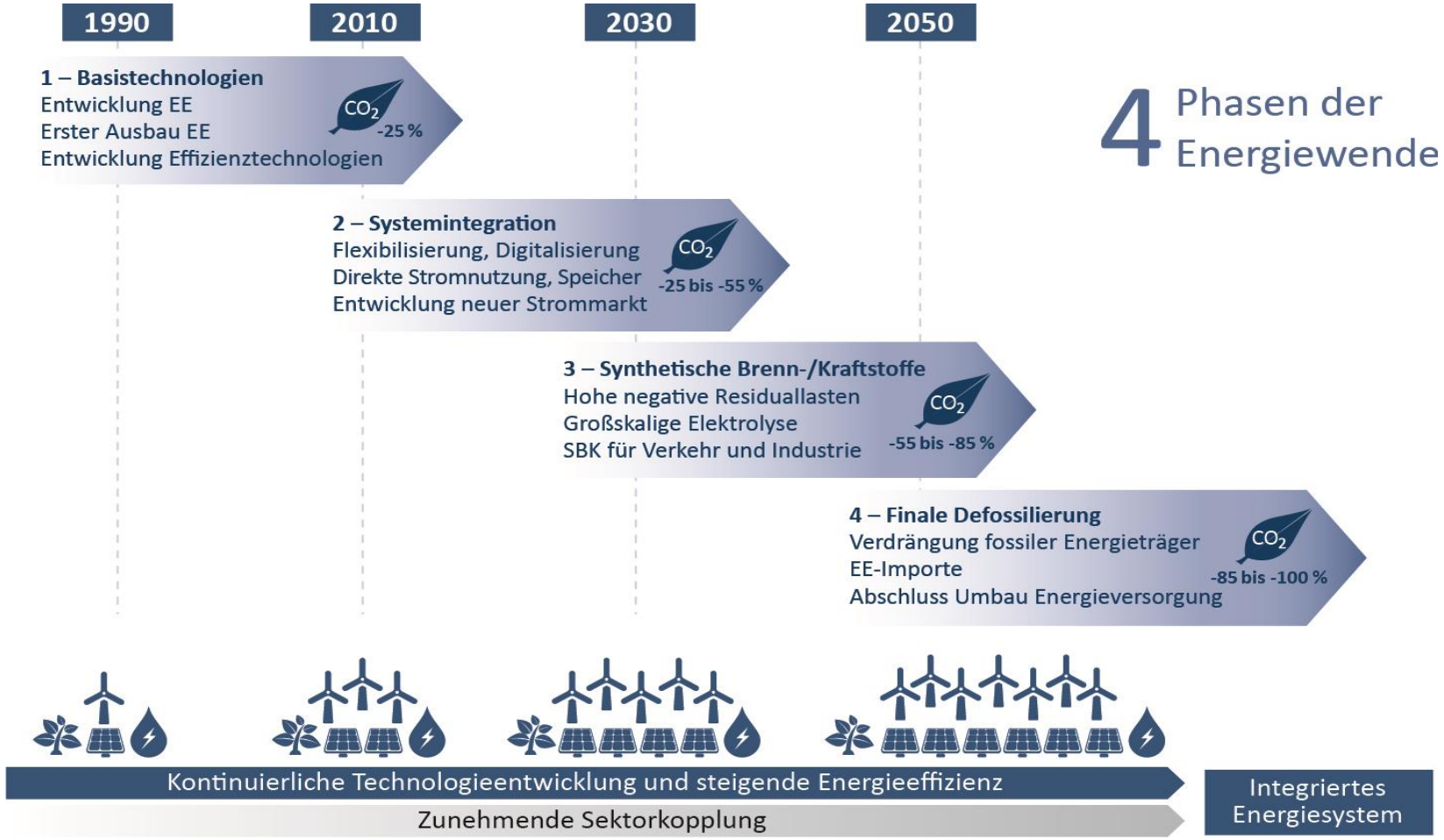
Phasen der Energiewende

Fazit

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

»Sektorkopplung« – Optionen für die nächste Phase der Energiewende

Phasen der Energiewende



4 Phasen der Energiewende

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION
DER DEUTSCHEN AKADEMIEN DER WISSENSCHAFTEN

Leopoldina
Nationale Akademie der Wissenschaften

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Download: http://energiesysteme-zukunft.de/ themen/sektorkopplung/

Fraunhofer ISE

Inhalt

Zukünftiges Energiesystem – Szenarien und Methodik

Zukünftiges Energiesystem – Ergebnisse

Phasen der Energiewende

Fazit

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

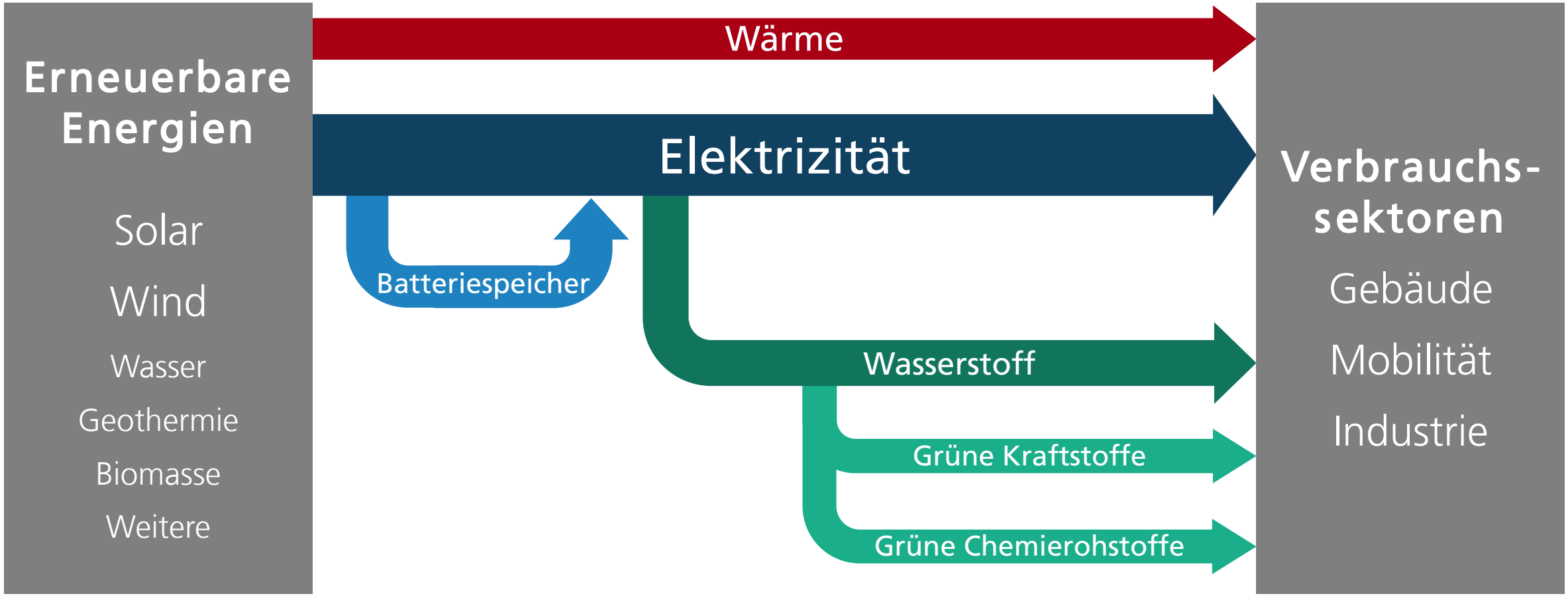
Erkenntnisse und Fazit

- Großteil der CO_2-Reduktionen im Energiesektor (60-90 %) werden in Deutschland erreicht
- Paradigmenwechsel: EE-Strom wird die wichtigste Primärenergie

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

Paradigmenwechsel – Die Welt von morgen

Erneuerbarer Strom wird zur wichtigsten Primärenergie



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

Erkenntnisse und Fazit

- Großteil der CO_2-Reduktionen im Energiesektor (60-90 %) werden in Deutschland erreicht
- Paradigmenwechsel: EE-Strom wird die wichtigste Primärenergie
- Das System- und Marktdesign muss diesem Paradigma folgen
- Dabei großes Potenzial lokaler Konzepte (Quartiere, Gewerbe, Industrieparks) mit hoher Beteiligung lokaler Akteure
- Anreizsystem für systemdienlichen Eigenverbrauch
- Es bestehen Freiheitsgrade bezüglich Mix Sonne-Wind
- Gesellschaftliches Verhalten hat wesentlichen Einfluss auf die Menge benötigter Energie

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

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Foto © Fraunhofer ISE

Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, www.ise.fraunhofer.de

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

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE