
Die Rolle des Smart Grids für das Cross Energy Management im erneuerbaren Energieszenario (2050)



Christof Wittwer

Fraunhofer-Institut
für Solare Energiesysteme ISE

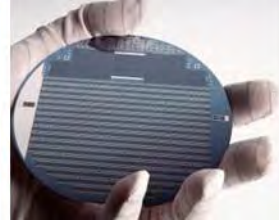
Smart Grids Week 2014
22. Mai 2014, Graz

www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

12 Geschäftsfelder

Fotos © Fraunhofer ISE



Energieeffiziente Gebäude

Silicium-Photovoltaik

III-V- und Konzentrator- Photovoltaik

Farbstoff-, Organische und Neuartige
Solarzellen

Photovoltaische Module und
Kraftwerke

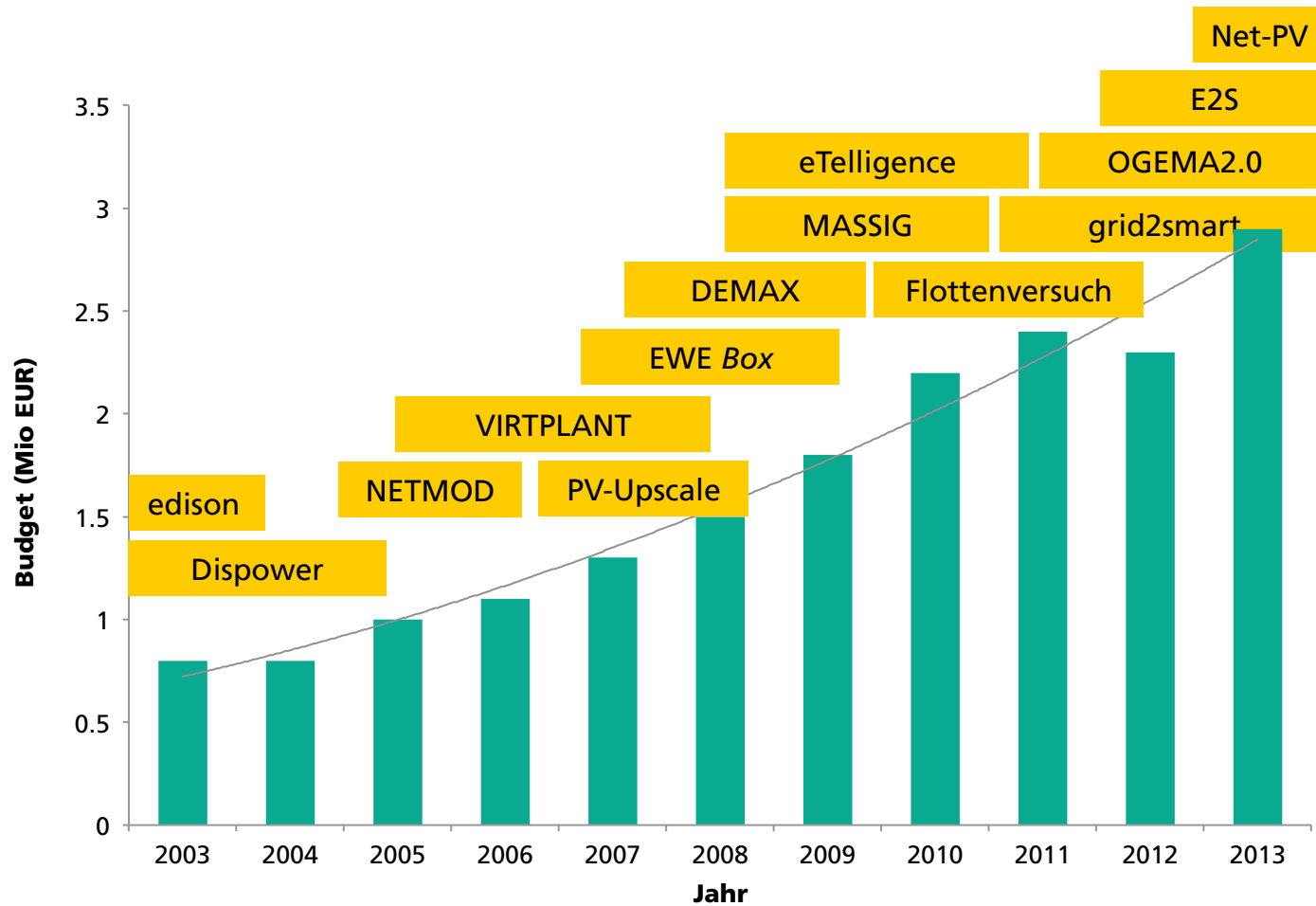
Solarthermie

- Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- Systemintegration und Netze – Strom, Wärme, Gas
- Energieeffiziente Leistungselektronik
- Emissionsfreie Mobilität
- Speichertechnologien
- Energiesystemanalyse

Kompetenzen in Forschung, Entwicklung und Demonstration



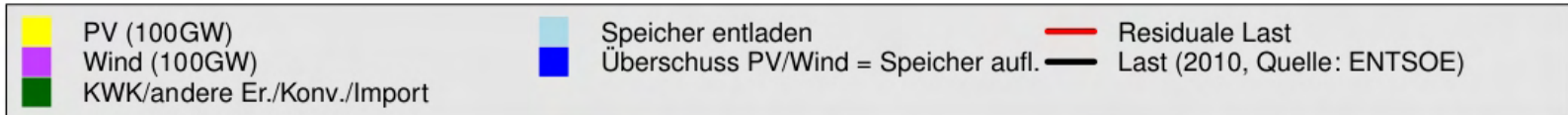
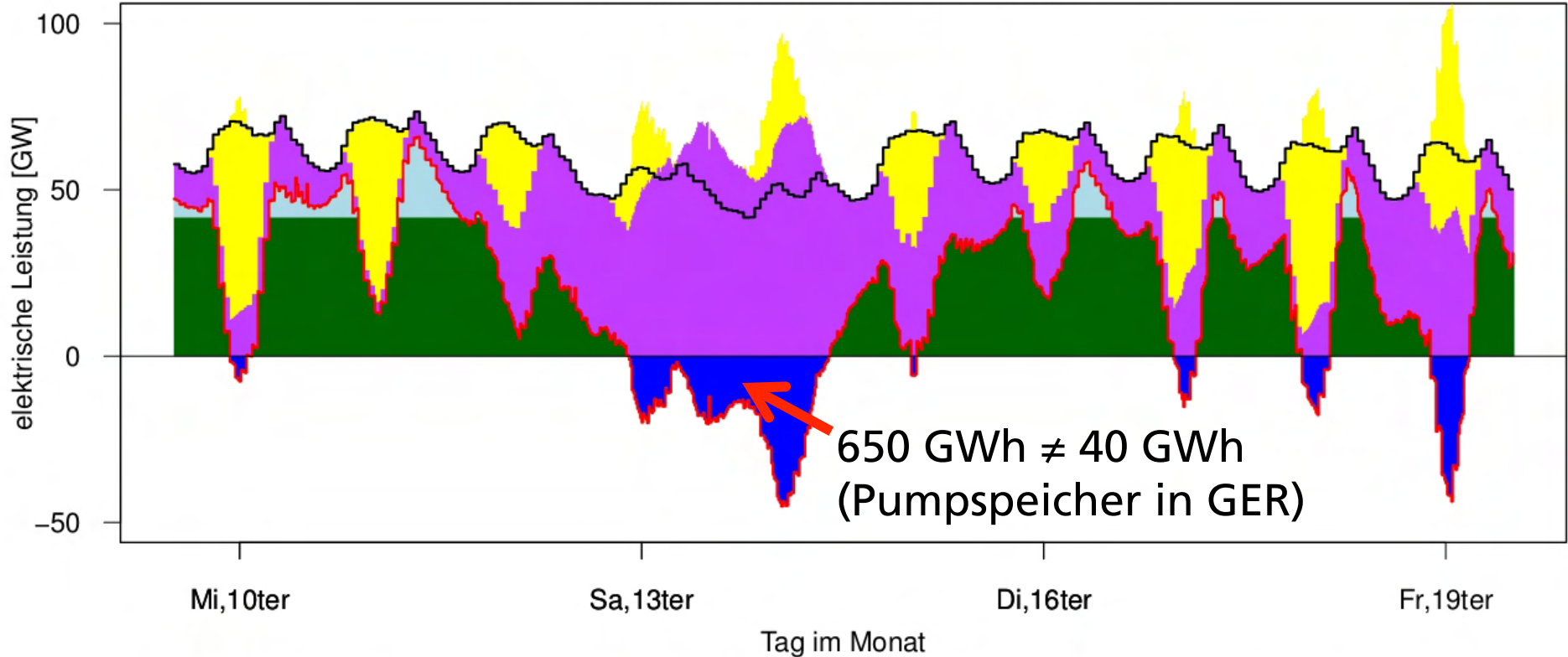
Historie und Leuchttürme



Speicherbedarf durch Transformation im Stromnetz

Energieszenario mit 100GW PV und 100GW Wind

Erzeugung und Last in Deutschland – März



Energieszenarien

Cross-Energy-Energieszenario Fraunhofer ISE

- CEM-Energieszenario 2050, Studie:
<http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien-und-positions-papiere/studie-energiesystem-deutschland-2050>

hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de
andreas.palzer@ise.fraunhofer.de
- Methodik
- Ergebnisse Beispielsystem
- Bezug zu den Smart Grid Technologien und deren Rolle

Energiewende Deutschland – nationaler Konsens

Ziele der deutschen Bundesregierung für 2050

Insgesamt

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % (bezogen auf 1990)
- Halbierung des Primärenergieverbrauchs (bezogen auf 2008)
- Anteil erneuerbarer Energien von 60 % am Endenergieverbrauch

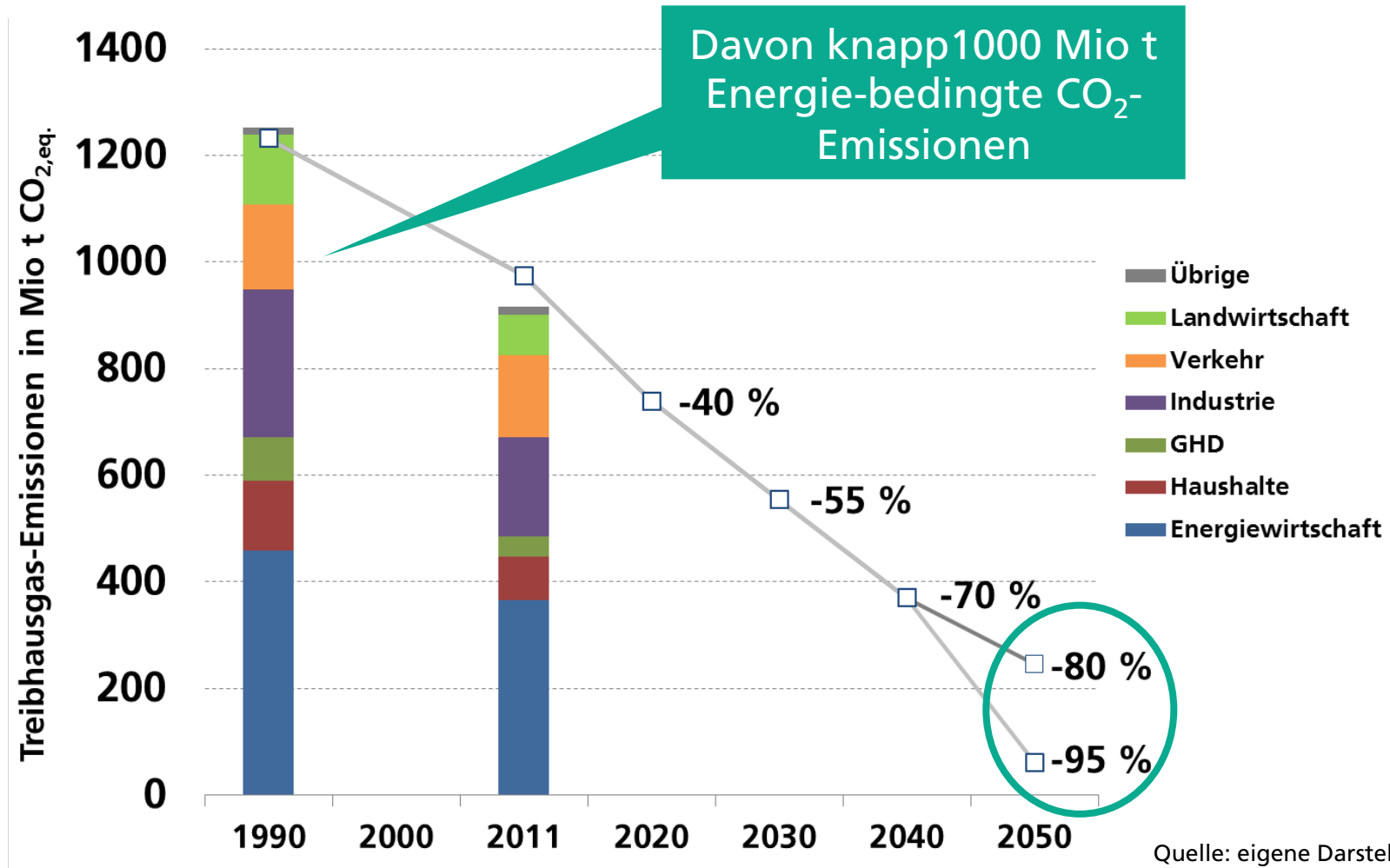
Strom

- Reduktion Verbrauch um 25 % (bezogen auf 2008)
- Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch 80 %

Gebäudesektor

- Nahezu „klimaneutraler Gebäudesektor“
- Reduktion fossil bereit gestellter Primärenergie um 80 %

(Soll-) Entwicklung Treibhausgas-Emissionen Deutschland



Leitfragen unserer Untersuchung

- Ist es möglich, den Energiebedarf Deutschlands überwiegend oder vollständig mit erneuerbaren Energien zu decken?

Falls ja: wie sehen kostenoptimale, konsistente Systeme aus?

Methodik:

- Stündliche Modellierung der Energieflüsse unter Berücksichtigung aller Komponenten des Energiesystems (Erzeugung, Speicherung, Verbrauch)
- Optimierung → Minimierung jährlicher Gesamtkosten zum Erhalt und Betrieb des Gesamtsystems. Anvisierte Kosten für (Re-) Investitionen, Finanzierung, Betrieb, Wartung
- Einbeziehung energetische Sanierung Gebäude

Modell-Ansatz Optimierung Energiesystem im eingeschwungenen Zustand

Exogene Vorgaben

CO₂-Emissionen →
verfügbare Menge
fossiler Energieträger

Strombedarf (ohne Strom
für MIV und Wärme)

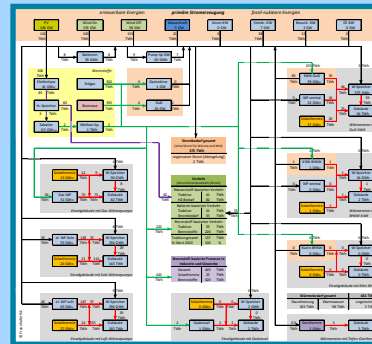
Prozesswärmebedarf
Industrieprozesse

Energiebedarf Verkehr

Verfügbare Biomasse

Leistung konv. KW

Optimierer
Optimierung
Strom-Wärme-
System (Minimie-
rung jährliche
Gesamtkosten)



Ergebnisse

Installierte Leistung
aller Komponenten

Größe Speicher

Umfang
energetische
Sanierung Gebäude

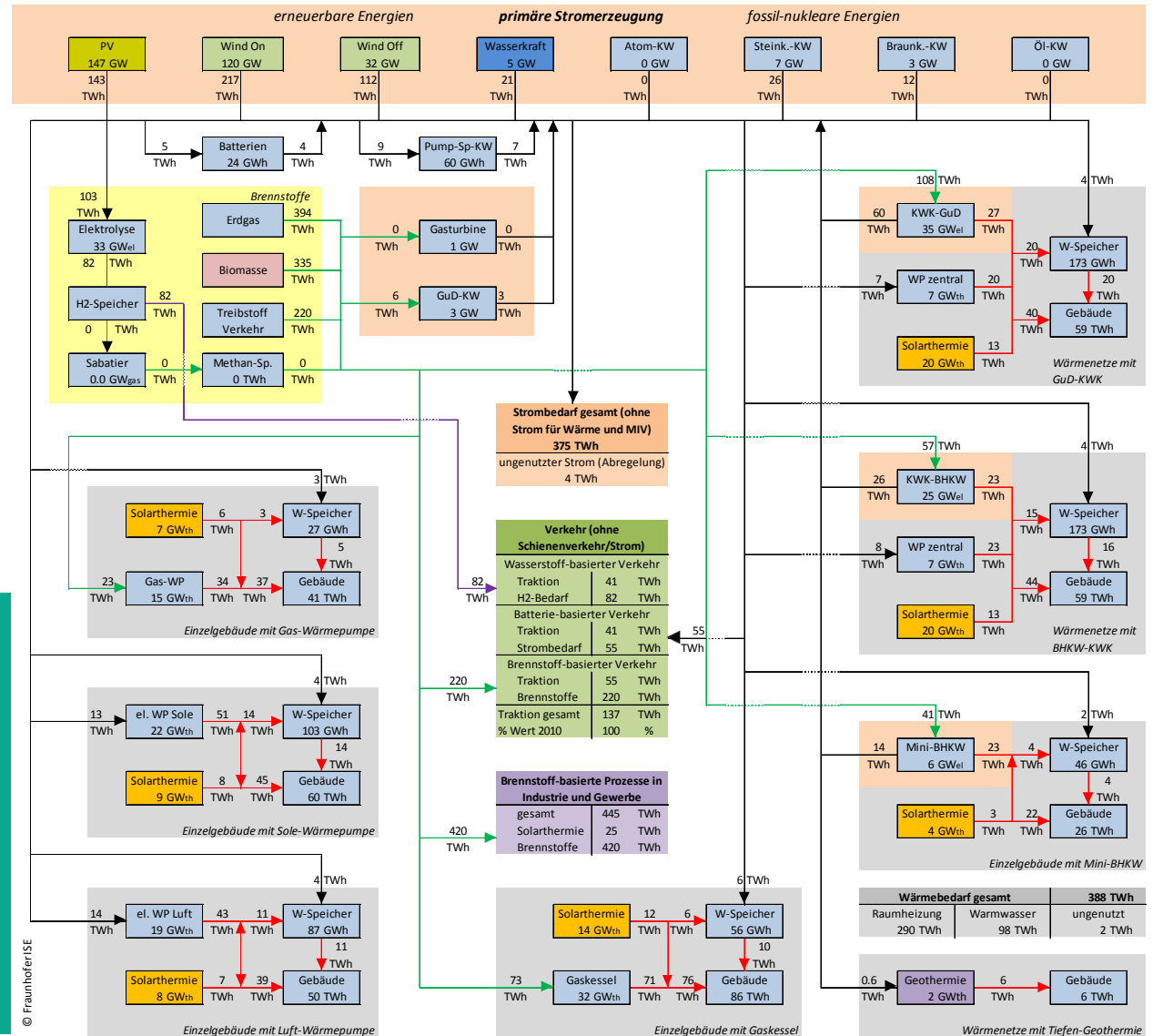
Wärmeversorgungs-
techniken Gebäude-
sektor (Wärme-
netze, dezentral)

Wichtigste Randbedingungen / Annahmen für Zieljahr 2050

- Nachhaltiges Biomassepotenzial 335 TWh p.a. (Studie Modell Deutschland des WWF)
- Mobilität: Fahrleistung (Traktionsenergie) gleichbleibend (2011)
 - 30 % Batterie-basiert (Kurzstrecken individual, urban)
 - 30 % Wasserstoff / Brennstoffzelle (Langstrecken individual, öffentlicher Nahverkehr urban)
 - 40 % Brennstoffe (vor allem Schwerlast und Luftfahrt)
- Stromverbrauch (ohne Strom für Wärme und motorisierten Individualverkehr) um 25 % reduziert: 500 TWh/a → 375 TWh/a
- Gleichbleibender Brennstoffbedarf für Gewerbe- und Industrieprozesse (entspricht Entwicklung der vergangenen 20 Jahre)
- Langfristige Kostenprojektionen für alle relevanten Technologien (wo möglich Daten aus IEA Technology Outlook)

Kosten-optimales System

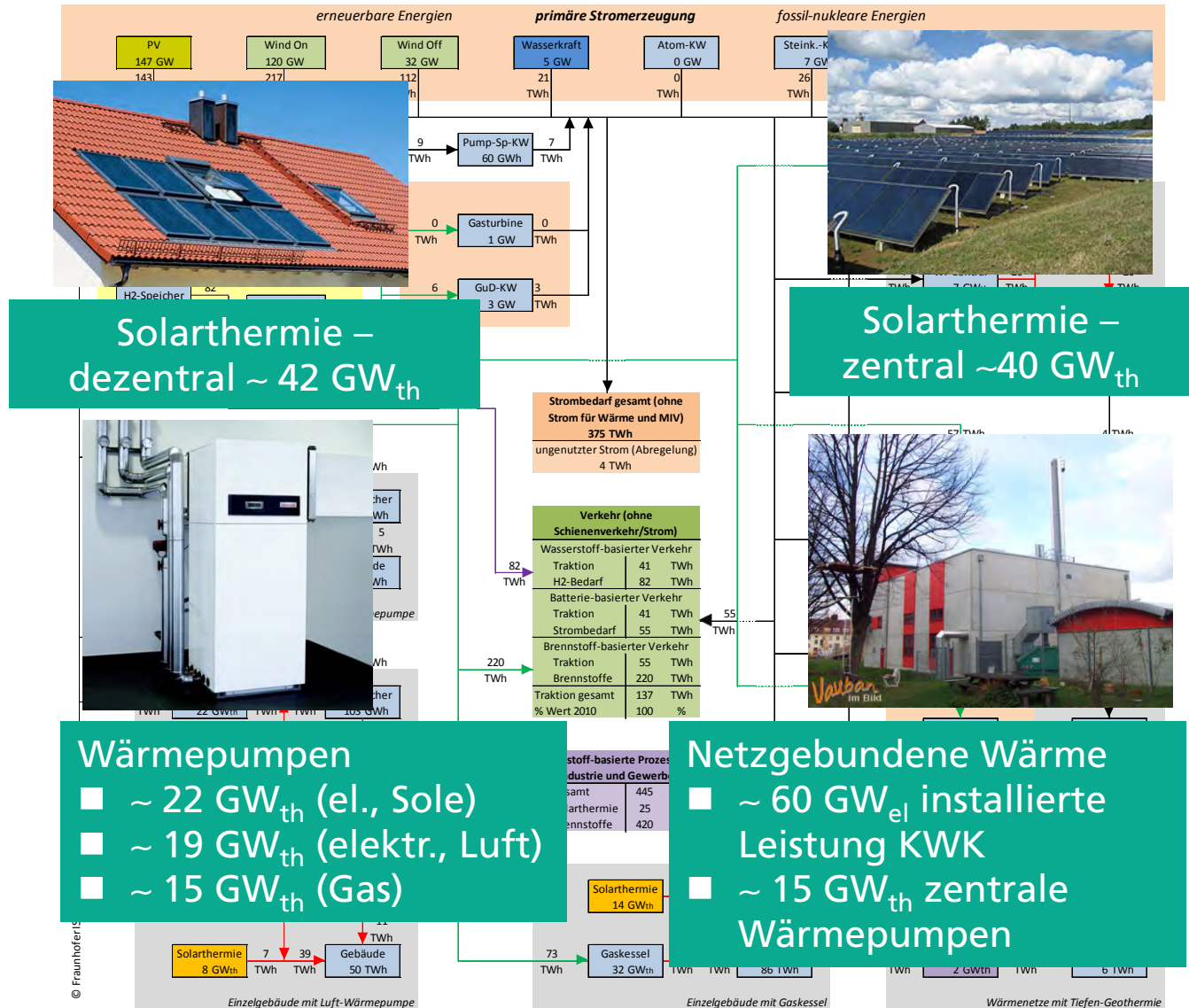
Kosten-optimales System, das Klimaschutzziele gerade erreicht (Absenkung Energie-bedingter CO₂-Emissionen um 81 %)



Wärme

Dezentral

Zentral

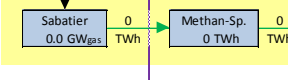


Ergebnisse Speicher



Batteriespeicher (3 kWh)

Anzahl	ca. 8 Mio	Einheiten
Gesamtkapazität	24	GWh
äquiv. Voll-Zyklen	167	-



Elektrolyseure

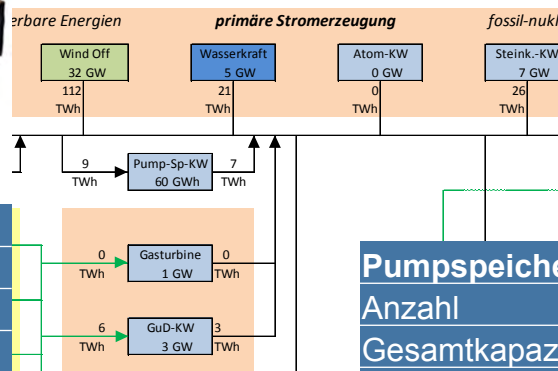
Gesamtleistung	33	GW _{el}
Volllaststunden	2485	h
nur für Verkehr benötigt, nicht für Strom-Wärme		



Dezentrale Wärmespeicher (800 Liter)

Anzahl	ca. 7 Mio	Einheiten
Gesamtkapazität	319	GWh
äquiv. Voll-Zyklen	138	-

Einzelgebäude mit Luft-Wärmepumpe



Pumpspeicherkraftwerke

Anzahl	42	Einheiten
Gesamtkapazität	60	GWh
äquiv. Voll-Zyklen	117	-

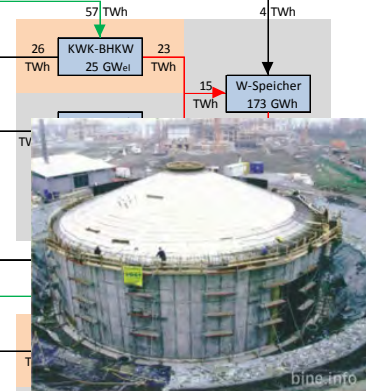


Brennstoff-basierter Verkehr

Traktion	55	TWh
Brennstoffe	220	TWh
Traktion gesamt	137	TWh
% Wert 2010	100	%

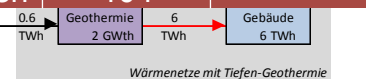
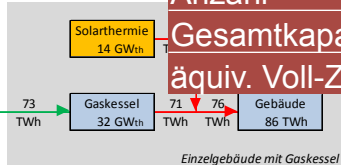
Brennstoff-basierte Prozesse in Industrie und Gewerbe

gesamt	445	TWh
Solarthermie	25	TWh
Brennstoffe	420	TWh

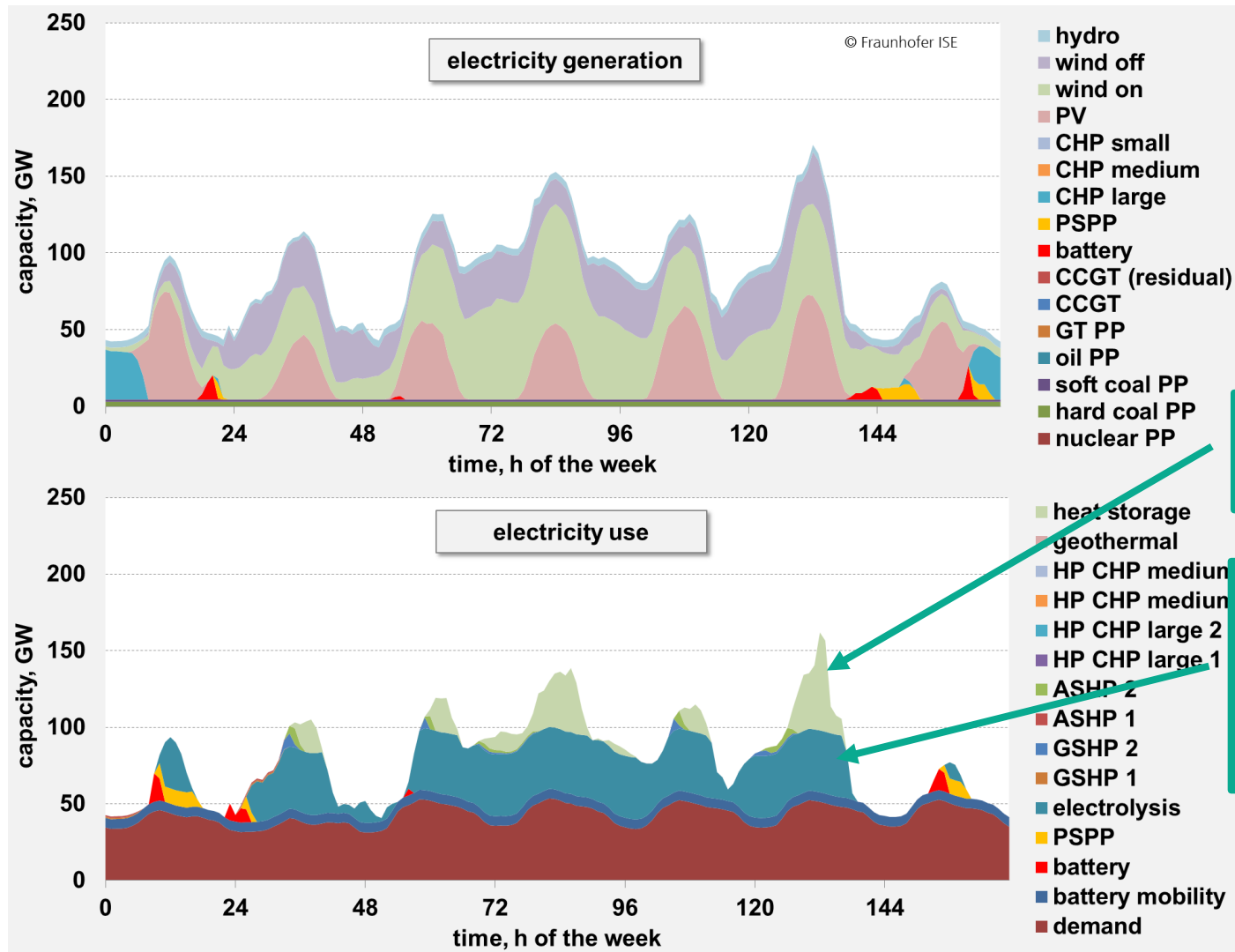


Zentrale Wärmespeicher (50.000 m³)

Anzahl	ca. 150	Einheiten
Gesamtkapazität	346	GWh
äquiv. Voll-Zyklen	104	-



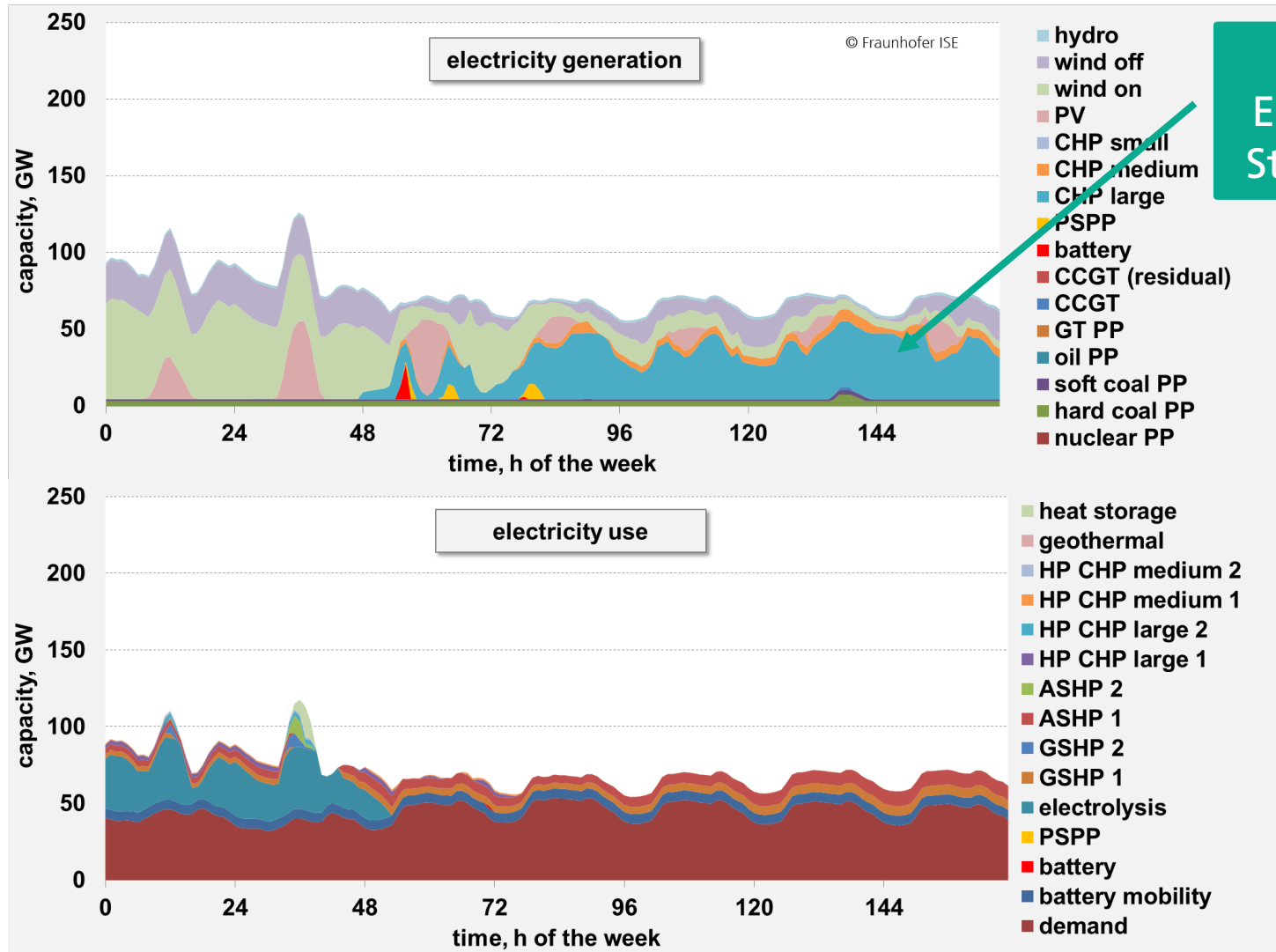
Sommerwoche 2050 – Strom



Wärmenutzung
direkt (Heizstab)

Hohe Strom-
Überschüsse:
Wasserstoff-
Erzeugung

Winterwoche 2050 – Strom



Wenig Erzeugung FEE Strom aus KWK

Energiebilanzen

Zusammensetzung der Brutto-Stromerzeugung (634 TWh; Mittel 2008-2012: 622 TWh)

Typ	TWh	%	Technik	TWh	%
Fluktuierende Erneuerbare Energien	492.9	77.7%	PV	143.4	22.6%
			Wind Onshore	216.7	34.2%
			Wind Offshore	111.7	17.6%
			Wasserkraft	21.0	3.3%
Kraft-Wärme-Kopplung	99.7	15.7%	Klein-BHKW	14.4	2.3%
			KWK, groß	59.6	9.4%
			KWK, mittel	25.7	4.1%
Konventionelle Kraftwerke	41.7	6.6%	Steinkohle	25.8	4.1%
			Braunkohle	12.5	2.0%
			GuD	3.4	0.5%

Zusammensetzung des Netto-Stromverbrauchs (602 TWh; heute rund 510 TWh)

	TWh	%	Technik	TWh	%
Klassische Last	375.1	62.3%	Beleuchtung, mech. Energien usw.	375.1	62.3%
Wärme	69.2	11.5%	Elektrische Wärmepumpen	41.9	7.0%
			Heizstäbe	27.3	4.5%
Verkehr	157.8	26.2%	Wasserstoffherzeugung	103.0	17.1%
			Fahrzeuggatterien	54.9	9.1%

Energiebilanzen

Zusammensetzung der Wärmebereitstellung

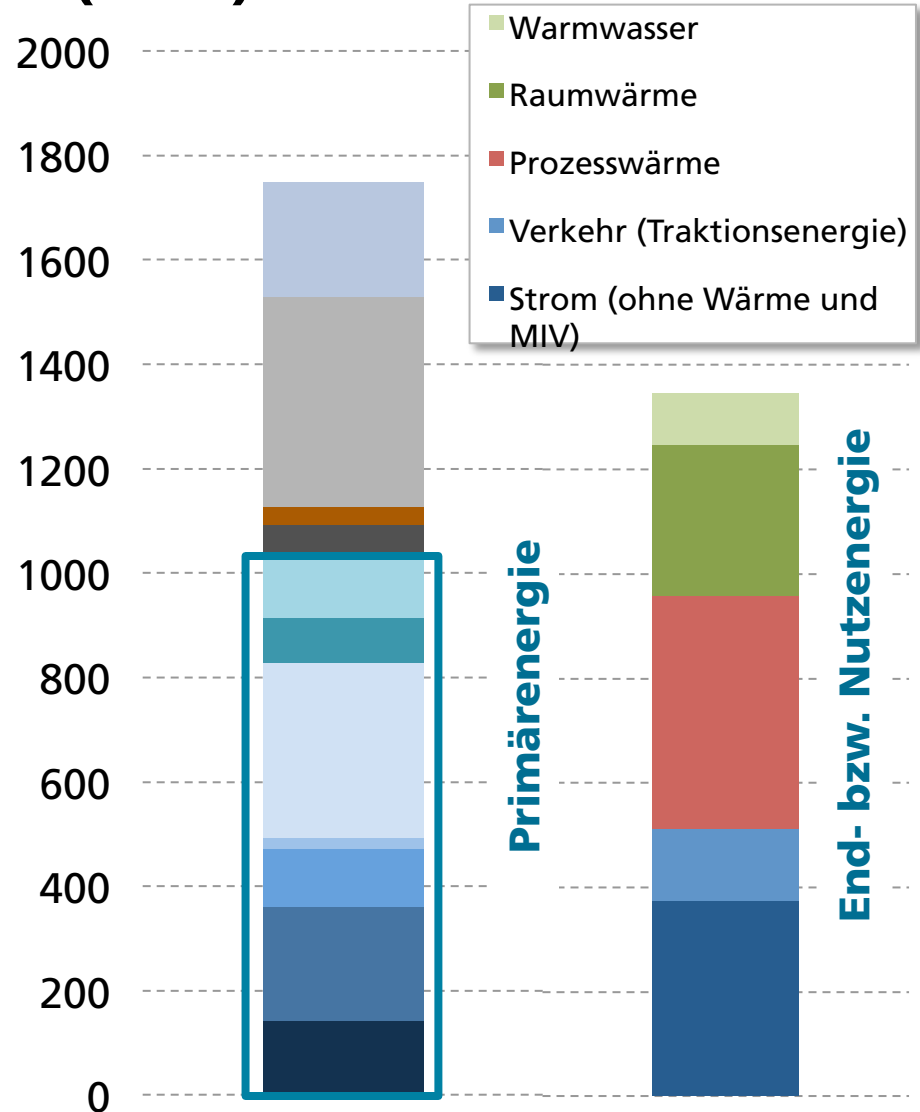
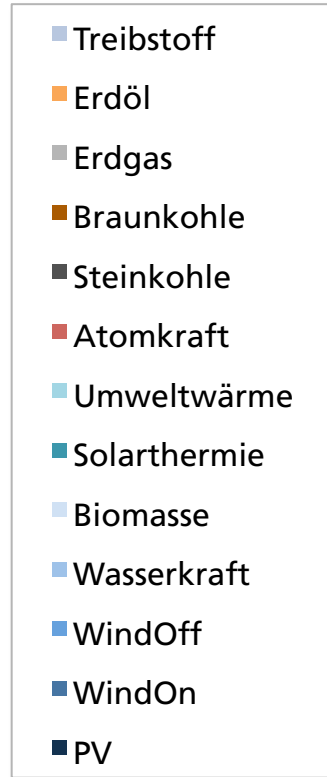
	TWh	%		TWh	%
Solarthermie	87.2	20.1%	Solarthermie dezentral	36.1	8.3%
			Solarthermie zentral	26.2	6.0%
			Solarthermie Prozesse	25.0	5.7%
Kraft-Wärme-Kopplung	72.5	16.7%	BHKW, dezentral	22.6	5.2%
			KWK, groß	27.1	6.2%
			KWK, mittel	22.8	5.2%
Wärmepumpen	171.1	39.4%	Wärmepumpen, Netze	43.2	9.9%
			Wärmepumpe, Luft	42.9	9.9%
			Wärmepumpe, Sole	51.1	11.8%
			Gas-Wärmepumpe	33.9	7.8%
Heizstäbe	27.3	6.3%	Heizstäbe	27.3	6.3%
Heizkessel	70.5	16.2%	Heizkessel	70.5	16.2%
Geothermie	6.3	1.4%	Tiefengeothermie	6.3	1.4%

Jährliche Gesamtenergiebilanz (TWh)

Anteil erneuerbarer Energien am PE-Aufkommen: **66 %**

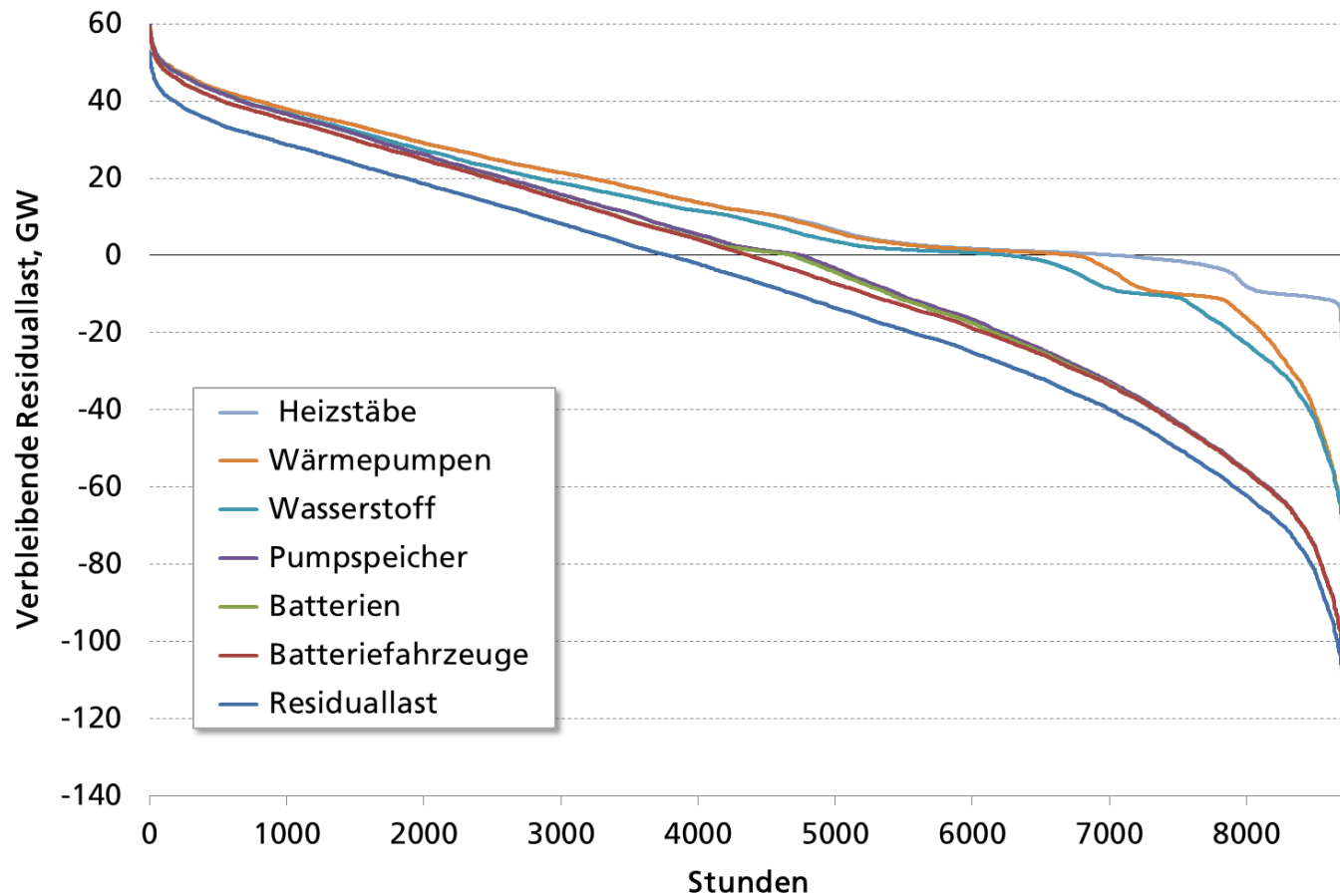
Primärenergiebedarf ca. **50 %** des heutigen Wertes

Reduktion CO₂-Emissionen des Energiesektors (Bezugsj. 1990): **81 %**



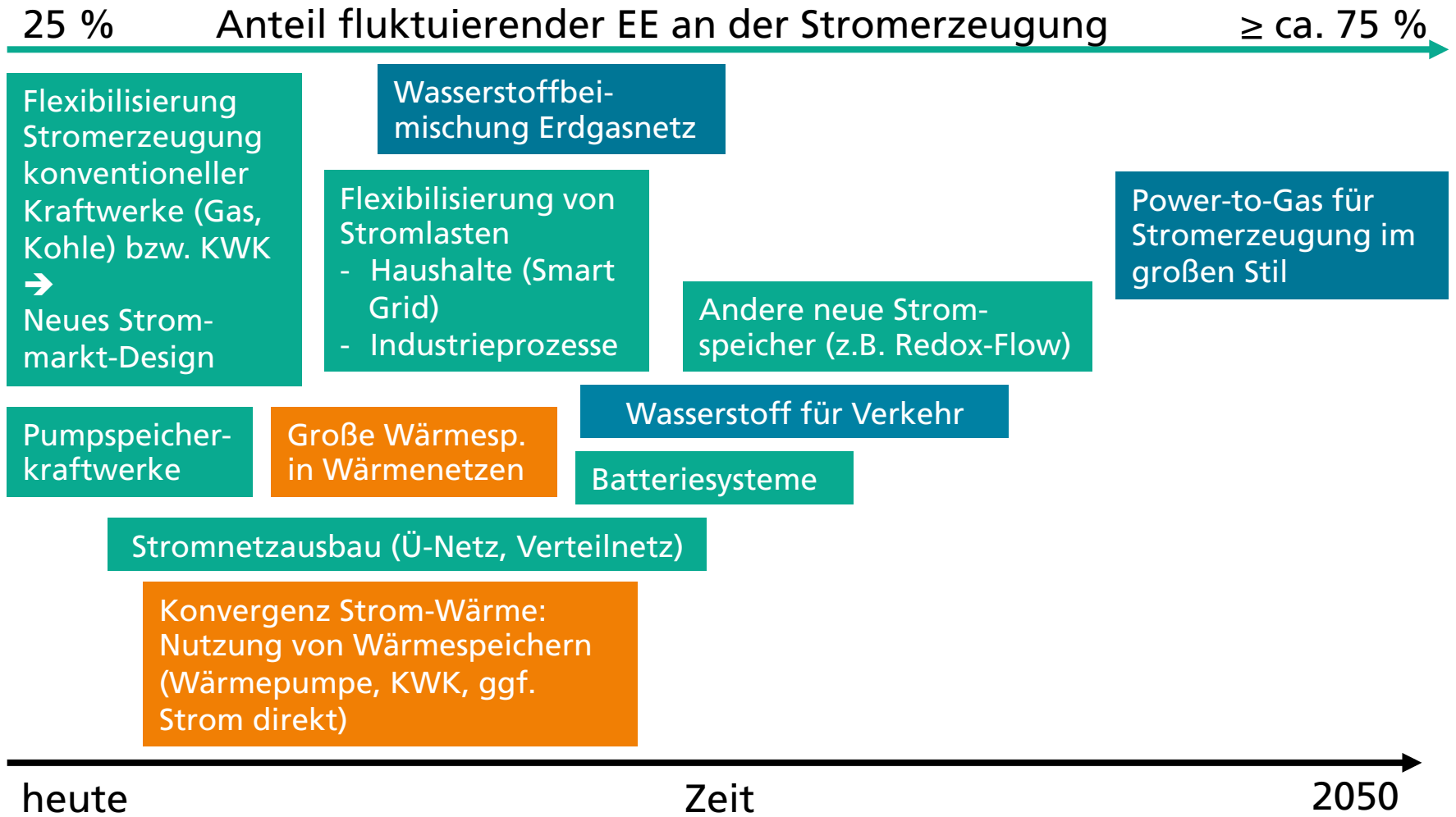
Abbau negativer Residuallast

Nutzung von Stromüberschüssen in verschiedenen Verbrauchssektoren



Flexibilisierung Stromerzeugung und –nutzung

Wann wird welche Option systemrelevant?



Fazit Energieszenarien

Strom und Wärme, Interaktion

- Fluktuierende Stromerzeugung spielt auch für Wärmeversorgung und Mobilität (Individualverkehr) zentrale Rolle
- Flexibilisierung der Stromerzeugung und –nutzung spielt zentrale Rolle
 - ➔ Kurzfristig: komplementäre Erzeugung, Pumpspeicherkraftwerke
 - ➔ Mittelfristig: Kopplung Wärmesektor, Einsatz von Wärmespeichern (WP, Strom direkt als letzte Nutzungsoption)
 - ➔ Mittel- bis langfristig: Batterien, Kopplung Verkehrssektor
 - ➔ Synthetische Brennstoffe aus EE für Strom nur bei sehr hohen Deckungsanteilen erneuerbarer Energien notwendig
- Wärmenetz-gebundene KWK-Anlagen können vollständig die komplementäre Stromerzeugung übernehmen

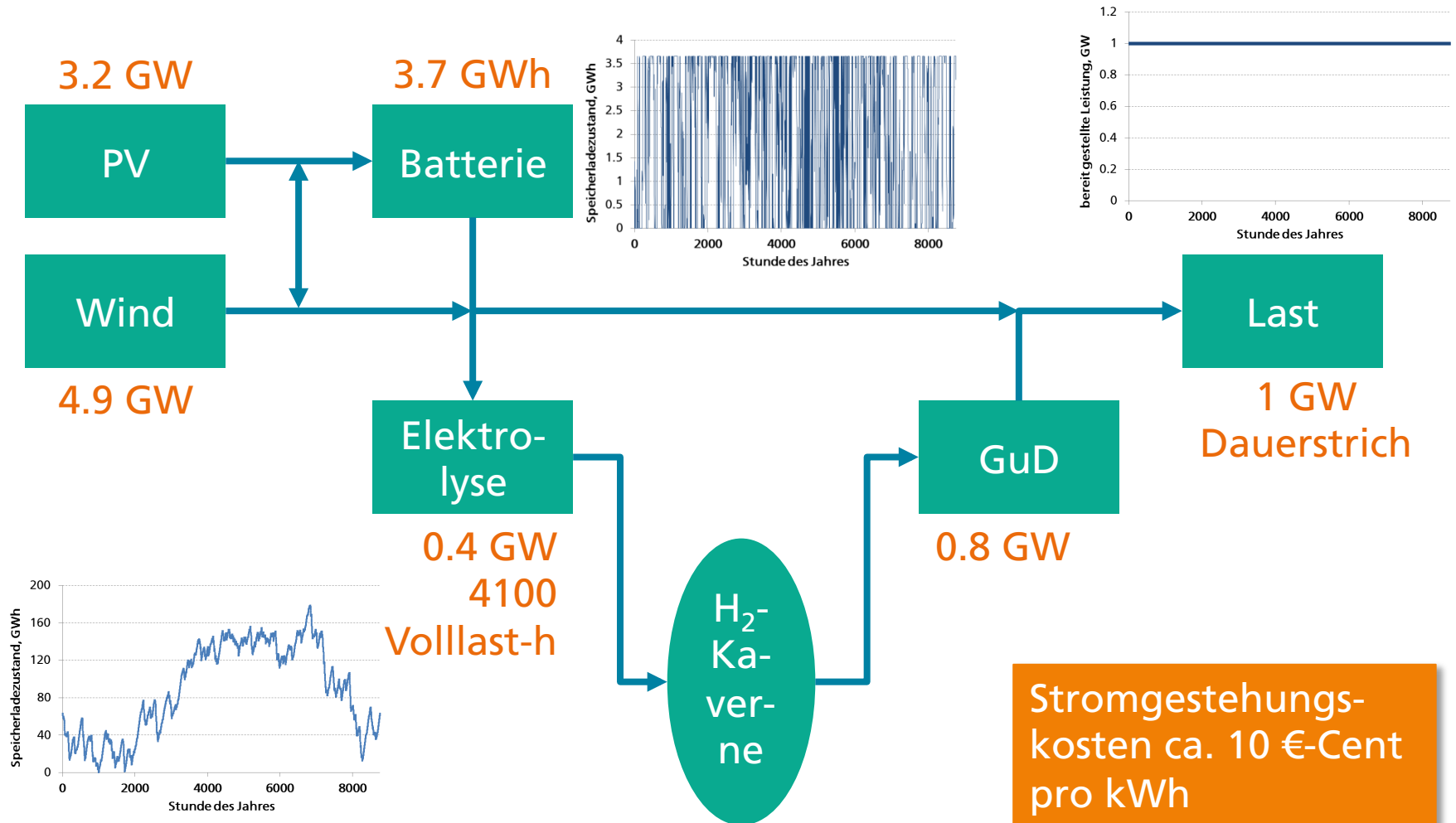
Fazit Energieszenarien 2015

Smart Grids

- Versorgung eines Industrielands wie Deutschland mit erneuerbaren Energie ist möglich
- Langfristig sind die Kosten vergleichbar mit denjenigen unseres heutigen Versorgungssystems
- Weitgehende Unabhängigkeit von Weltmarktpreisen fossiler Energien
- Klimaschutzziele werden erreicht
- Smart Grid Technologie ist spartenübergreifend erforderlich, um die fluktuierende EE und Speicher zu betreiben

Garantierte Stromerzeugung aus fluktuierenden EE

Beispiel Wetterdaten Hannover – Optimierung Auslegung und Betriebsführung



Rolle der Smart Grids

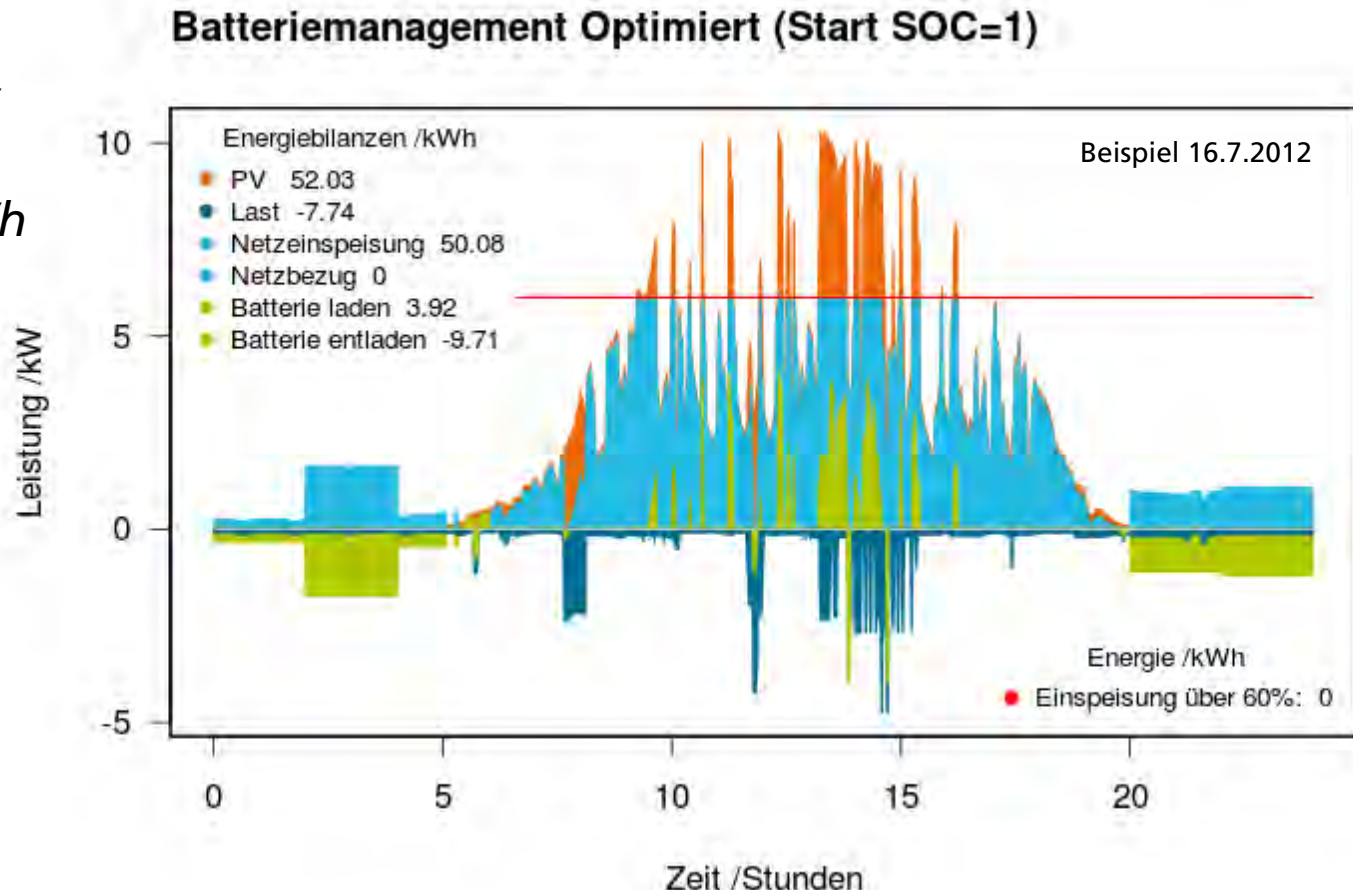
Flexibilitäten und Speicher spielen zentrale Rolle

- Thermische, elektrische und Gasspeicher werden für die Kompensation gebraucht werden; Die IKT Einbindung muss sicher, zuverlässig und schnell erfolgen
- Fraunhofer ISE erforscht viele Smart Grid Technologien innerhalb von nationalen und internationalen Forschungsvorhaben:
exemplarisch einige Vorhaben:

PV-Batteriespeichersysteme

Batteriebewirtschaftung durch prognosebasierte Optimierung

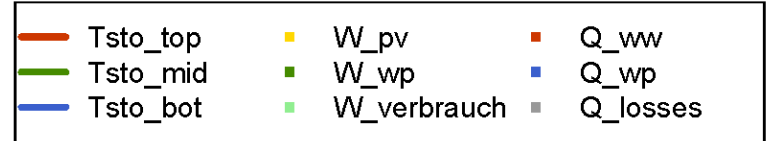
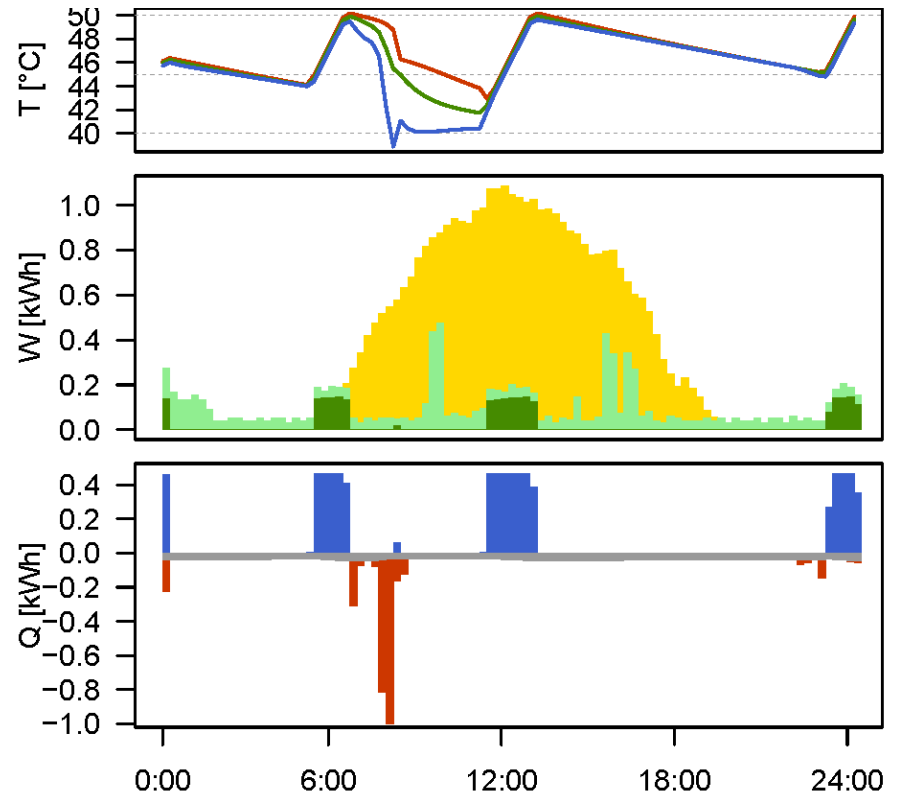
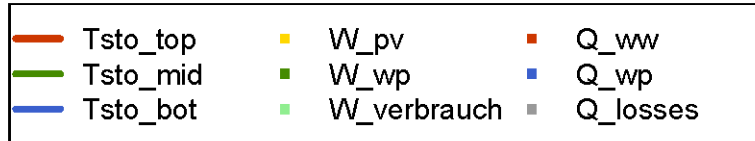
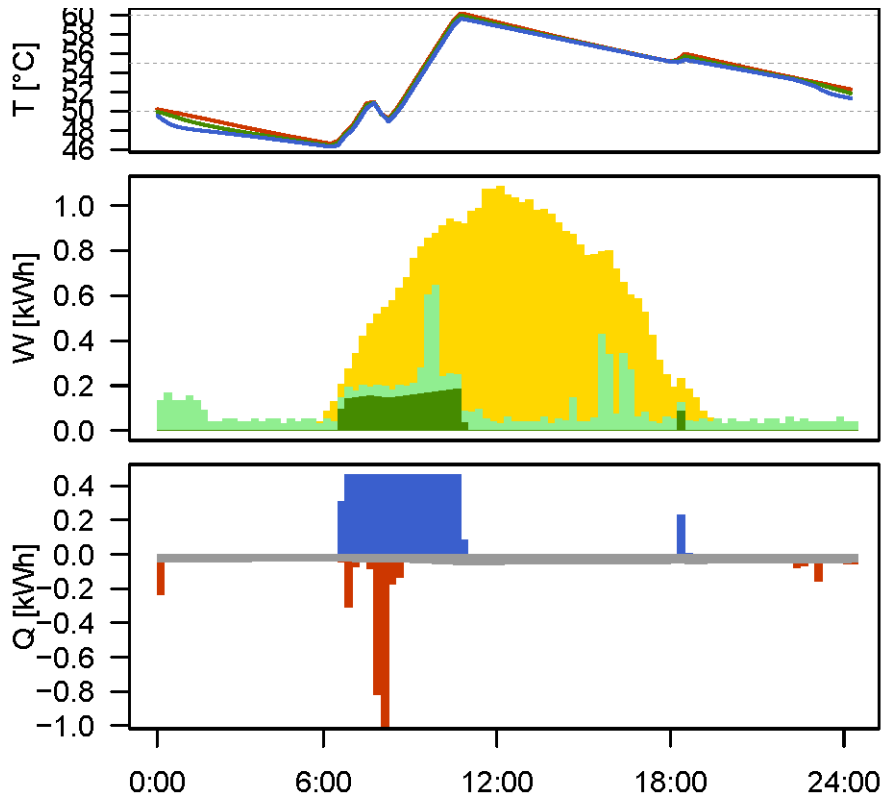
- $10 \text{ kW}_p \text{ PV}$
- $\Delta t = 60s$
- $E_{Bat} = 6 \text{ kWh}$



100% Nutzung der solaren Energie bei 60% Leistungsbegrenzung ins Netz

PV-WP-Systeme zur Eigenstromoptimierung

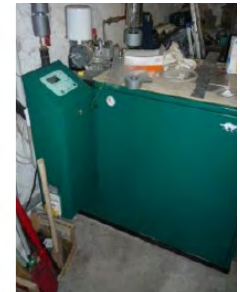
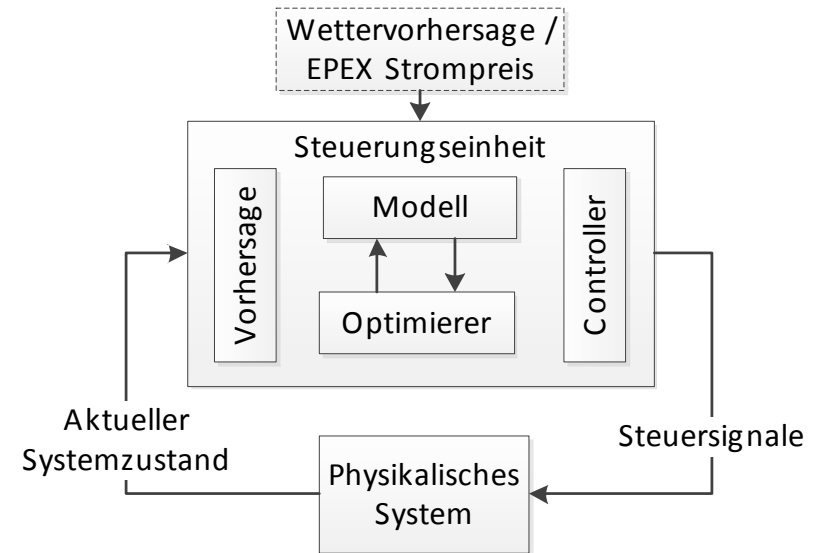
Wärmegeführt, PV-geführt (HeatShifter)



Kraftwerk im Keller

Dezentrale Optimierung stromwärmegeführter KWK-Anlagen im Smart Grid

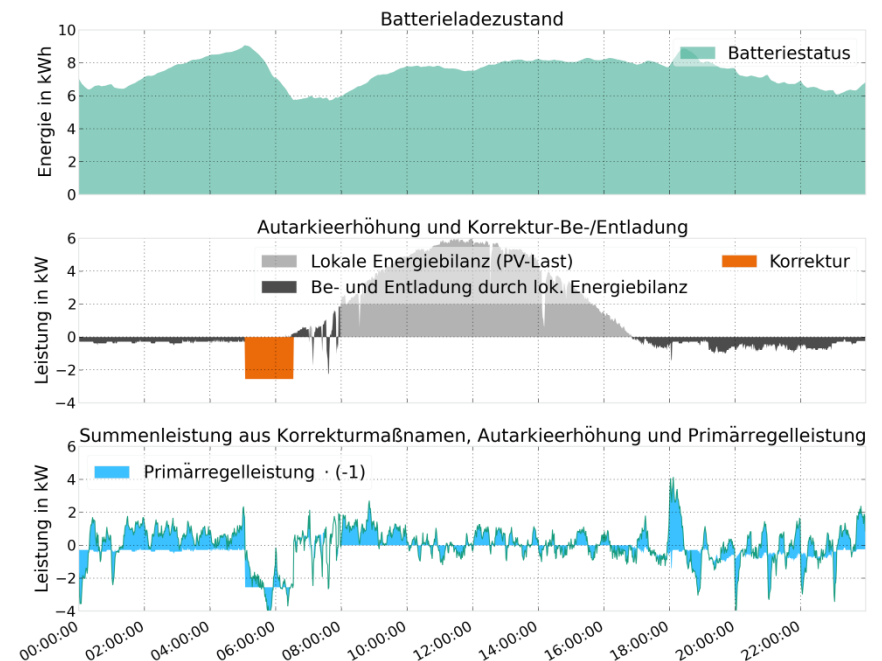
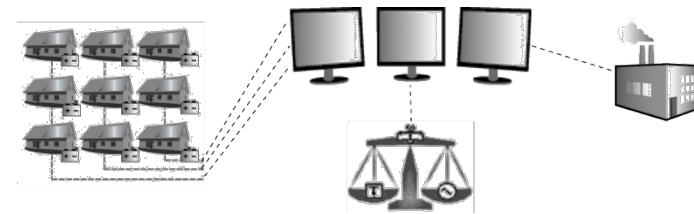
- Das im Projekt entwickelte Konzept ermöglicht dezentralen KWK-Anlagen dynamisch
- auf externe Anreize zu reagieren
- und die Gebäudeautarkie zu maximieren
- Es wurde ein vorhersagebasierter Regelungsalgorithmus entwickelt und
- über ein Jahr erfolgreich bei drei Demonstratoranlagen in Wuppertal getestet.



Net-PV

Frequenzhaltung durch ein PV-Batterie-Verbundkraftwerk

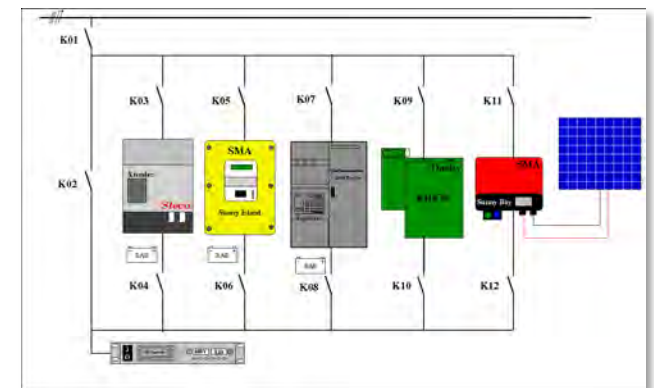
- Das im Projekt entwickelte Konzept ermöglicht
- die Bereitstellung von Netzserviceleistungen mit dezentralen PV-Batteriesystemen,
- erschließt neue Einnahmequellen für dezentrale Erzeuger/Systeme
- substituieret konventionelle Kraftwerke
- und reduziert somit die zunehmend kritische Must-Run-Leistung.

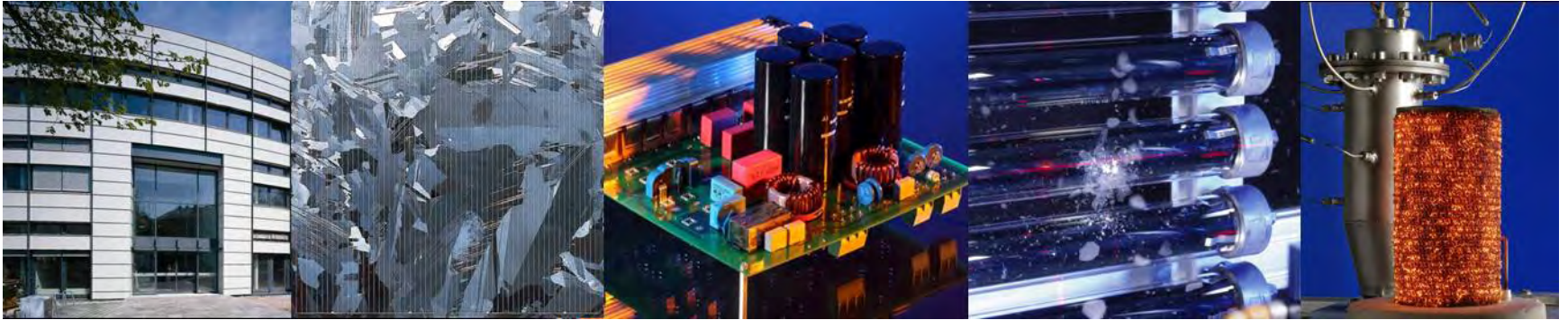


Entwicklungslabor für intelligente Gebäudeenergiesysteme



- Simulation von unterschiedlichen »Smart Home«-Typologien
- Inselnetzbetrieb, PV-, Solarthermie, Mikro-KWK und weitere Einspeisung (Hardware-in-the-Loop-Betrieb)
- Kombination von thermischen und elektrischen Systemen (Erzeuger, Speicher, Verbraucher) mit intelligenten Messsystemen
- Einbindung eines E-PKW als mobiler Verbraucher





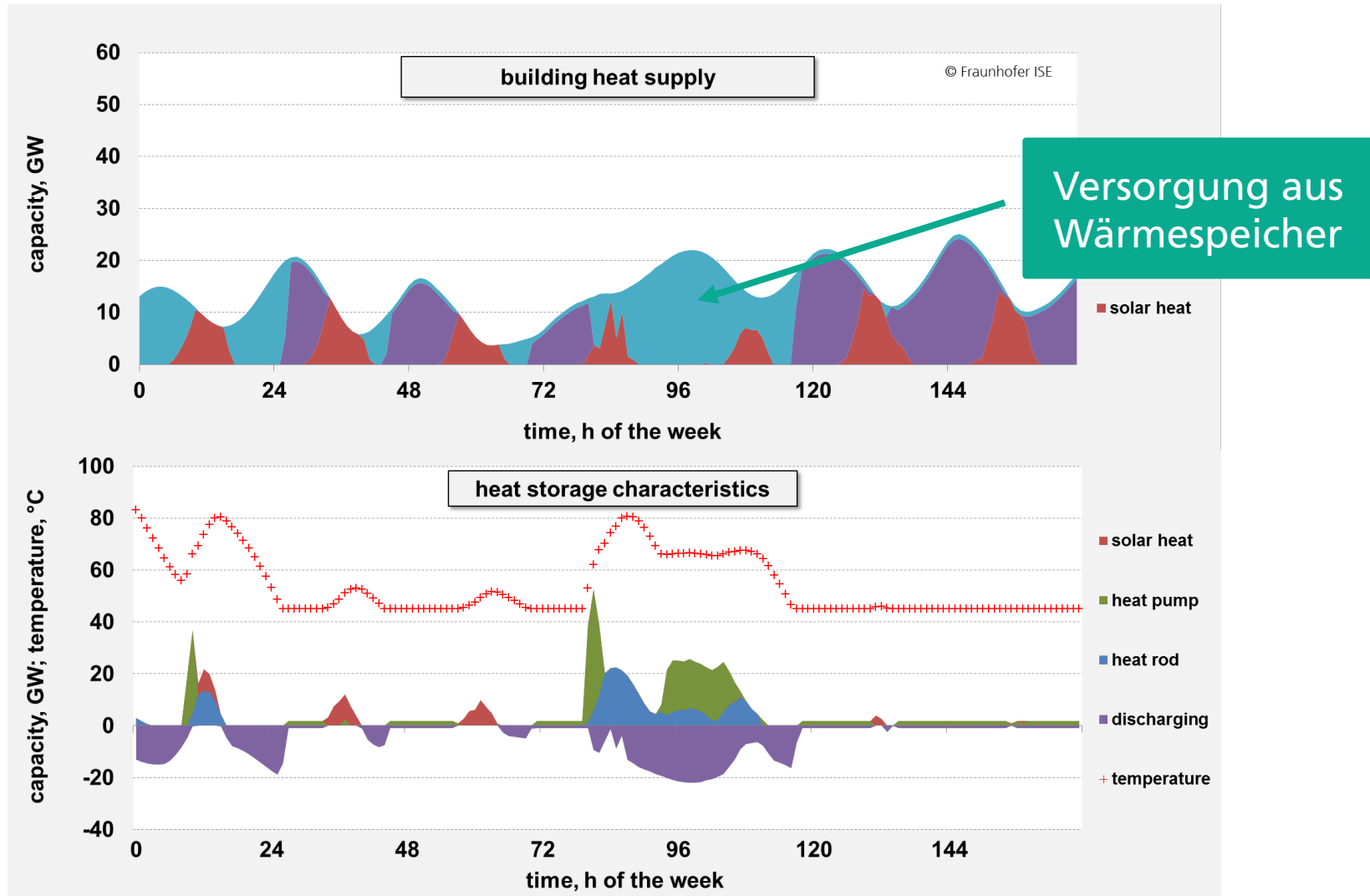
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dr.-Ing. Christof Wittwer

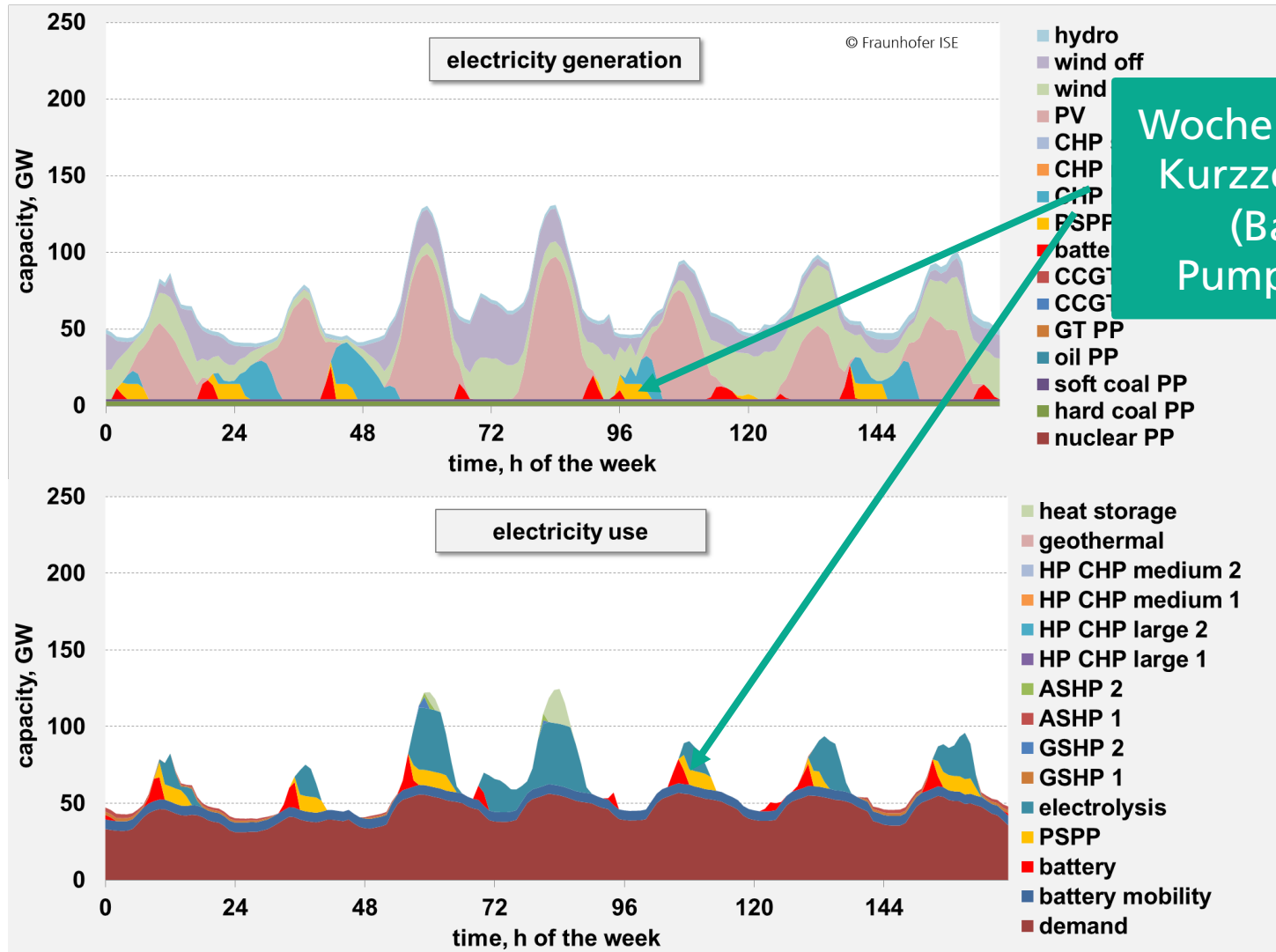
www.ise.fraunhofer.de

christof.wittwer@ise.fraunhofer.de

Winterwoche 2050 – Wärme (Gebäude mit Luft-WP)

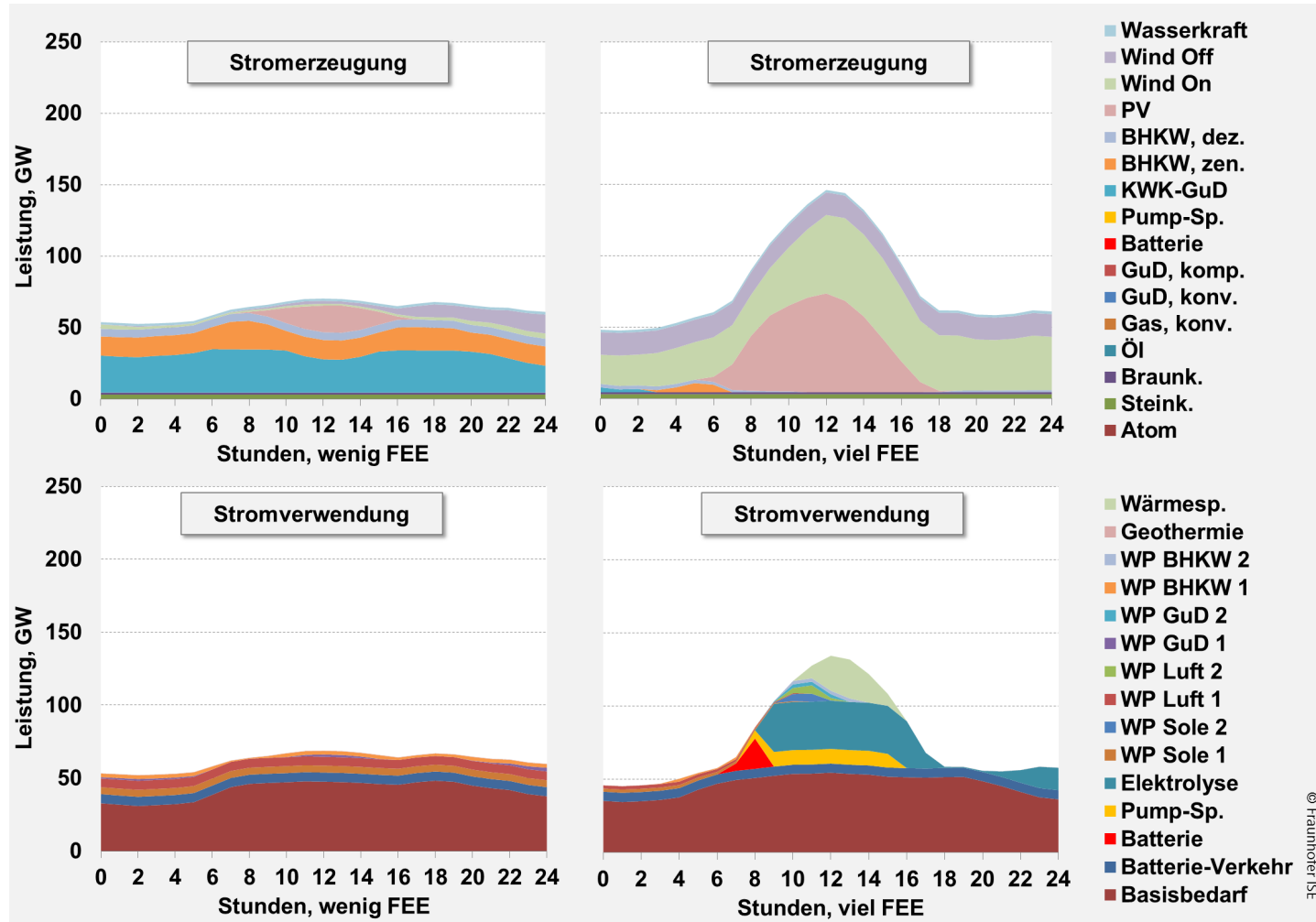


Sommerwoche 2050 – Strom

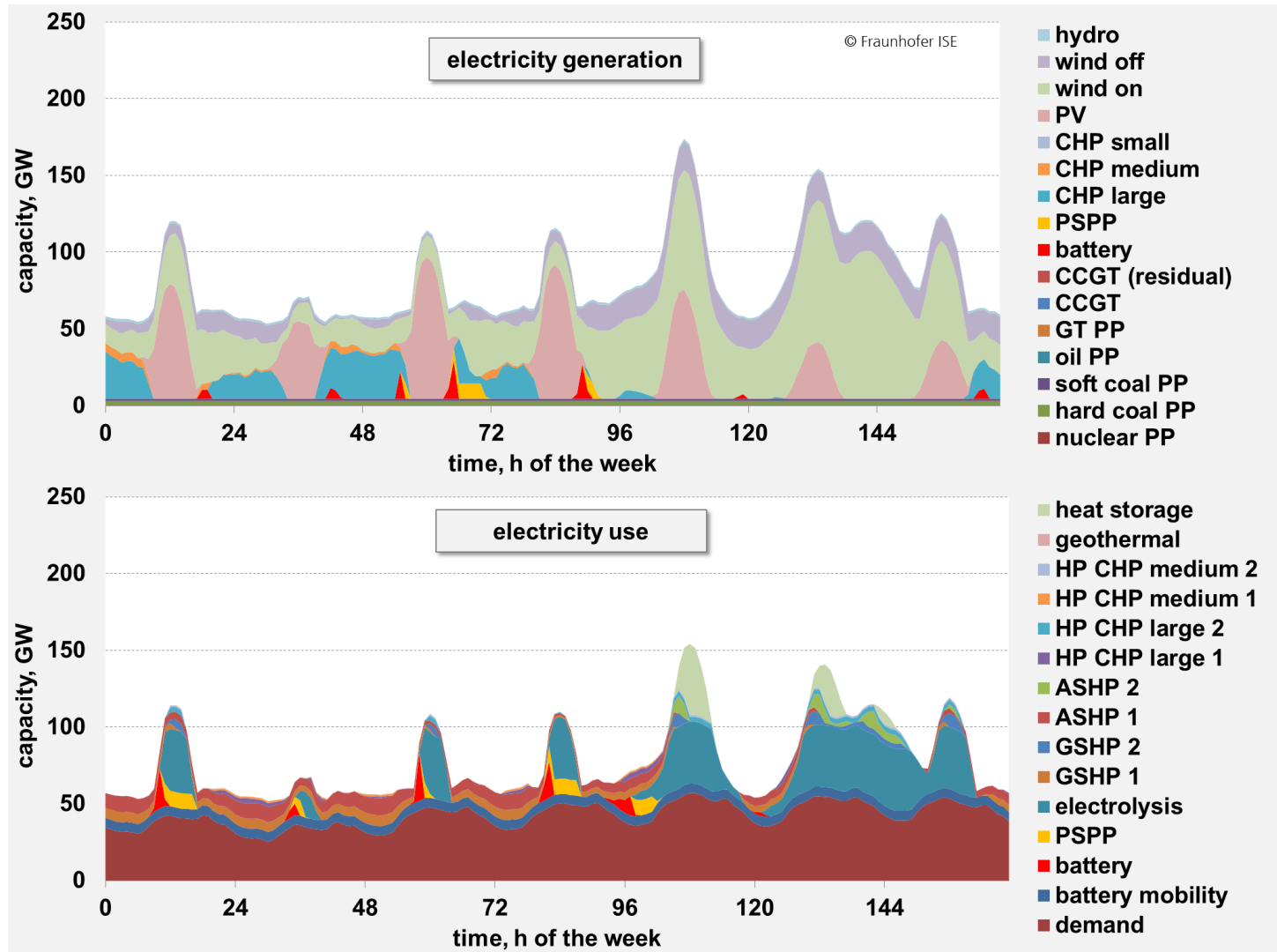


Woche mit viel PV:
Kurzzeitspeicher
(Batterie,
Pumpspeicher)

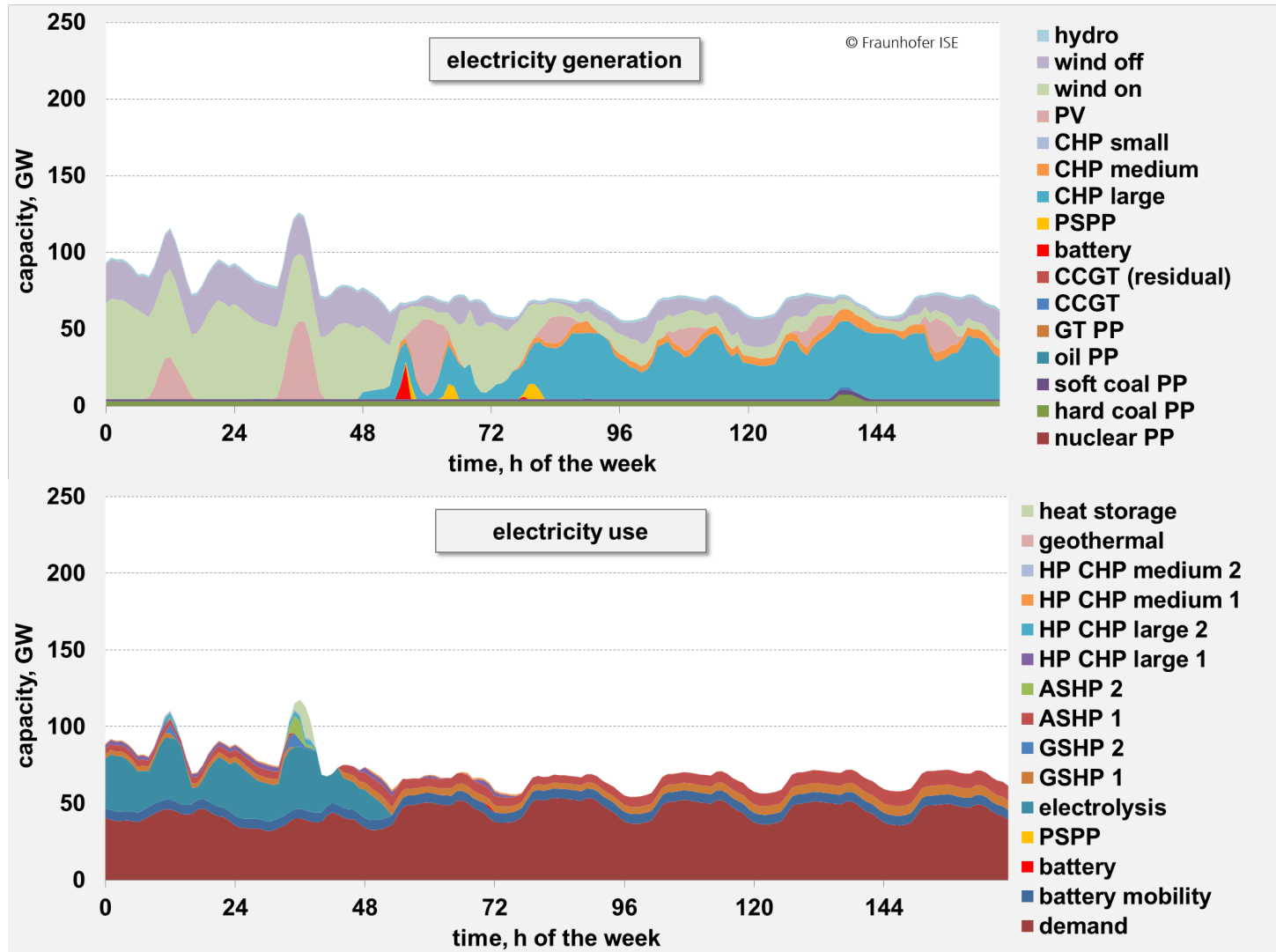
Ausgewählte Tagesprofile



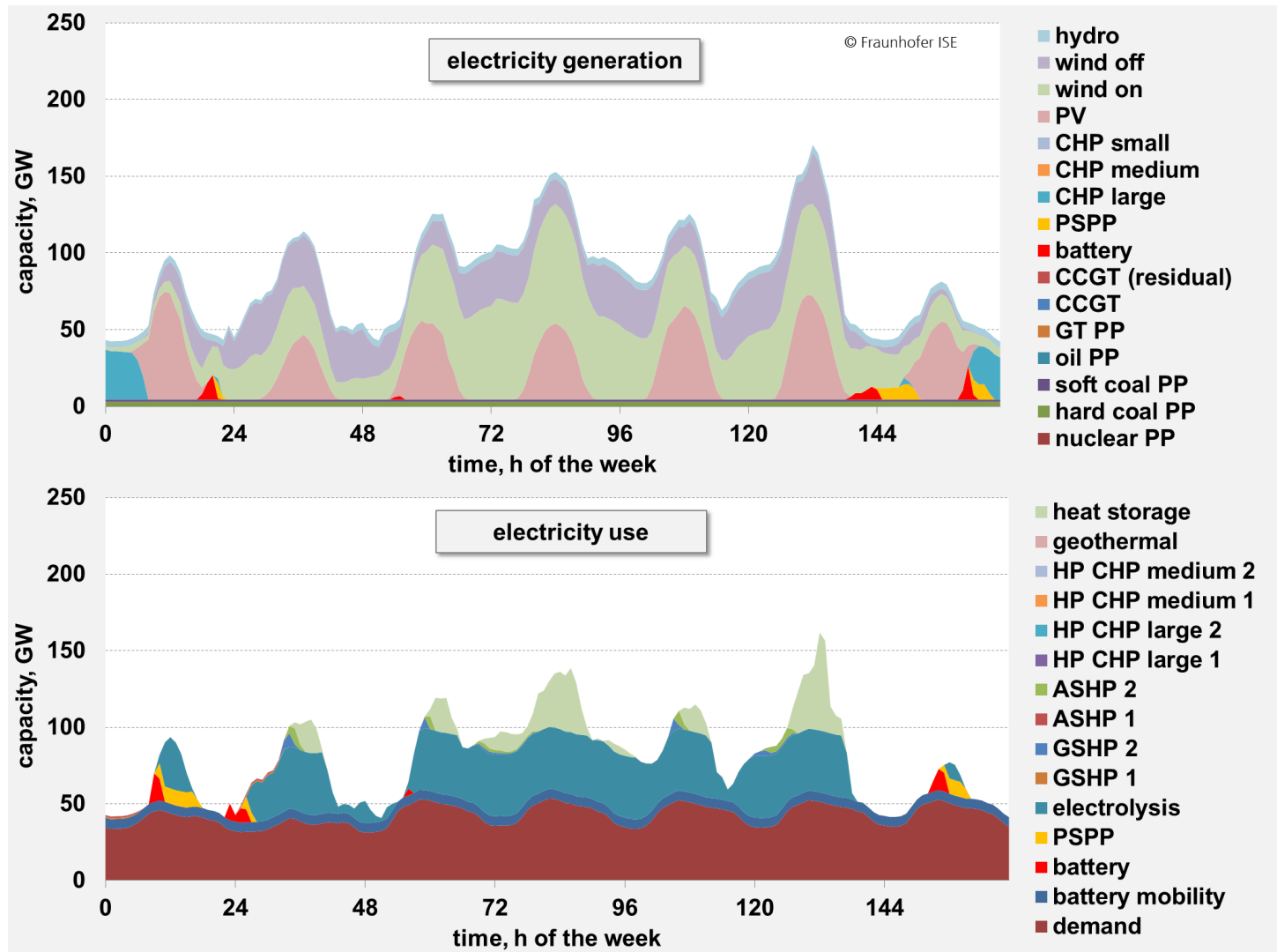
Winterwoche 2050 – Strom



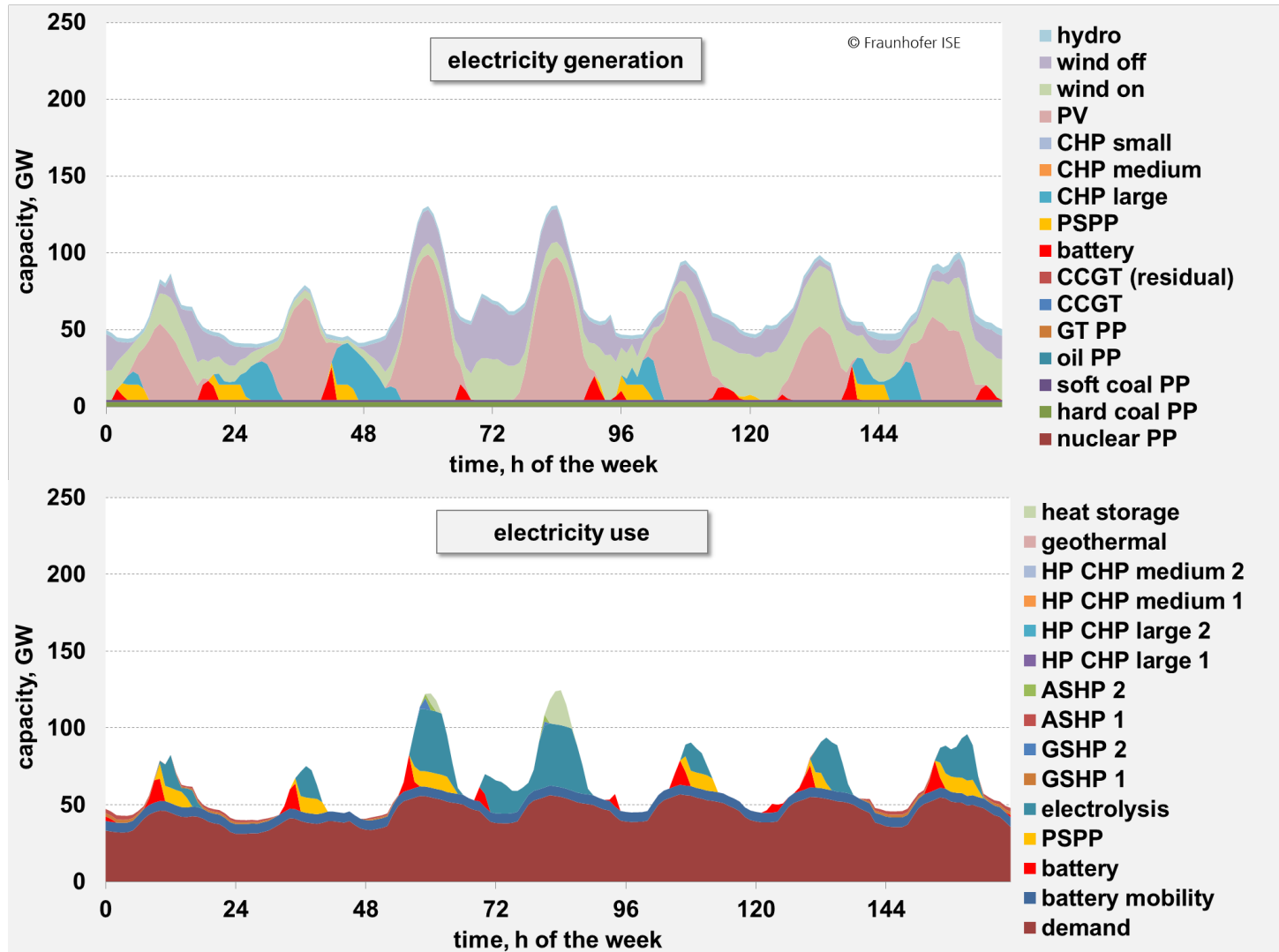
Winterwoche 2050 – Strom



Sommerwoche 2050 – Strom (»Überschusswoche«)



Sommerwoche 2050 – Strom («Sonnenwoche»)



Winterwoche 2050 – Wärme (Geb. mit Aussenluft-WP)

