
VORTRAGSREIHE „ÖKONOMIE DER ENERGIEWENDE“

Aggregation von dezentralen Flexibilitäten für den Energiemarkt



Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer

Fraunhofer Institute for Solar
Energy Systems ISE

Karlsruhe KIT, 15. Juni 2016

www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

Auf einem Blick



Fraunhofer ISE

Leiter: Prof. Eicke R. Weber

Mitarbeiter: rund 1100

Budget 2015: 84 Mio. EUR

Gegründet: 1981



Photovoltaik

Solarthermie

Gebäudeenergie-technik

Wasserstoff-technologien

Energiesystem-technik

Fraunhofer ISE

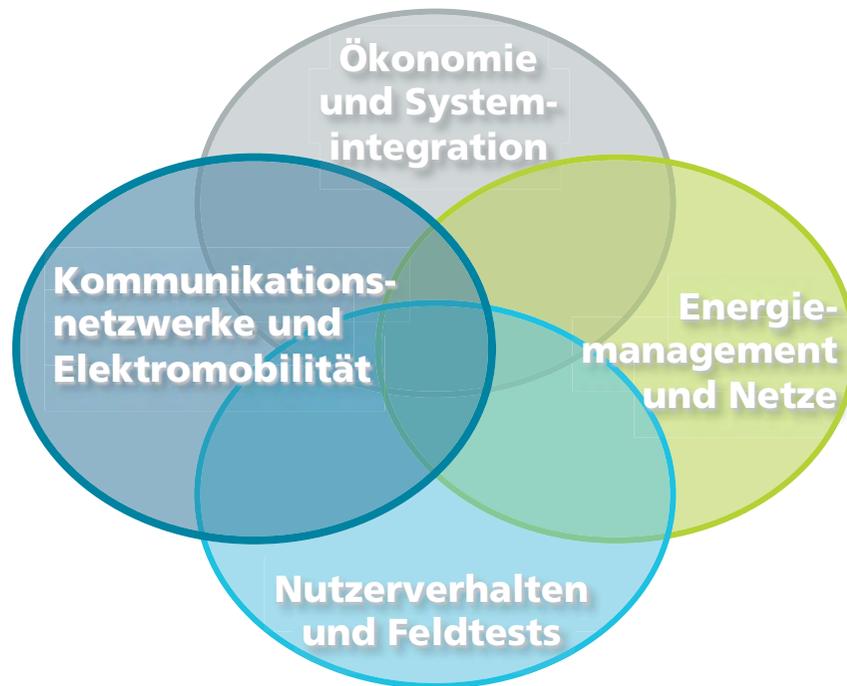
Forschen für die Energiewende

- Größtes Forschungsinstitut für Solarenergie in Europa
- rund 1100 Mitarbeiter
- 84 Mio. € Budget (2015, inkl. Investition)
- 85% Vertragsforschung, 23% Industrie, 62% öffentlich (2015)
- Fraunhofer Centers in Boston, USA (CSE) und Santiago, Chile (CSET)



Abteilung Intelligente Energiesysteme

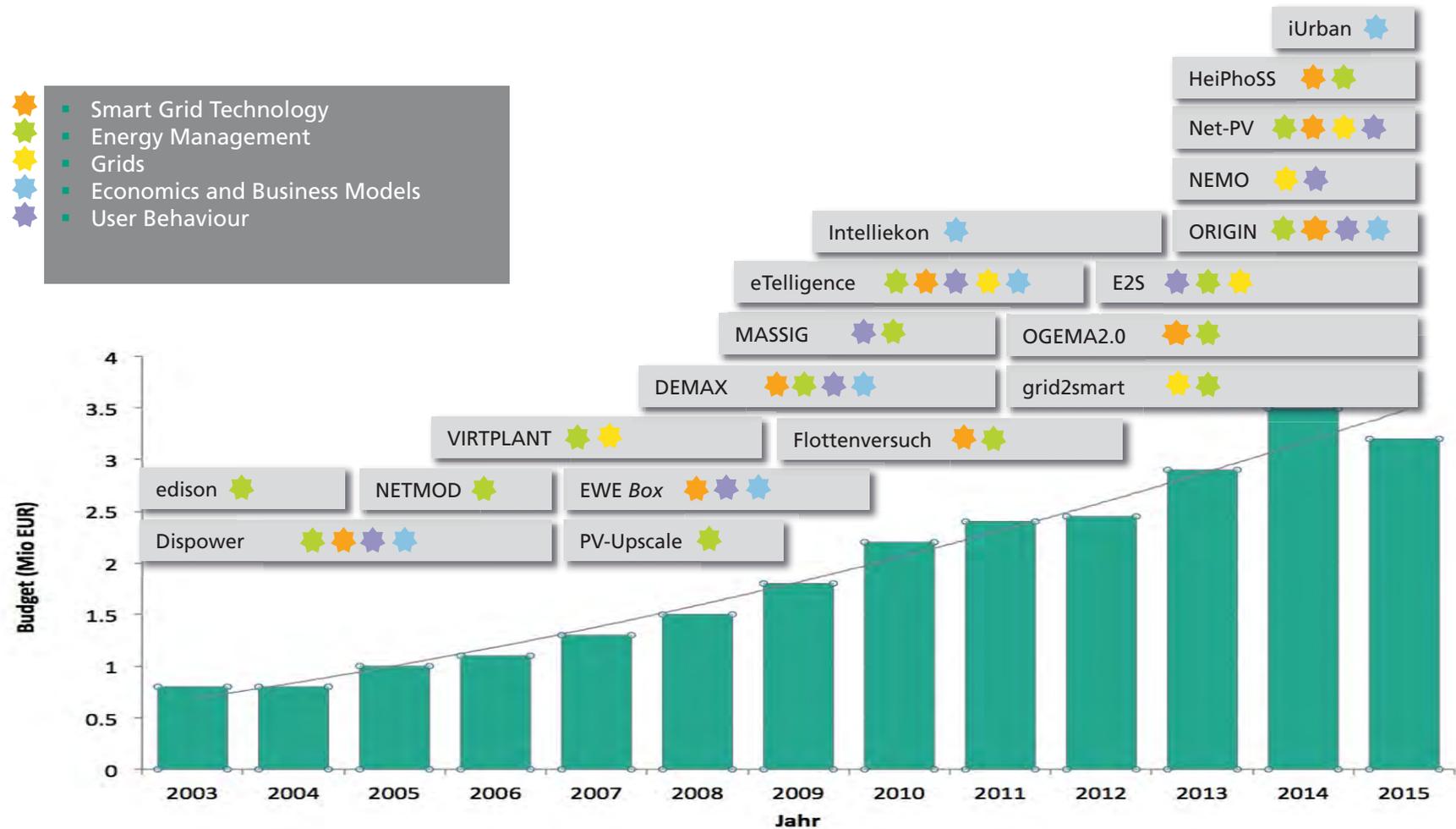
Kompetenzen in Forschung, Entwicklung und Demonstration



- **Energiewirtschaft und Systemintegration:**
Analysen, Studien und Beratung zu Energiewirtschaft, Gesetzgebung, Politik sowie Entwicklung von Geschäftsmodellen
- **Energiemanagement und Netze:**
Elektrische und thermische Energiesysteme auf Verteilnetzebene, Modellierung und Simulation von Netz- und Energiesystemen, Optimierung, SmartEnergyLab
- **Energie-Gateways und Elektromobilität:**
Software- und Hardwareentwicklung, Embedded-Systeme, Prototyping intelligenter Messsysteme, Kommunikationstechnologien
- **Benutzerverhalten und Feldtests:**
Verhaltenswissenschaften, sozio-ökonomische Forschung, Feedback-Analyse, Statistik und Stochastik

Department Smart Grids

Scientific Projects



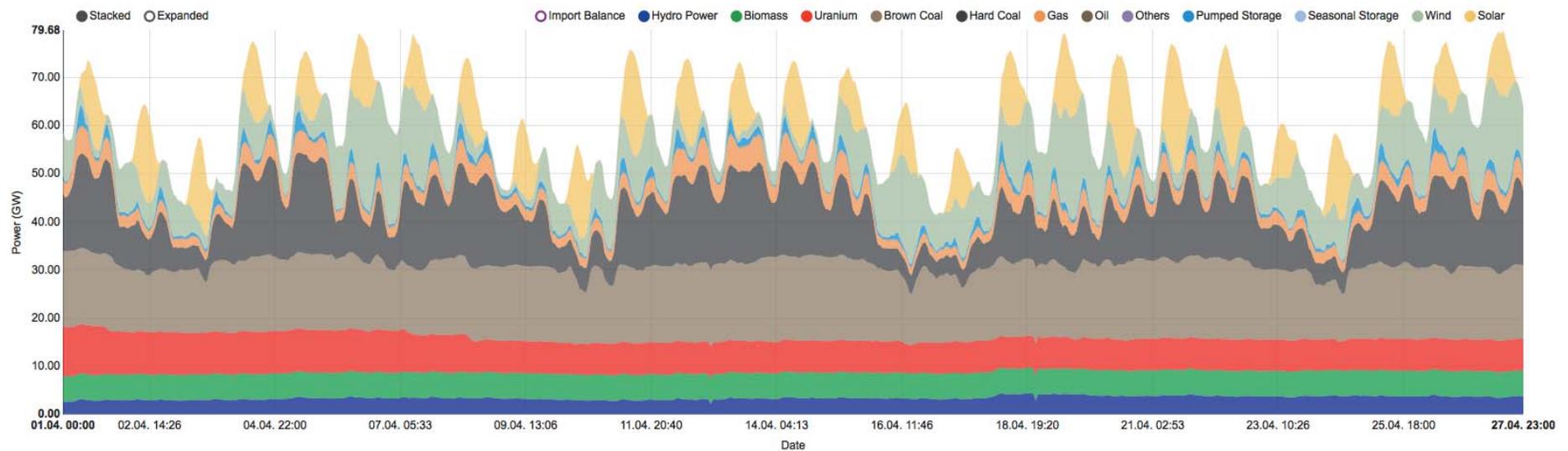
Aggregation von dezentralen Flexibilitäten für den Energiemarkt

Agenda

- Energiewende, Systemanalyse
- Transformation und Integration Erneuerbare Energien
- Smart Grid Idee und die Vernetzung des Systems
- Dezentrale Flexibilitäten Strom und Wärme
- Aggregation und Marktzugang, Beispiel Virtuelles PV-Batterie-Verbundkraftwerk
- Klassischer Ansatz über Tarifsysteme dezentraler Anlagen
- Forschungsprojekte am Fraunhofer ISE
- Fazit

Electricity production

Fraunhofer ISE <https://energy-charts.de/>

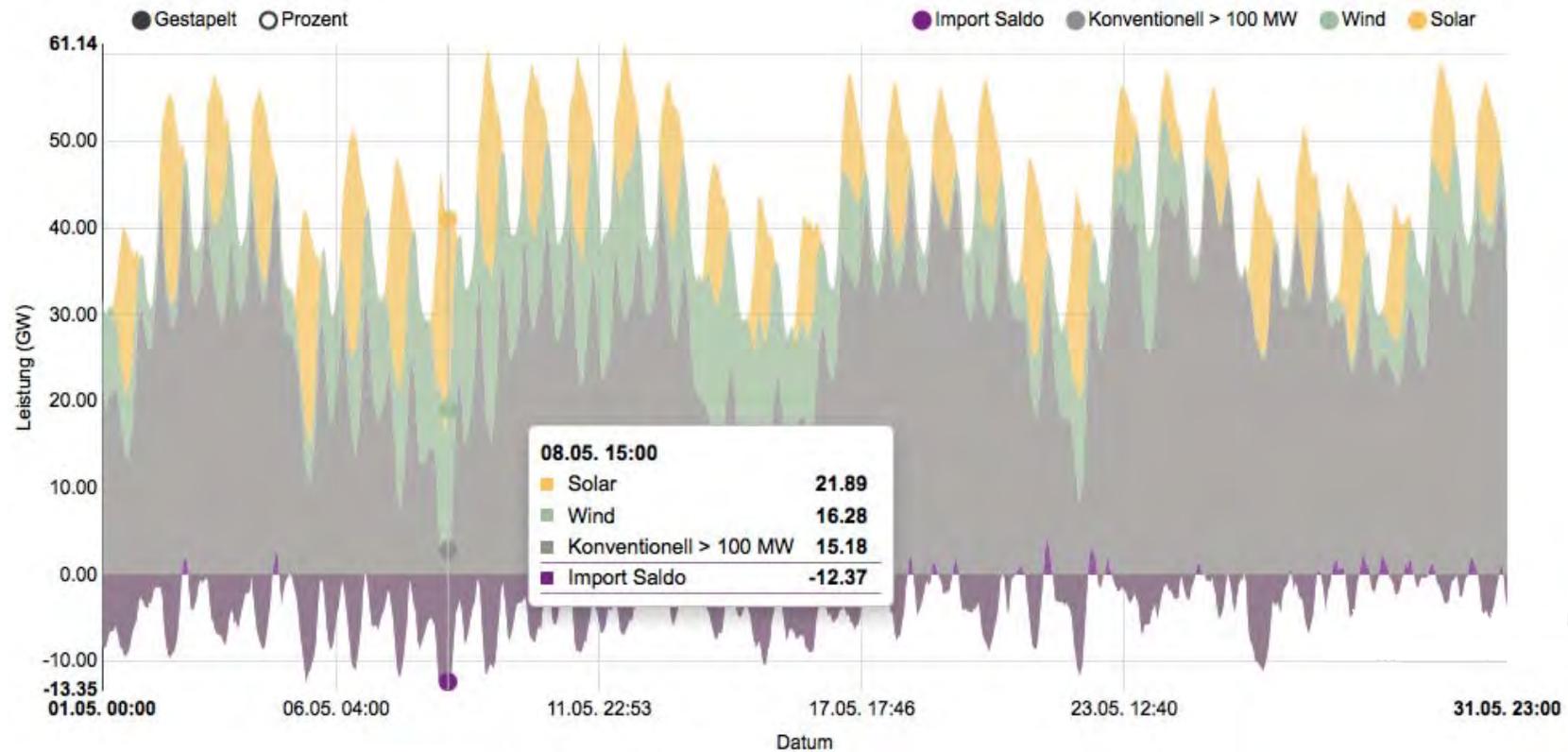


[Fraunhofer ISE: Burger Energy-Charts; April 2016]

- EEX-Transparency
- Erzeugung

Electricity production

Fraunhofer ISE <https://energy-charts.de/>

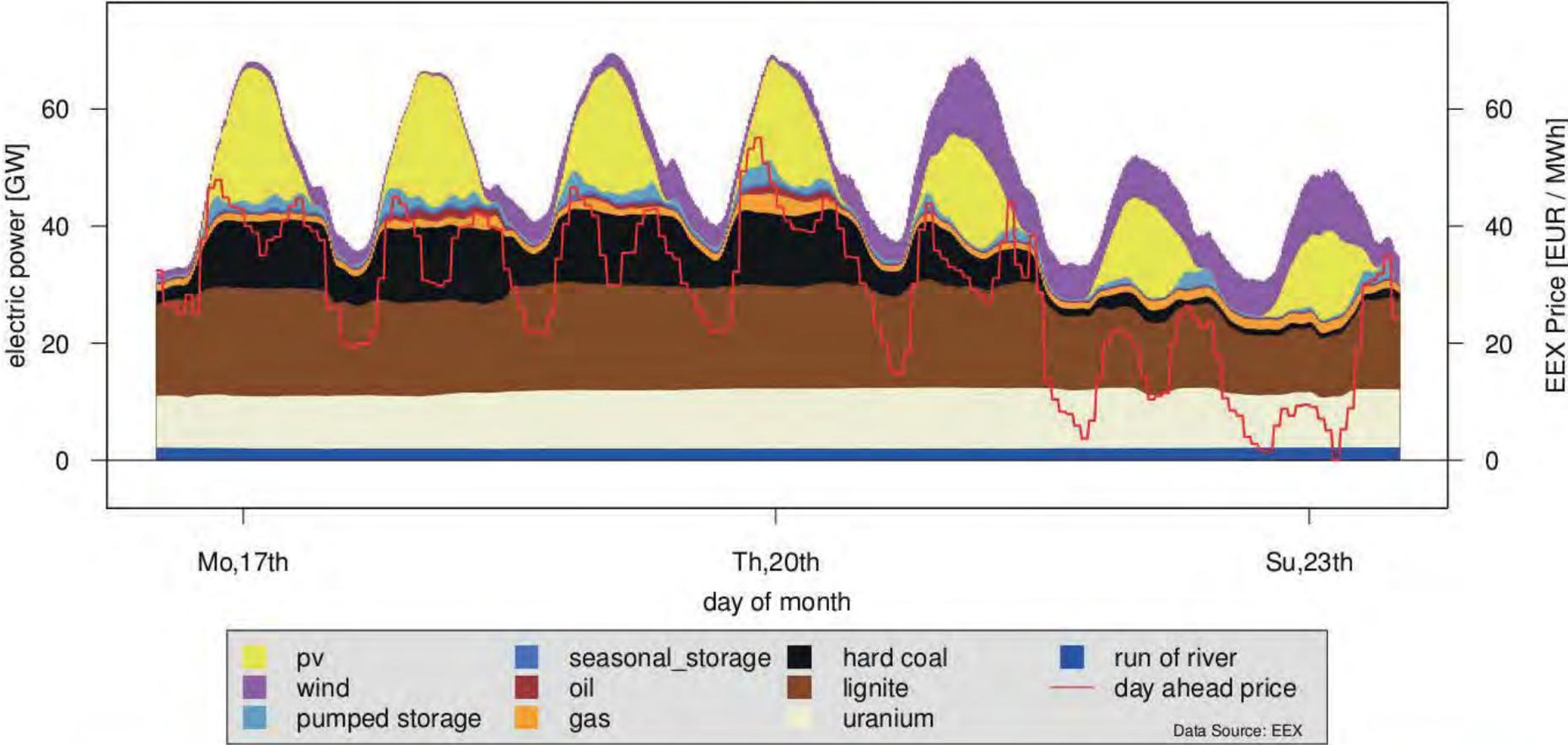


irger
016]

Nettoerzeugung von Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung.
 Datenquelle: 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX
 letztes Update: 15 Jun 2016 10:17

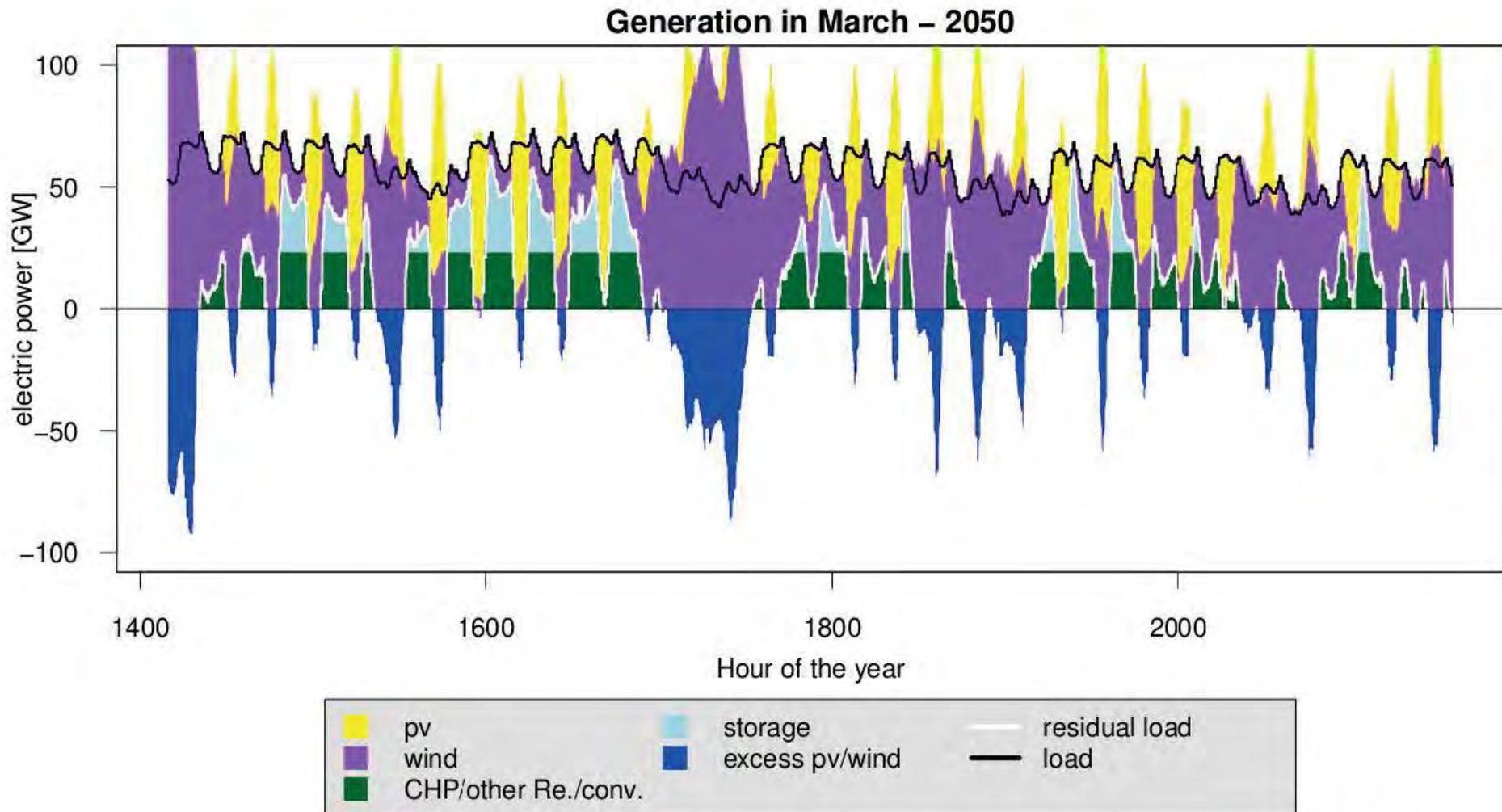
Zubau EE, Strompreise am Energiemarkt durch Zubau PV und Wind

german electricity generation & price – June 2013 , calendar week: 25

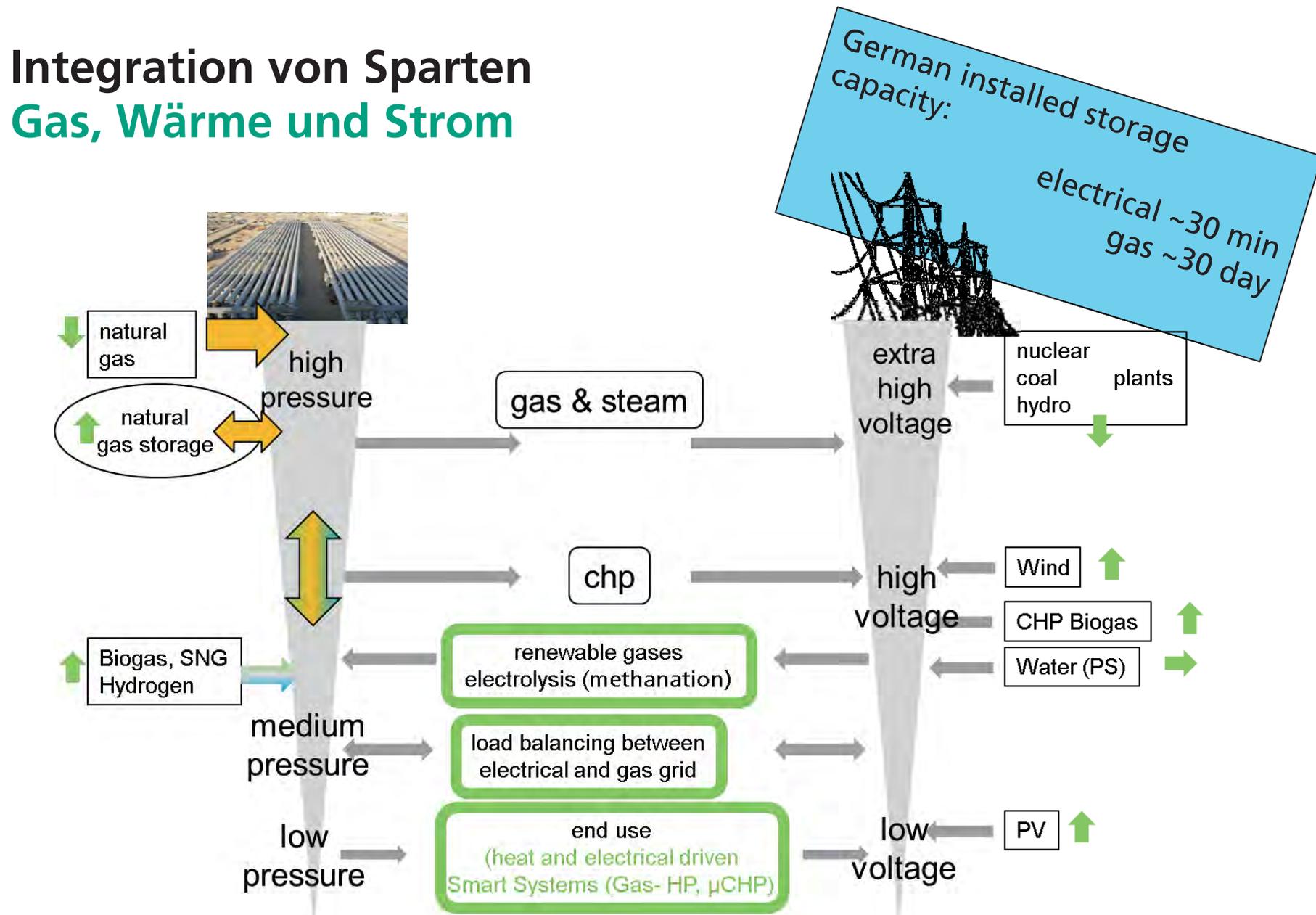


Generation Scenario 2050

100% EE- Szenario, PV, Wind



Integration von Sparten Gas, Wärme und Strom



Was kostet die Energiewende ? Transformation bis 2050



www.ise.fraunhofer.de

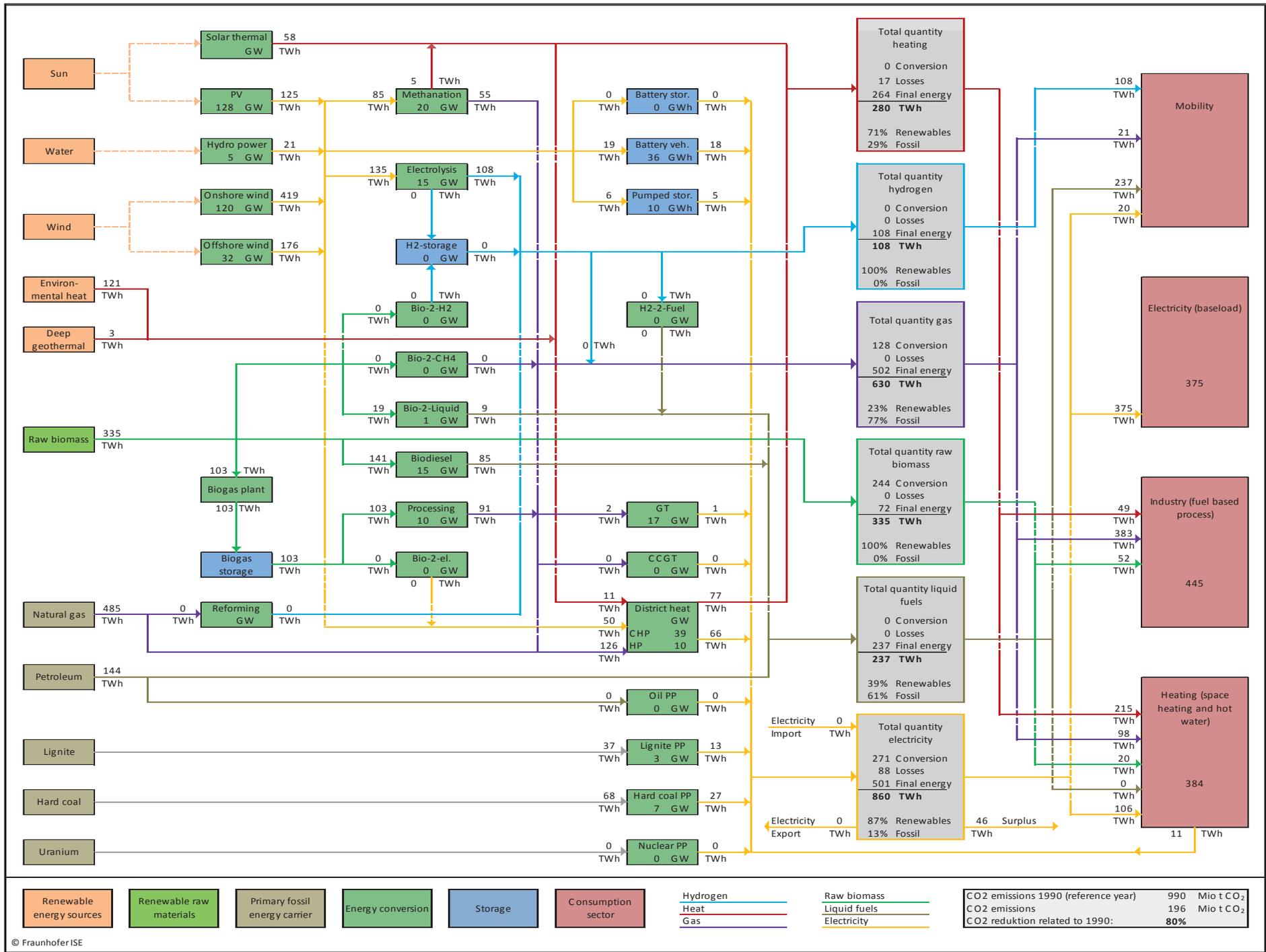
Regenerative Energien Modell – Deutschland »REMod-D«

Minimierung der Transformationskosten →



Struktur eines Energiesystems mit dominantem Anteil erneuerbarer Energien

- Alle Verbrauchssektoren
- Stundengenaue Modellierung



Residuale Last Speicherbedarf

- Last 40 GW to 80 GW
- Residuallast:

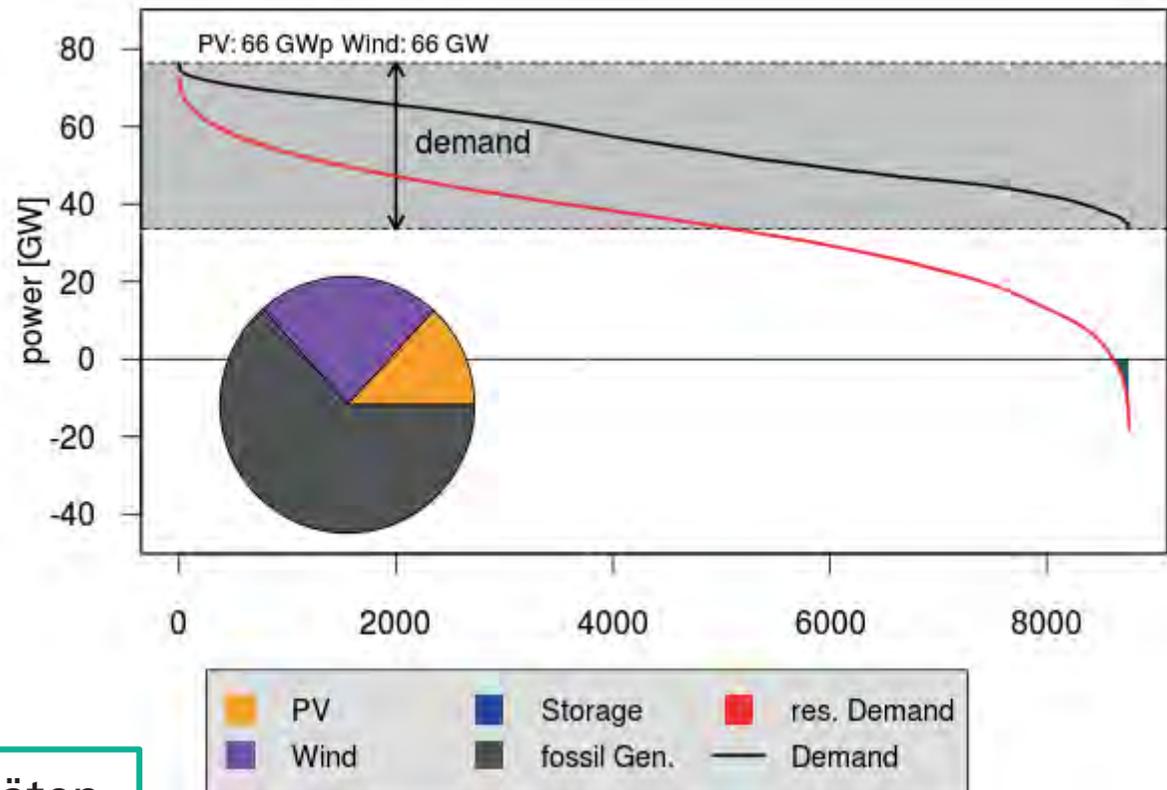
$$P_{\text{res}} = P_{\text{load}} - P_{\text{PV}} - P_{\text{wind}}$$

- Ab ca. 40% EE gibt es Speicherbedarf
- Residuale Last wird negativ



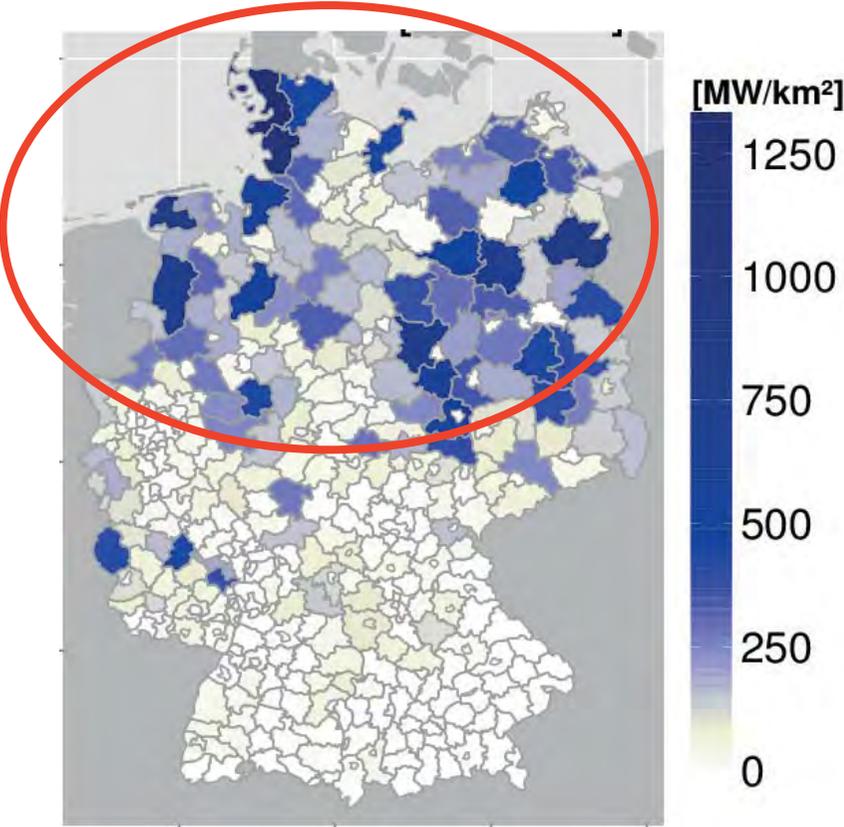
Speicher und Flexibilitäten erforderlich

Szenario 2030: Leitstudie 2010 Szenario B

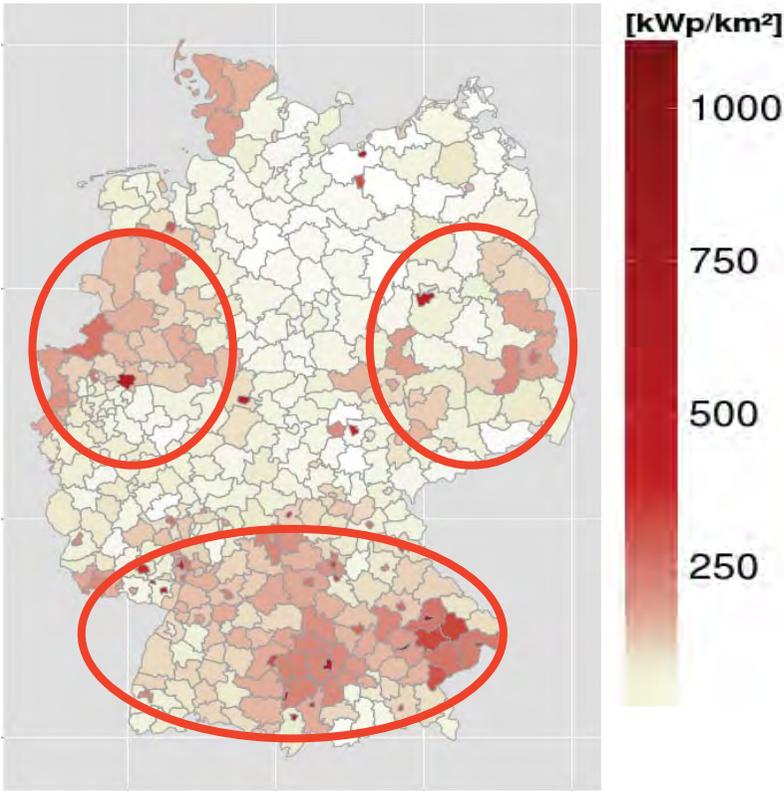


Transmission system heterogeneous distribution of renewables

Wind



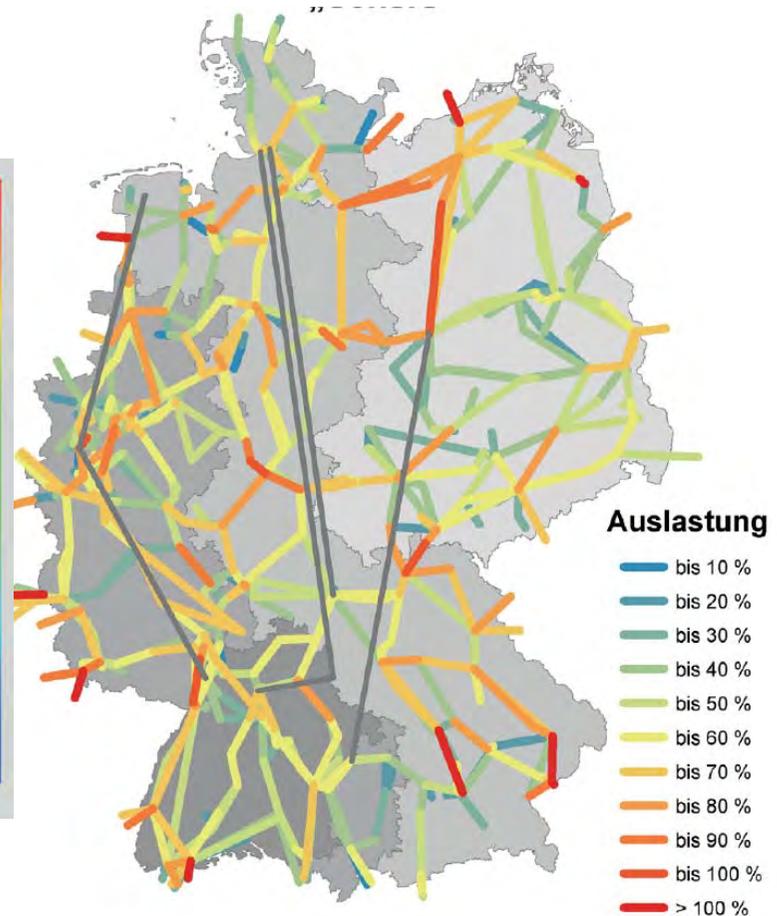
Photovoltaic



Graph S. Killinger, Fraunhofer ISE; data: Bundesnetzagentur

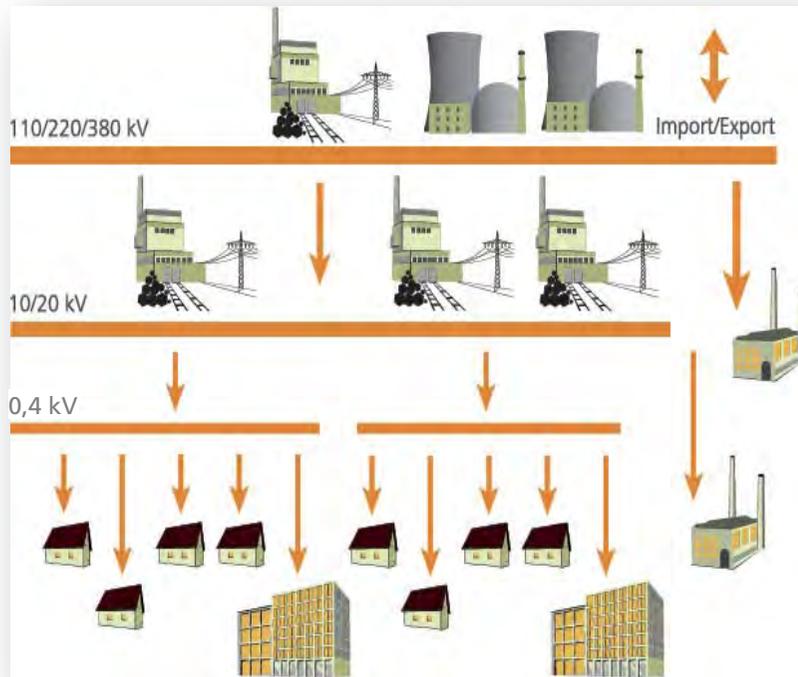
Netz und Energieverteilung

Verteiler- und Übertragungsnetze

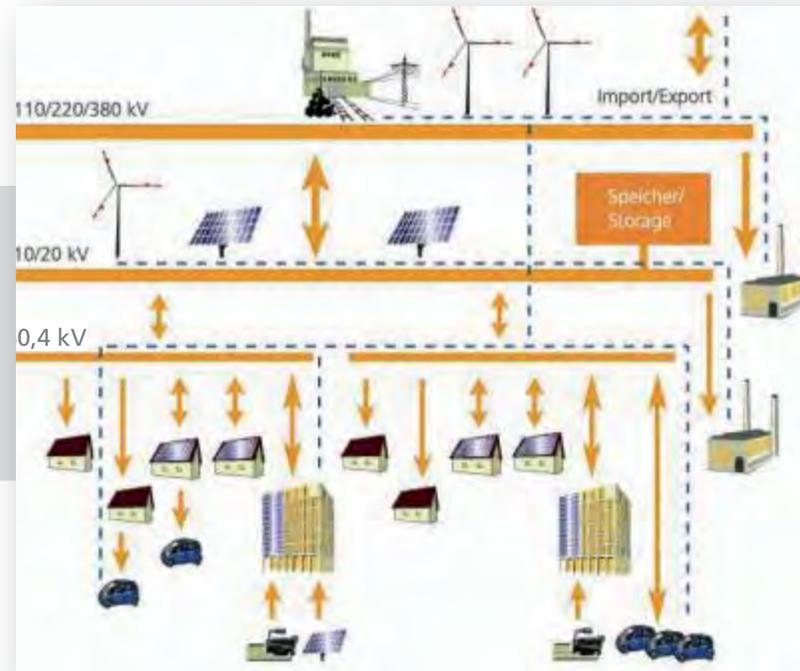


- Netzsimulation im Verteilnetz
- Netzsimulation im Übertragungsnetz

Smart Grid Idee



Gestern

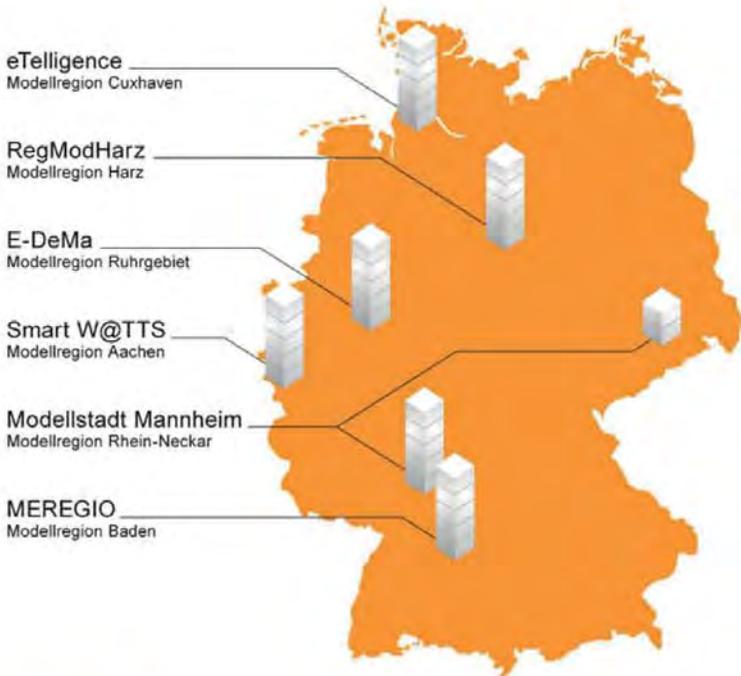


Heute und Zukunft

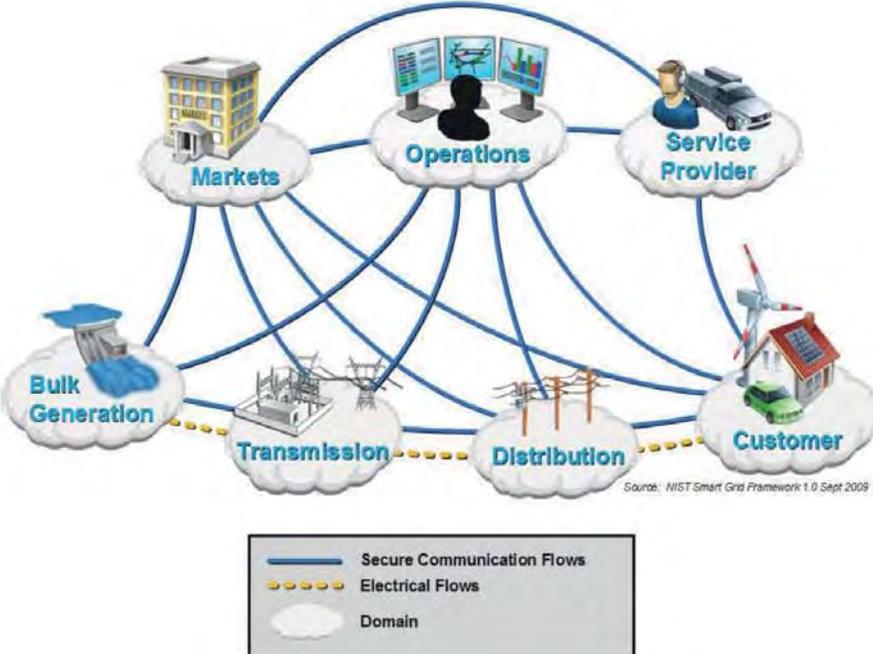
- Dezentral und fluktuierend. Daher Bedarf an: Vernetzung und Steuerung von **intelligenten Erzeugern, Speichern und Verbrauchern**

Smart Grid Idee

– Smart Markets, BMWi-eEnergy



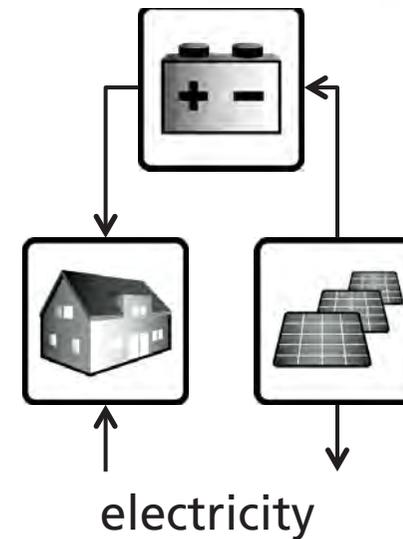
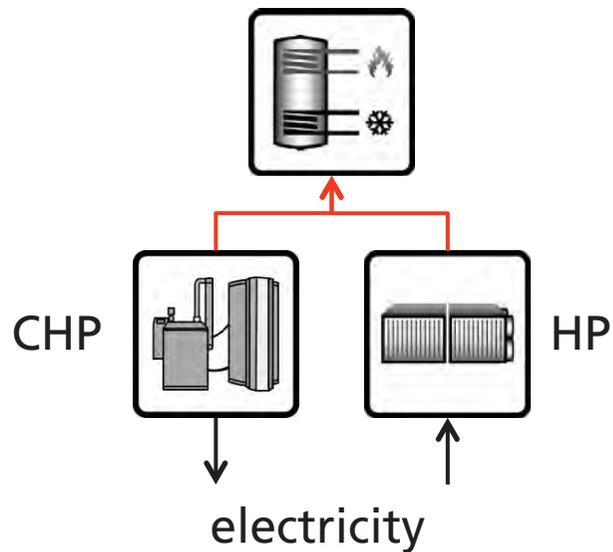
Conceptual Model



Source: IEC Smart Grid Standardization Roadmap, SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), June 2010

Dezentrale Flexibilitäten

BHKW/WP und thermische Speicher; Batteriesysteme



Kraftwerk im Keller

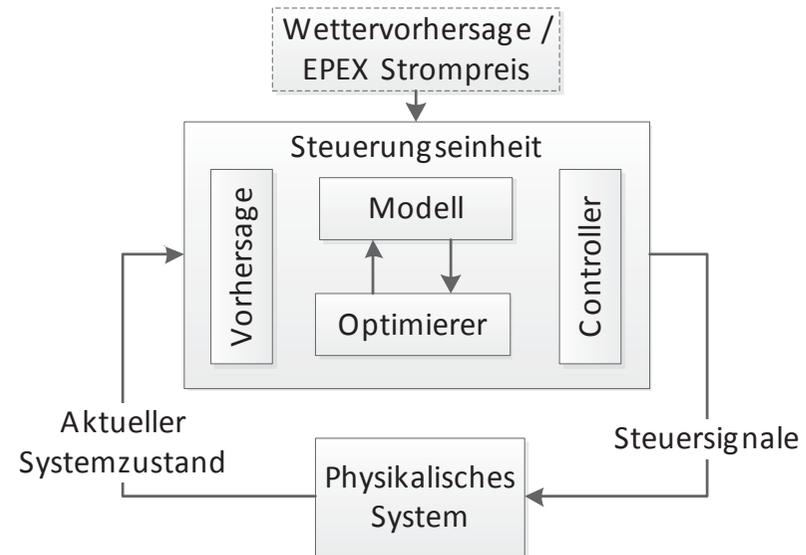
Dezentrale Optimierung stromwärmegeführter KWK-Anlagen im Smart Grid

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 Bestandsgebäuden getestet.

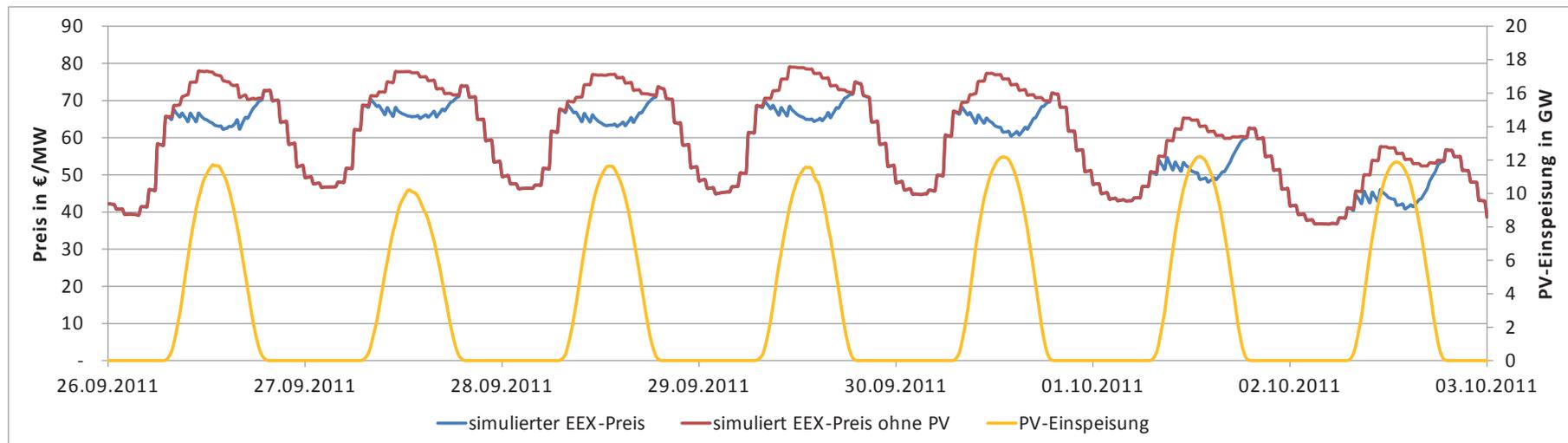


Strom-wärmegeführte KWK Anlagen

EEX-Preise durch PV

Modellierung des EEX-Preises mit und ohne PV-Einspeisung verdeutlicht den heutigen Einfluss auf den Preis.

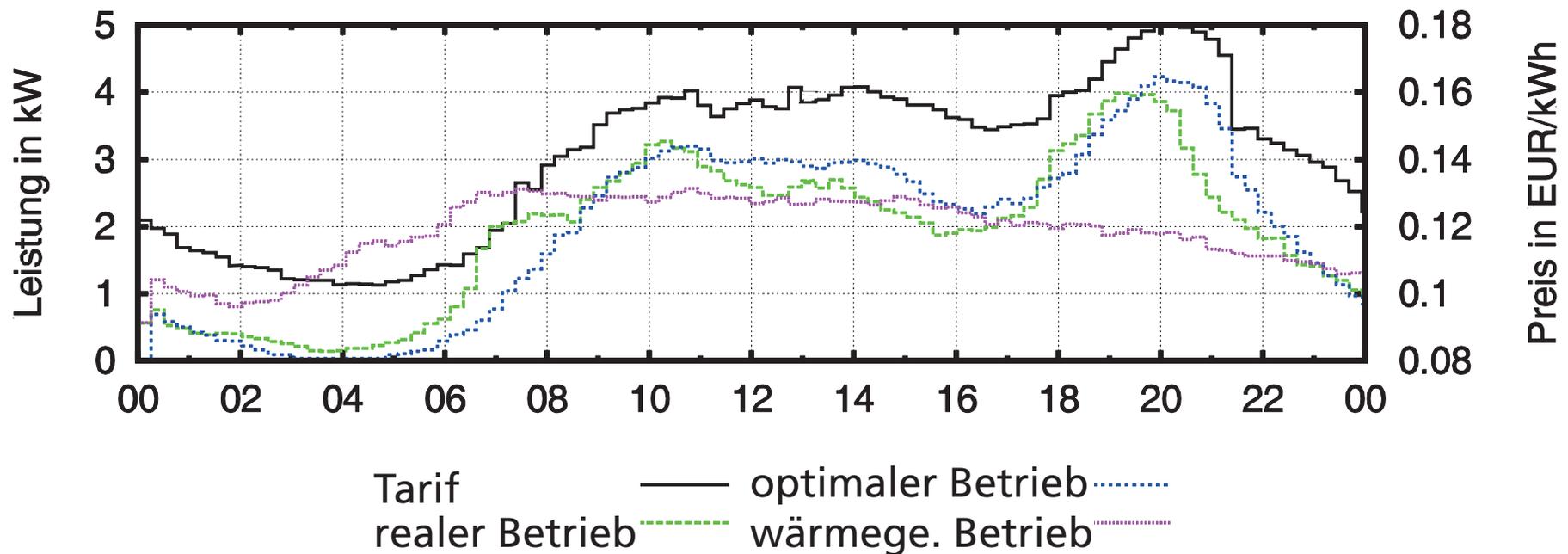
Steigender PV-Ausbau : → Absenkung des Mittagstiefs **an Tagen mit PV-Einspeisung**



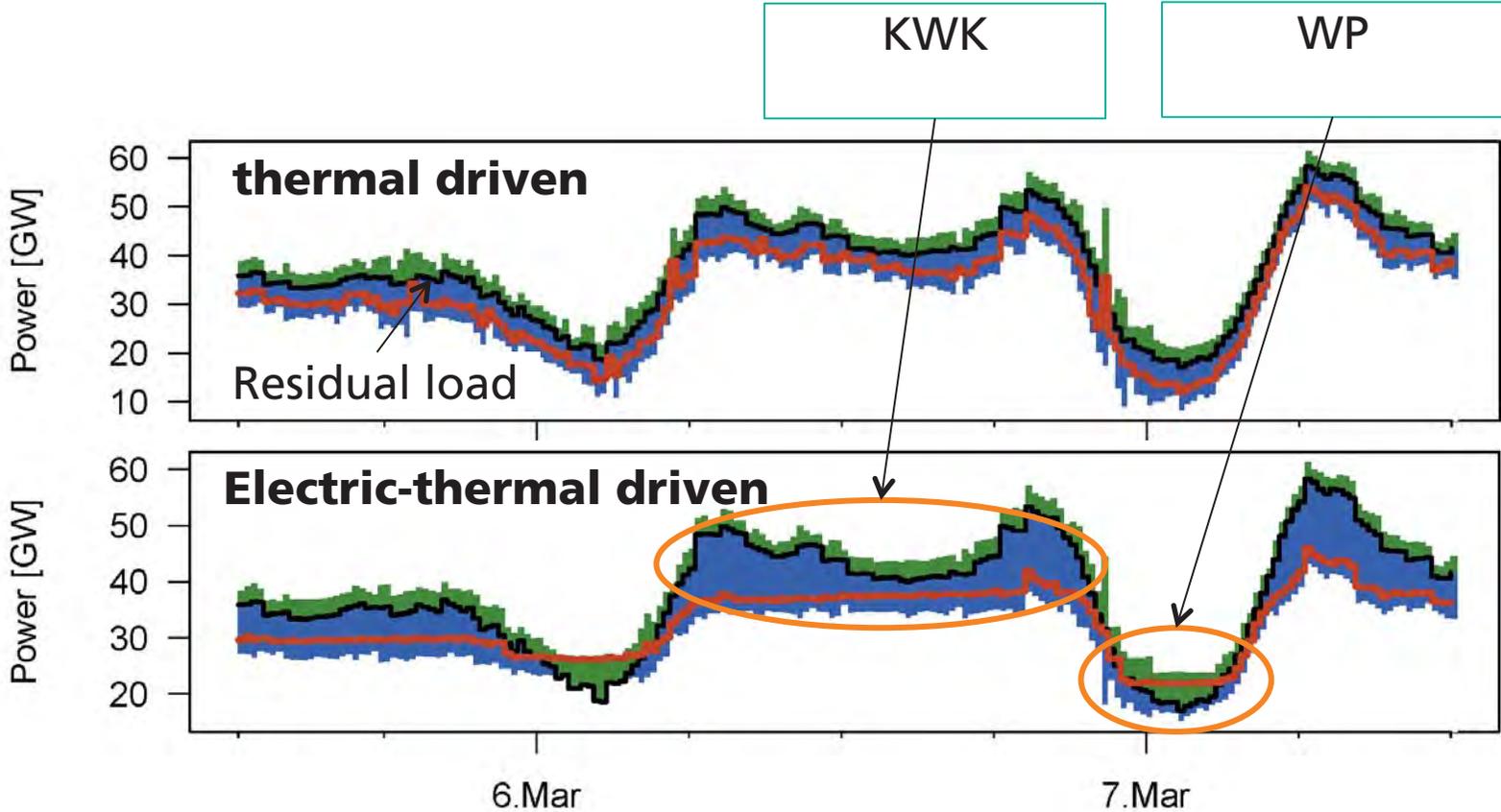
→ Steuerbare Erzeuger (wie BHKW) und Verbraucher müssen dynamisch auf Preise bzw. Systemanforderungen reagieren

Tagesgang KWK Erzeugung; Jahresmittelwerte 5KW Senertec Monovalente Speicherdimensionierung

- Fast kein Betrieb in der Niedrigpreiszeit und sehr nahe am Optimum
- Systematische Abweichungen vom optimalen Betrieb durch Unterschätzung der thermischen Last

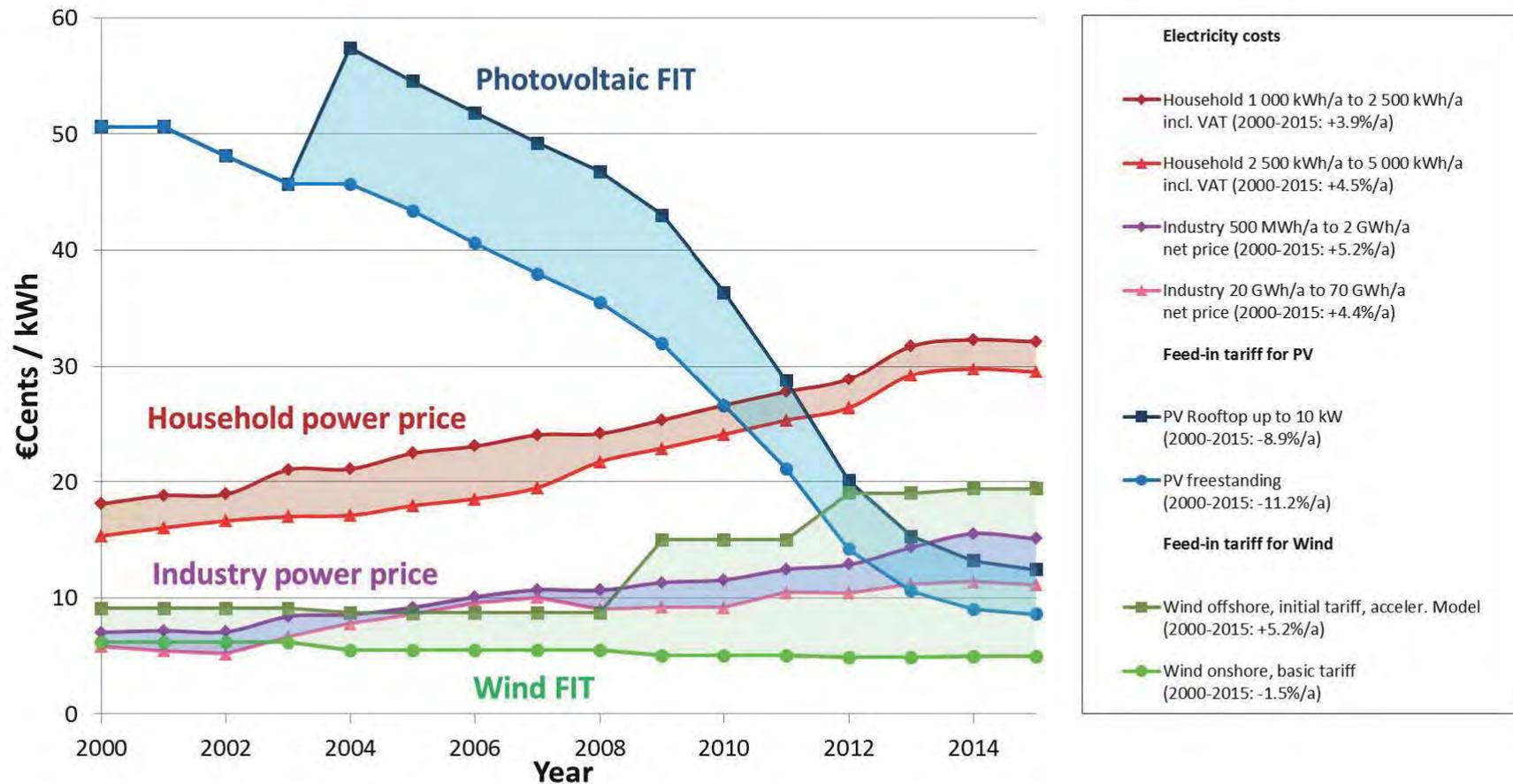


Aggregierte Flexibilität von KWK und WP Auswirkung auf die residuale Lastgangkurve in D

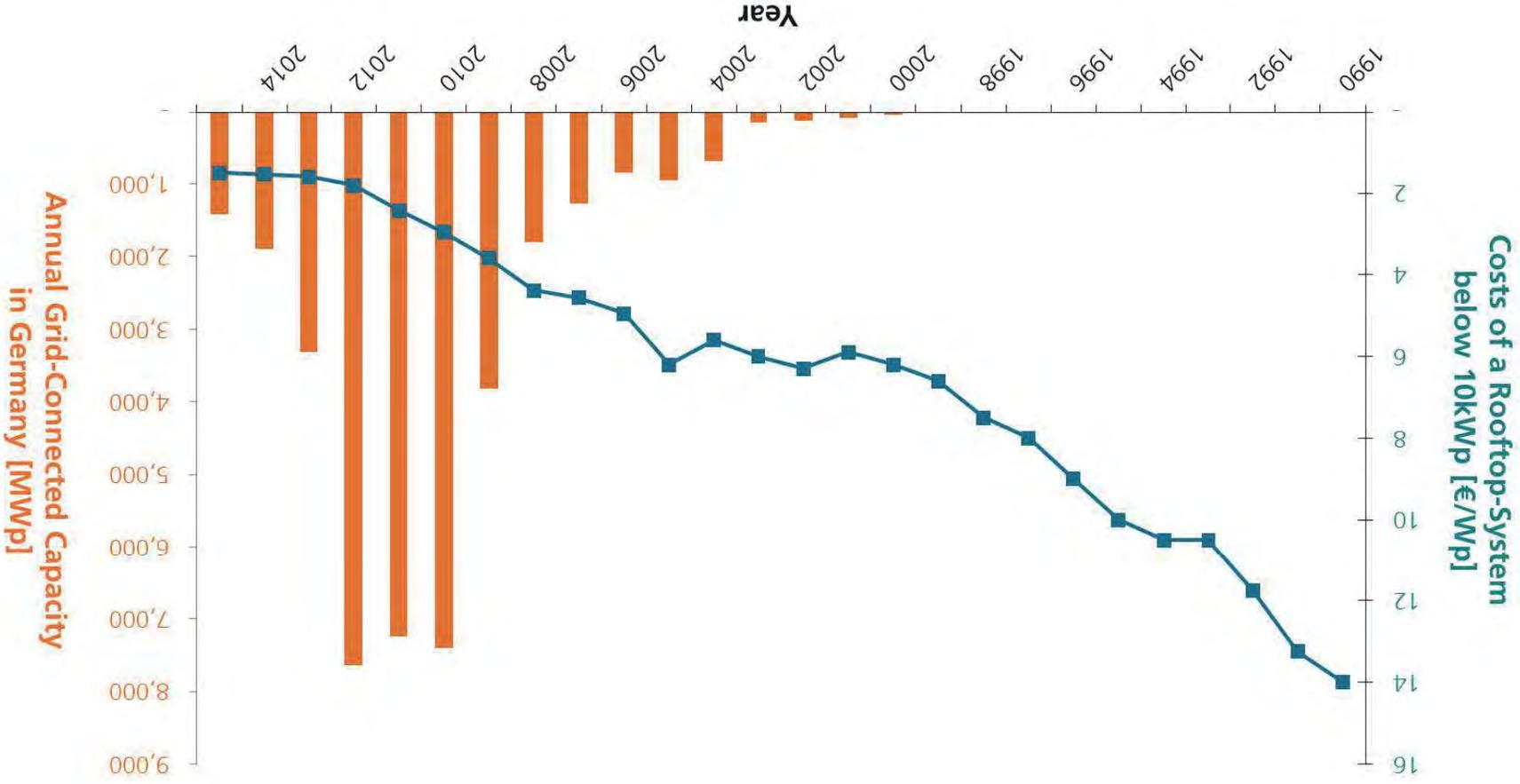


Eigenstromnutzung dezentral

Einspeisevergütung vs. Stromsbezugskosten



PV-Dachanlagen Kostenentwicklung Zubau PV in D

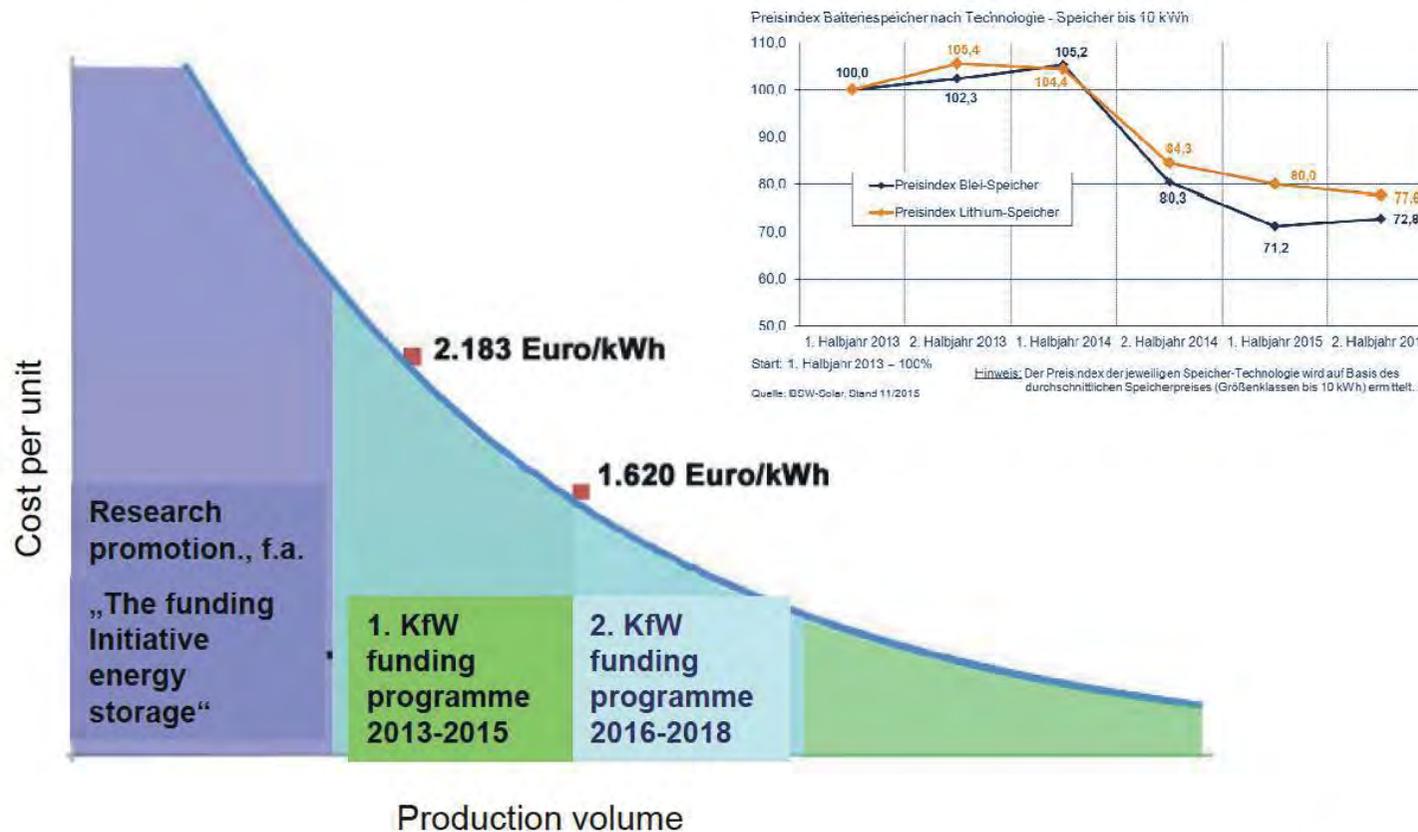


Data: BSW-Solar, BNA, Graph: PSE AG 2016

Dezentrale Solarstromspeicher

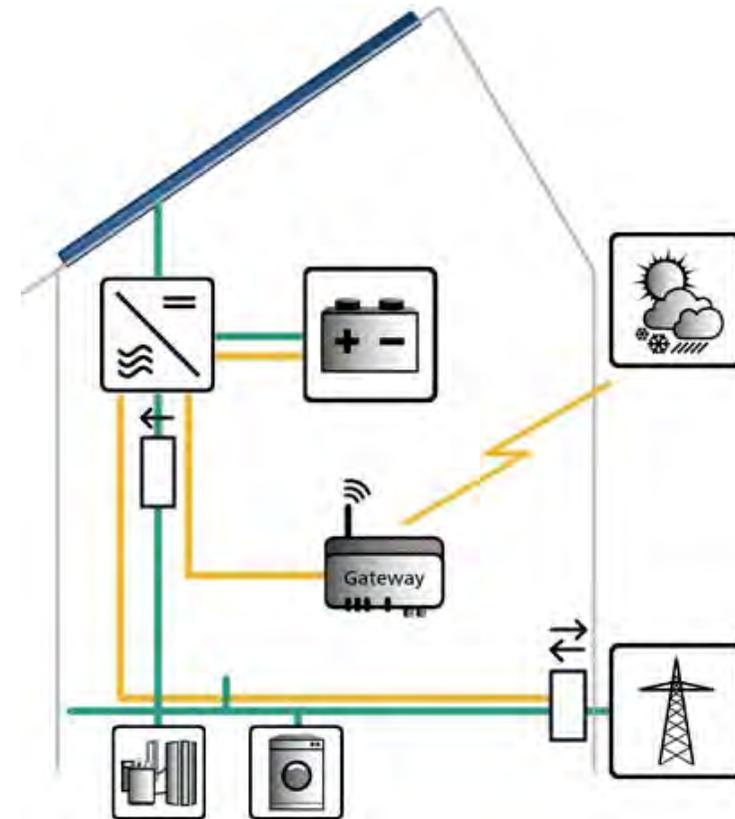
Der Markt

- Learning curve of a solar power storage unit in the context of funding (assumed cost reduction rate of 25% per doubling of production volume; values of prices for lithium systems Q1/2014 u. Q3/2015)

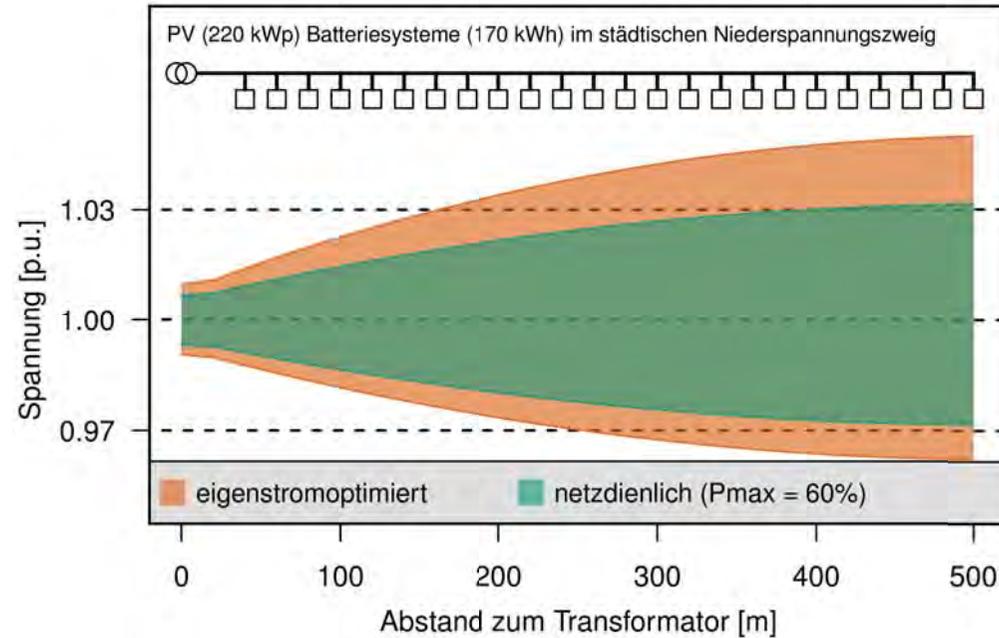
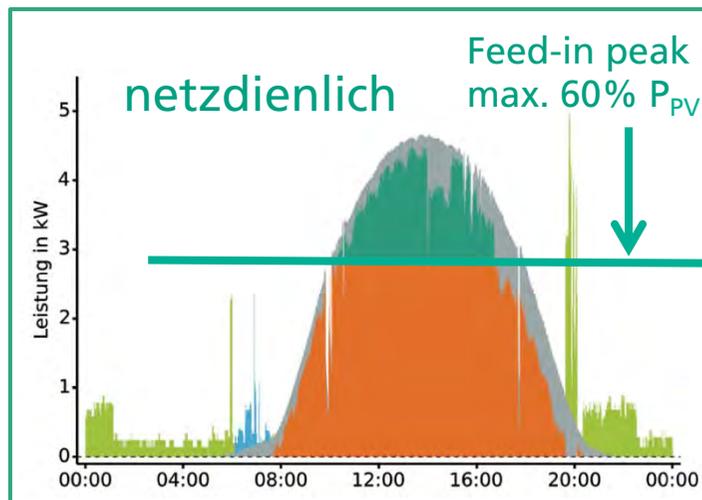
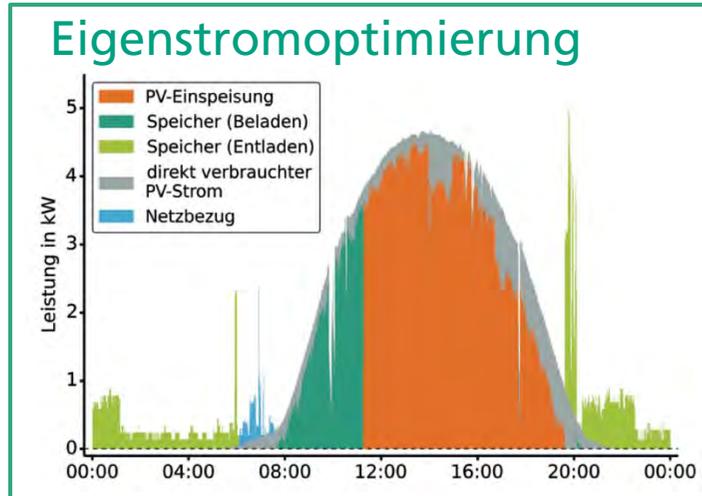


HeiPhoss PV-Batteriesystem

Entwicklung eines effizienten
hochvolt-DC-gekoppelten PV-
Batteriesystems mit intelligenter,
netzfreundlicher Betriebsführung



Betriebsstrategien für PV-Batteriesysteme "Netzdienlicher Betrieb"



- Optimierung des Eigenverbrauchs vermindert keine Netzspitzen
- Bis zu 66 % mehr PV im NS Netz durch Spitzenkappung

HeiPhoss

Betriebsführung

Zielsetzung:

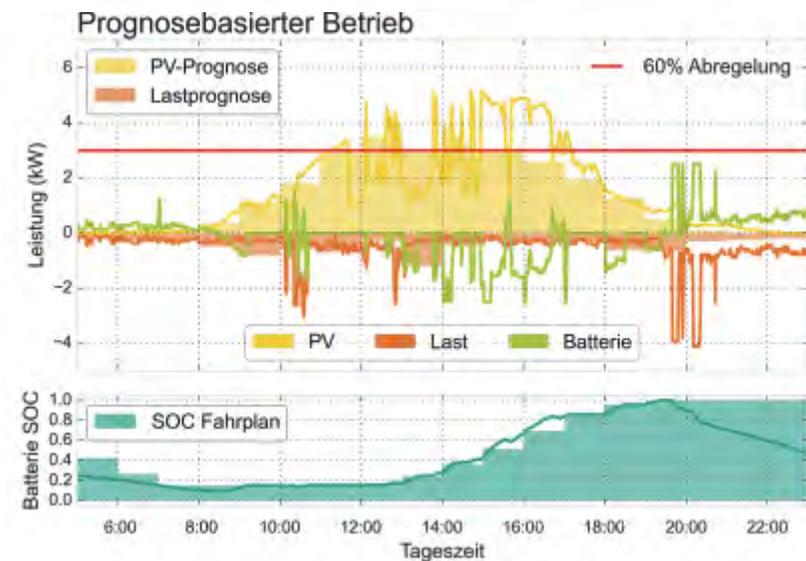
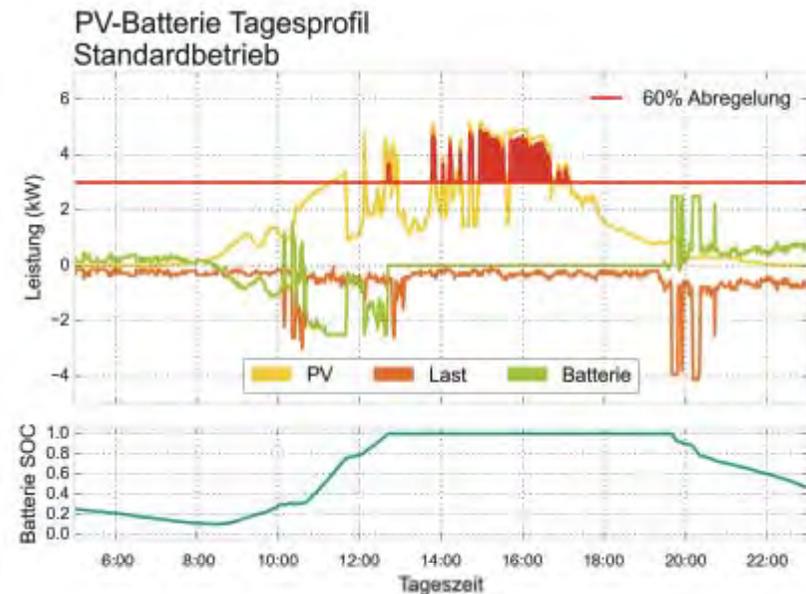
Optimaler Eigenverbrauch

Netzfreundlicher Betrieb durch
Pufferung des PV-Mittagspeaks

Batterieschonender Betrieb

Umsetzung:

- Entwicklung prognosegestützter Vorhaltung von Speicherkapazität zur Reduktion der Einspeisespitze auf 60% der PV-Nennleistung
- Validiert in zahlreichen veröffentlichten Simulationsstudien

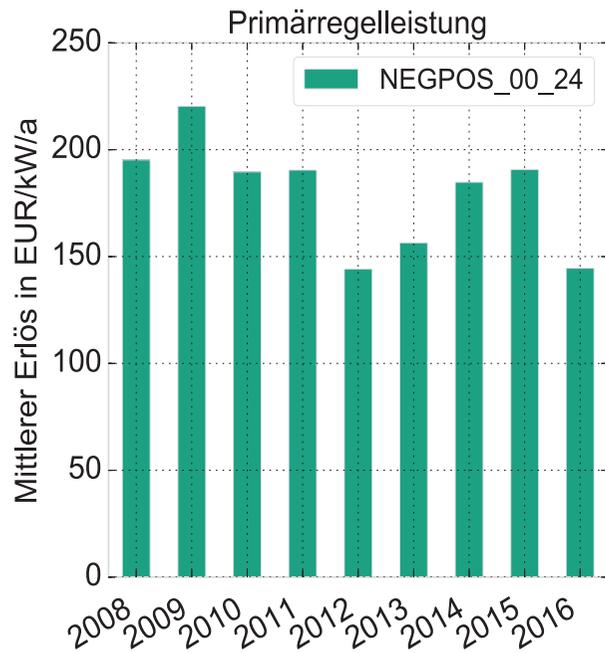


Energiemarkt

Leistungs-Preisentwicklung am Regelleistungsmarkt

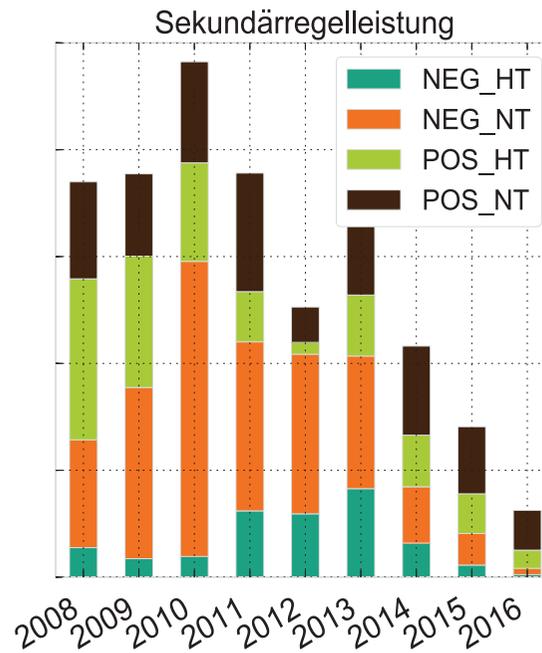
PrimaryControlReserve PCR:

- Wöchentlich ausgeschrieben
- Min 5 MW, Negativ/Positiv
- Aktivierung 30 sec
- Frequenzgeführt



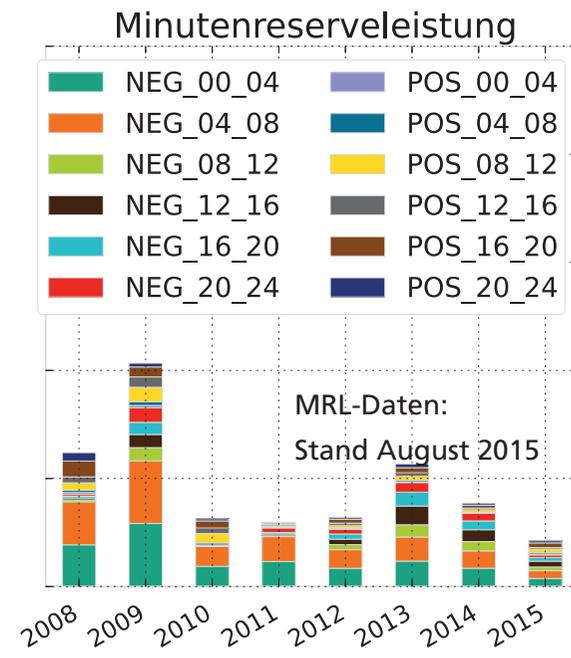
SecondaryControlReserve SCR:

- Wöchentlich ausgeschrieben
- Min 10 MW, Abruf
- Aktivierung 5 Minuten
- Fernwirktechnik



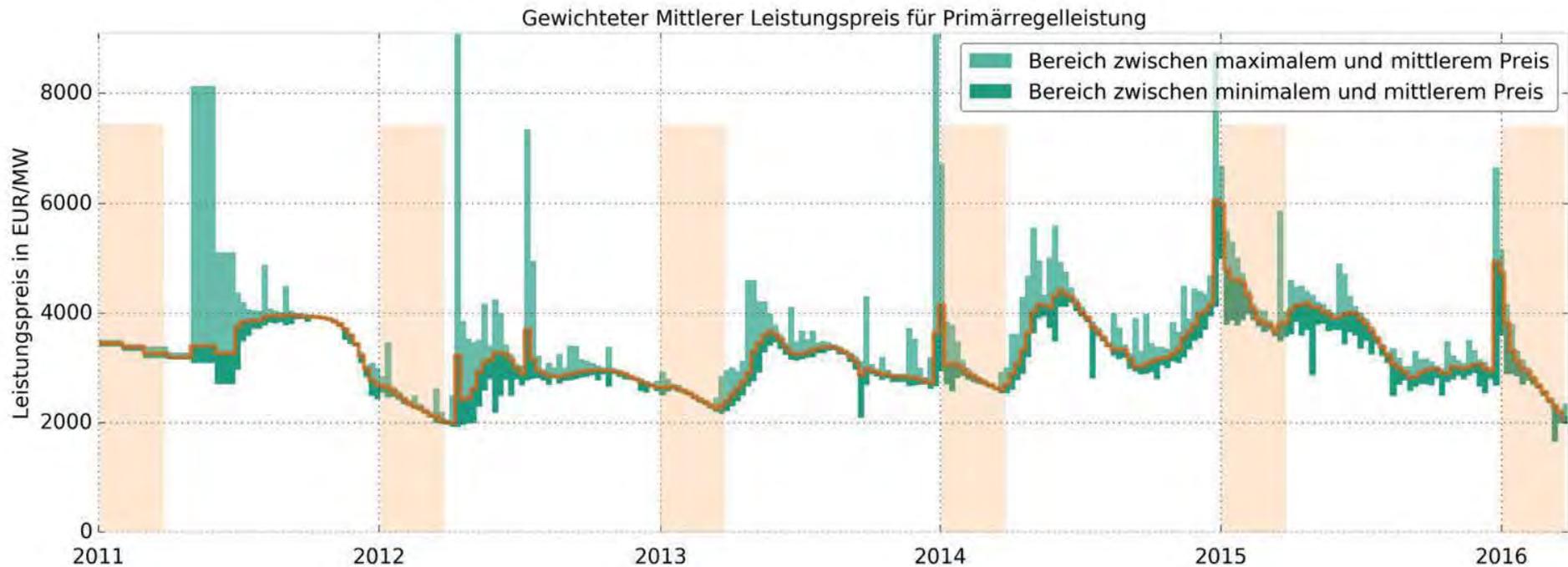
TertiaryControlReserve TCR:

- Täglich ausgeschrieben
- Min 10 MW
- Aktivierung 15 Minuten
- Automatisierter Datenaustausch

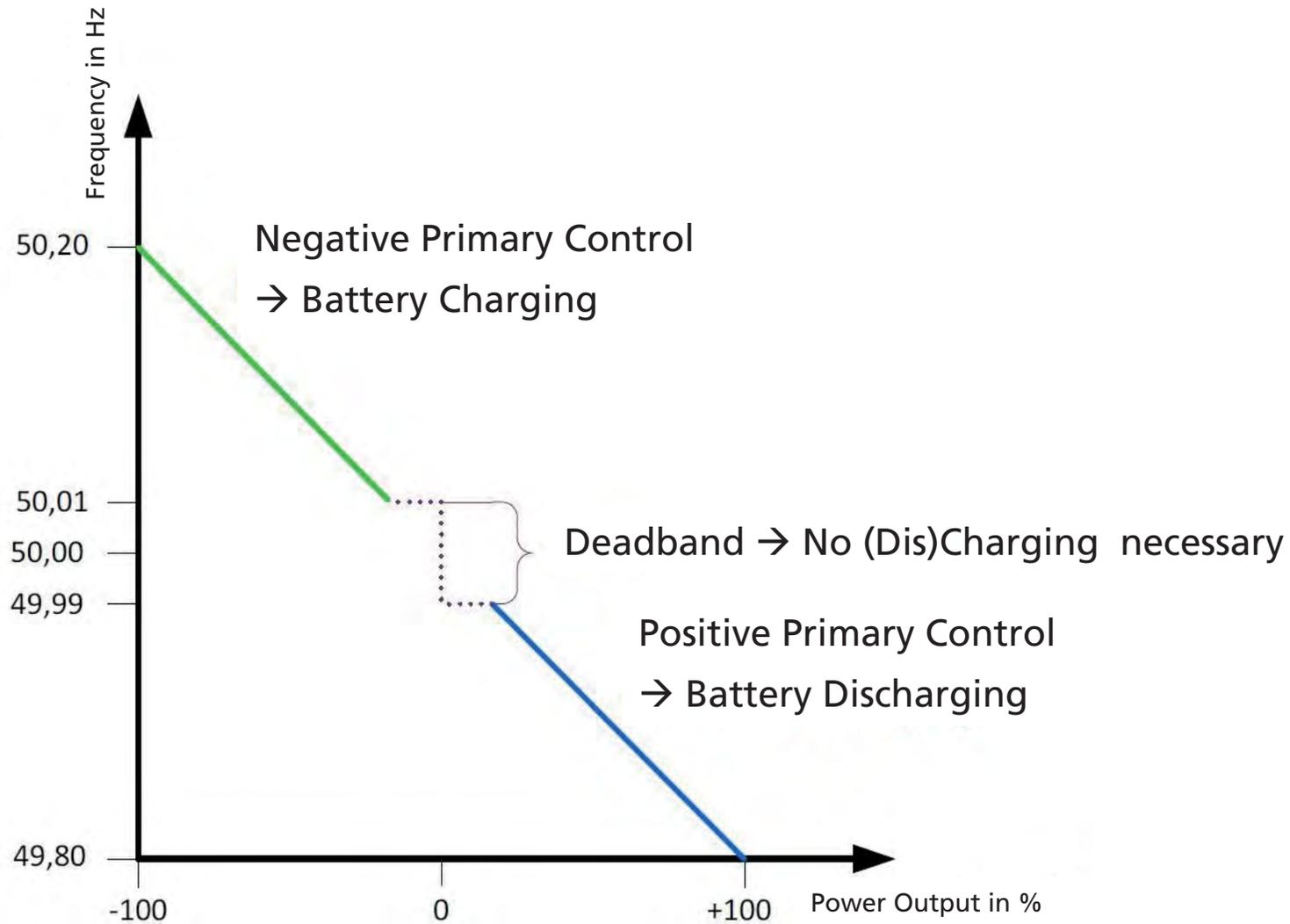


Batterien im Energiemarkt

Preisentwicklung am Primärregelleistungsmarkt



Primary Control Reserve Provision by batteries

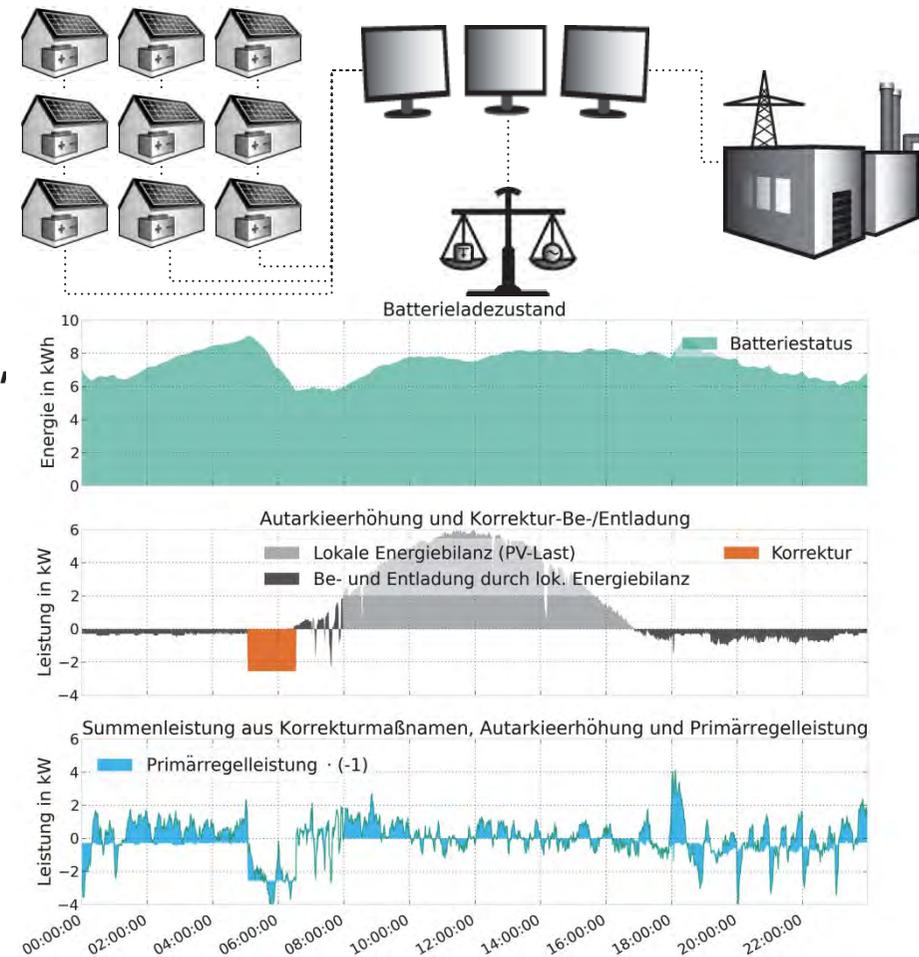


Net-PV: Aggregierte PV-Batterieverbundkraftwerke

Frequenzhaltung

Das im Projekt entwickelte Konzept ermöglicht

- die Bereitstellung von Netzserviceleistungen mit dezentralen PV-Batteriesystemen,
- erschließt neue Einnahmequellen für dezentrale Erzeuger/Systeme
- substituiert konventionelle Kraftwerke
- und reduziert somit die zunehmend kritische Must-Run-Leistung.



CheapFlex Projekt:

Aggregation durch dynamische Tarife

Wie kann die Rundsteuertechnologie innovativ genutzt werden?

Wie sehen dynamische HT/NT-Tarife aus?

Wie können komplexe Steuersignale (z.B. EEX-Preis) in HT/NT-Signale übersetzt werden?

Wie sieht die Kommunikationsstrecke vom Netzbetreiber bis zur gesteuerten Anlage (z.B. Wärmepumpe) aus?

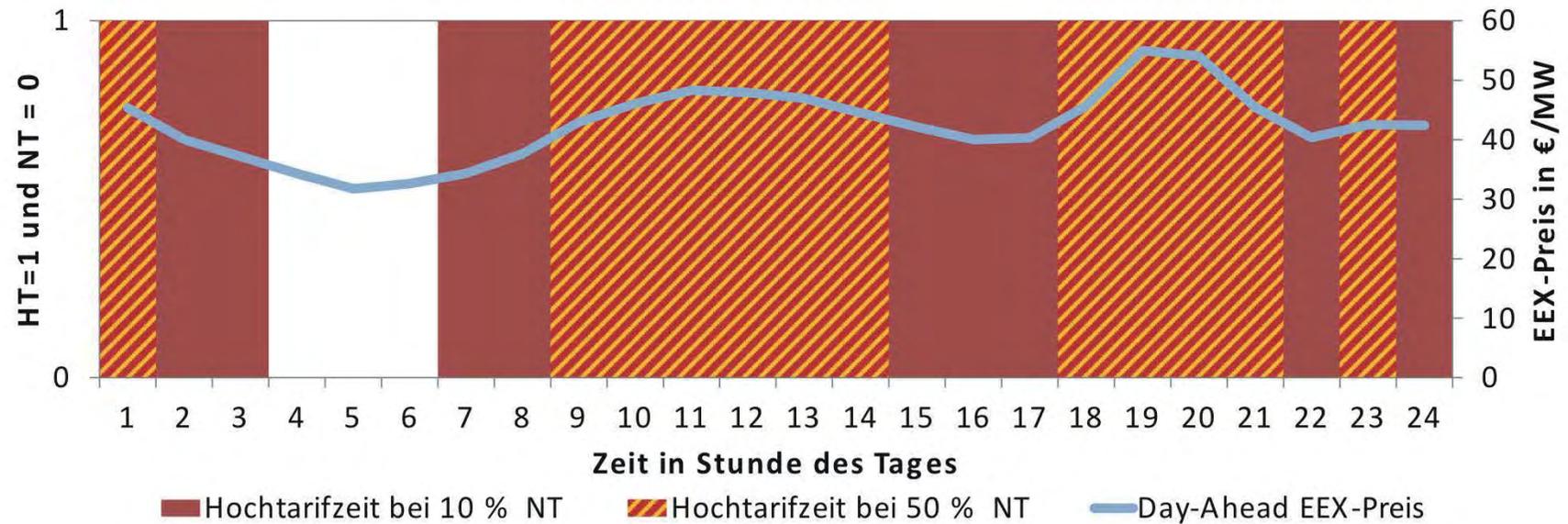
Wie flexibel reagieren „intelligent“ gesteuerte Lasten und Erzeuger auf die dynamischen HT/NT Tarife?

Wie kann der Netzbetreiber die aktuell abwerfbare Last abschätzen?

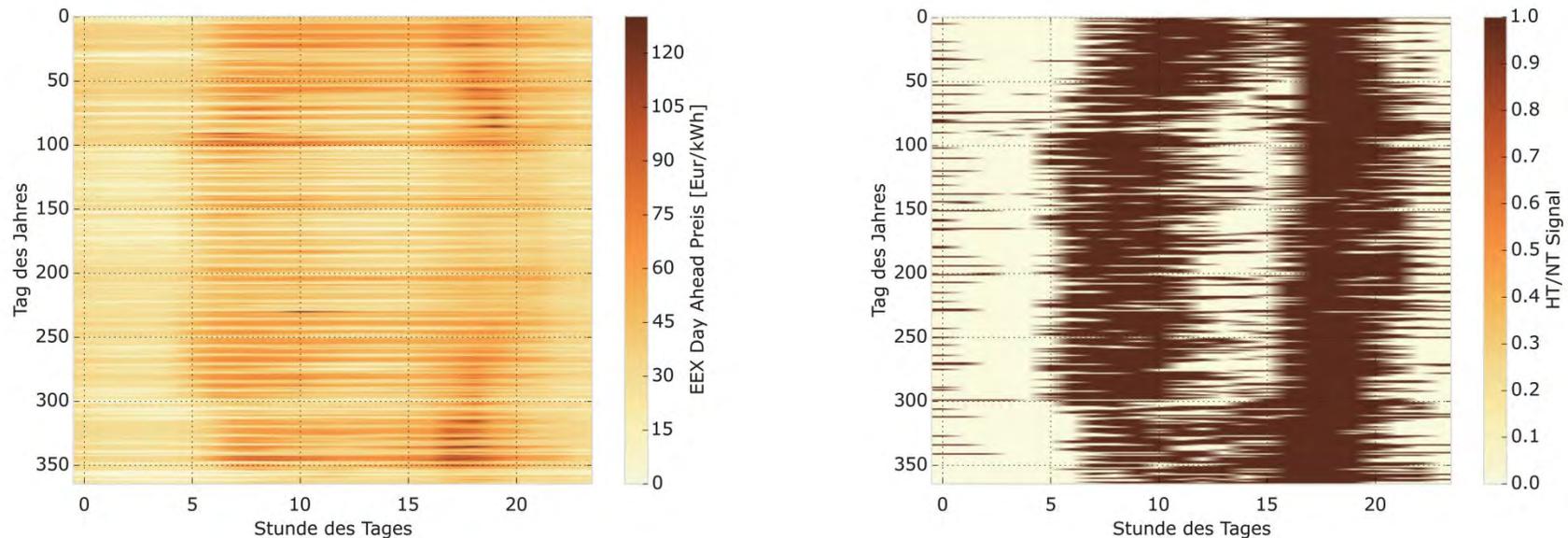
Welche systemische Relevanz hätte der Rollout eines dynamisierten SLPs?

Definition der HT/NT-Tarife

Dynamische Erzeugungstarife für KWK



Definition der HT/NT-Tarife (alternativ)



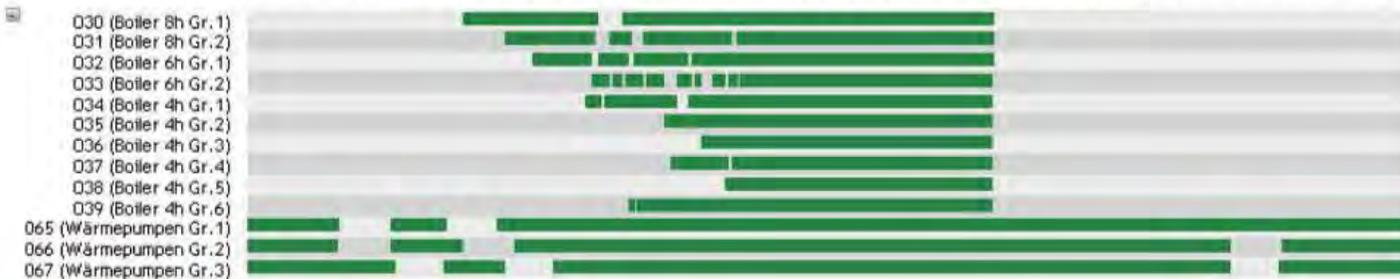
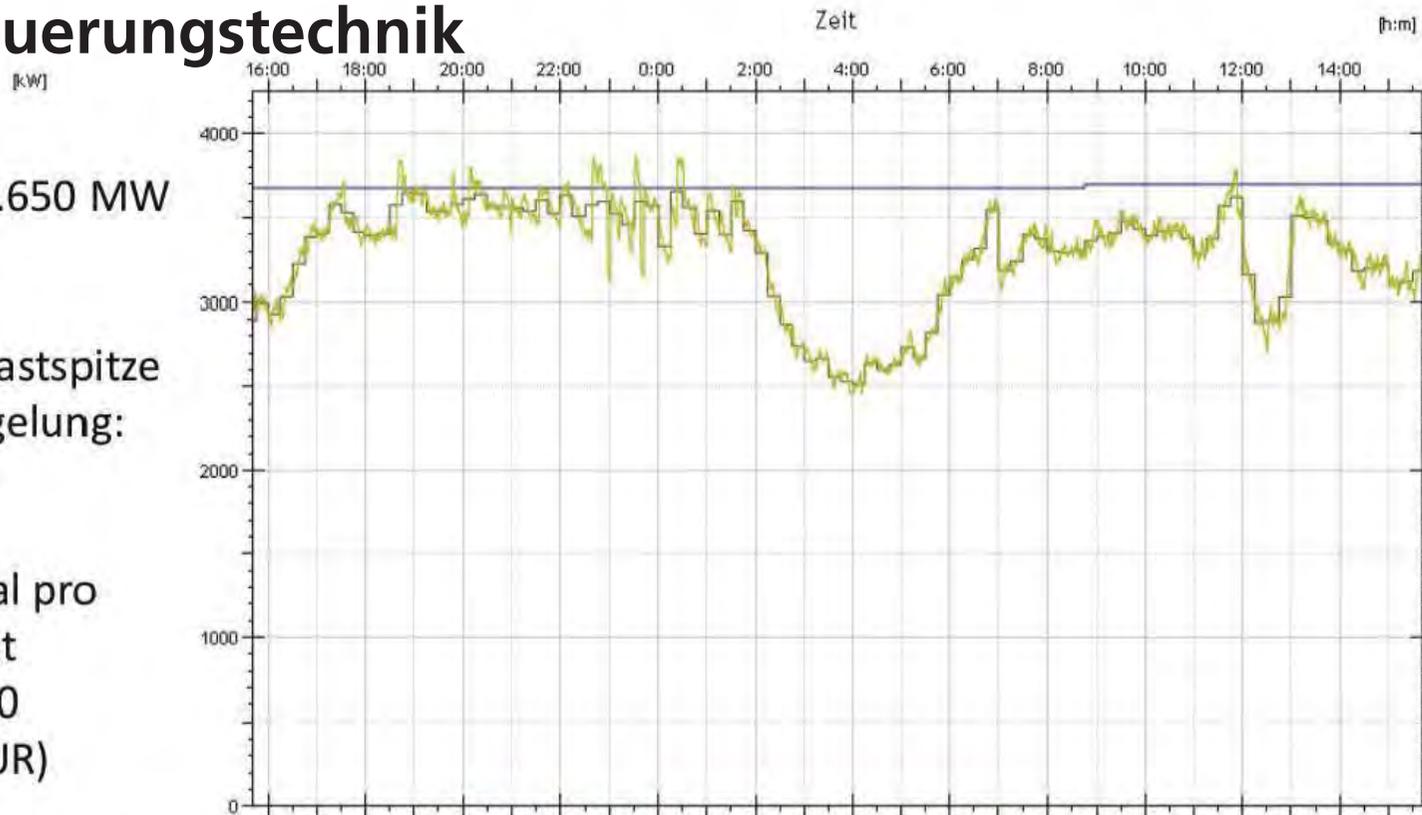
- Links: EEX Day Ahead Preisentwicklung über den Tag für jeden Tag des Jahres. Höhere Preise sind dunkler eingefärbt.
- Rechts: Daran angepasste dynamische Tarife. NT Tarifblöcke sind hell eingefärbt, HT Blöcke dunkel.

Aggregation von Lastgruppen mit Rundsteuerungstechnik

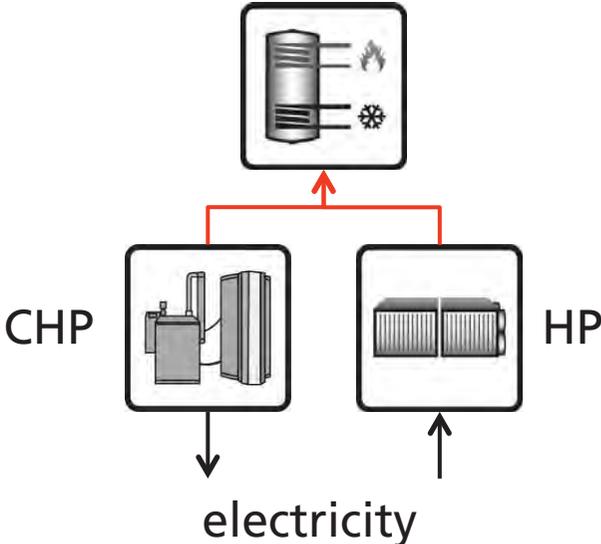
Lastspitze: 3.650 MW
um 00:30 h

Vermutete Lastspitze
ohne Lastregelung:
~4.000 MW

Sparpotenzial pro
Wintermonat
ca. CHF 2.000
(ca. 1.670 EUR)

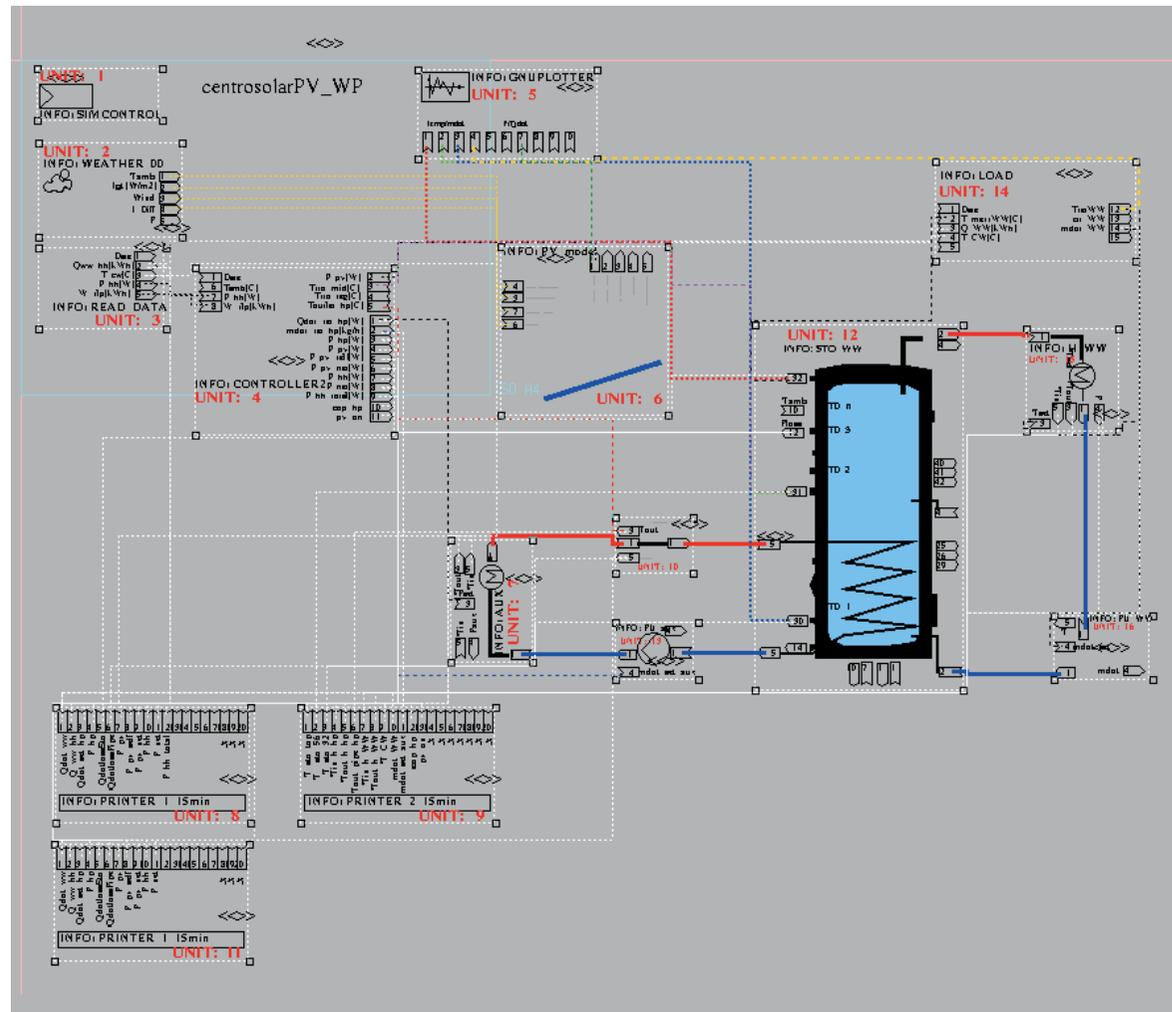


Dezentrale Flexibilitäten WP und thermische Speicher;



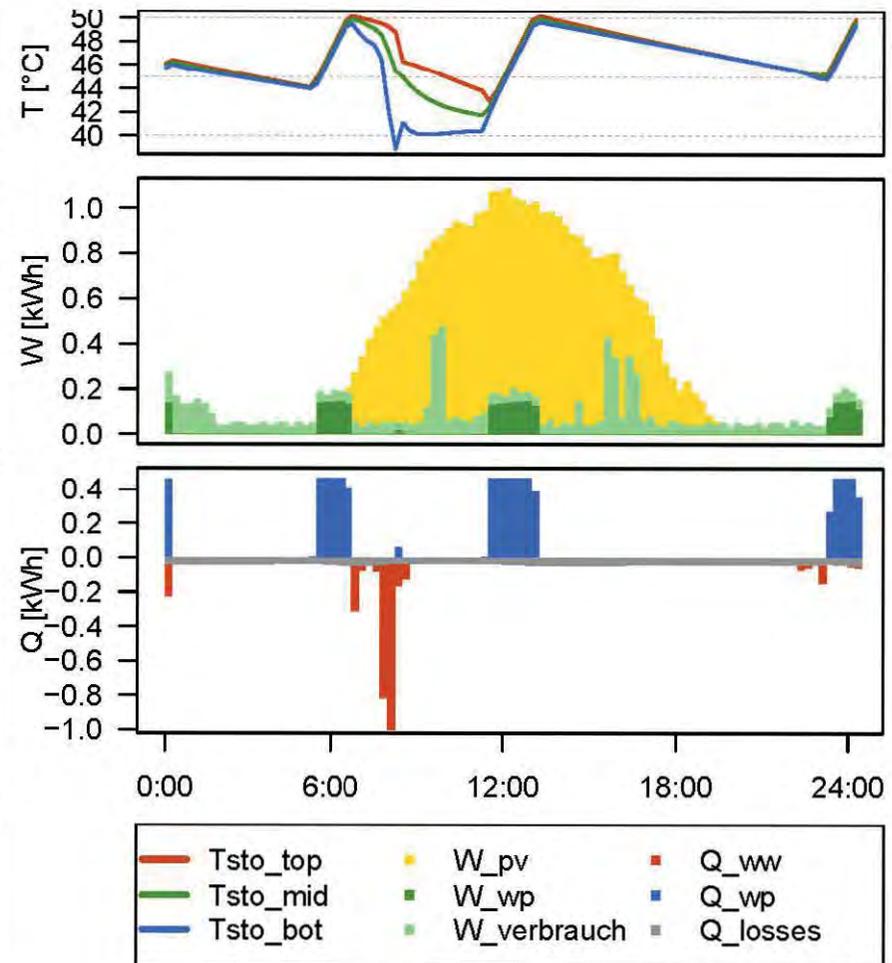
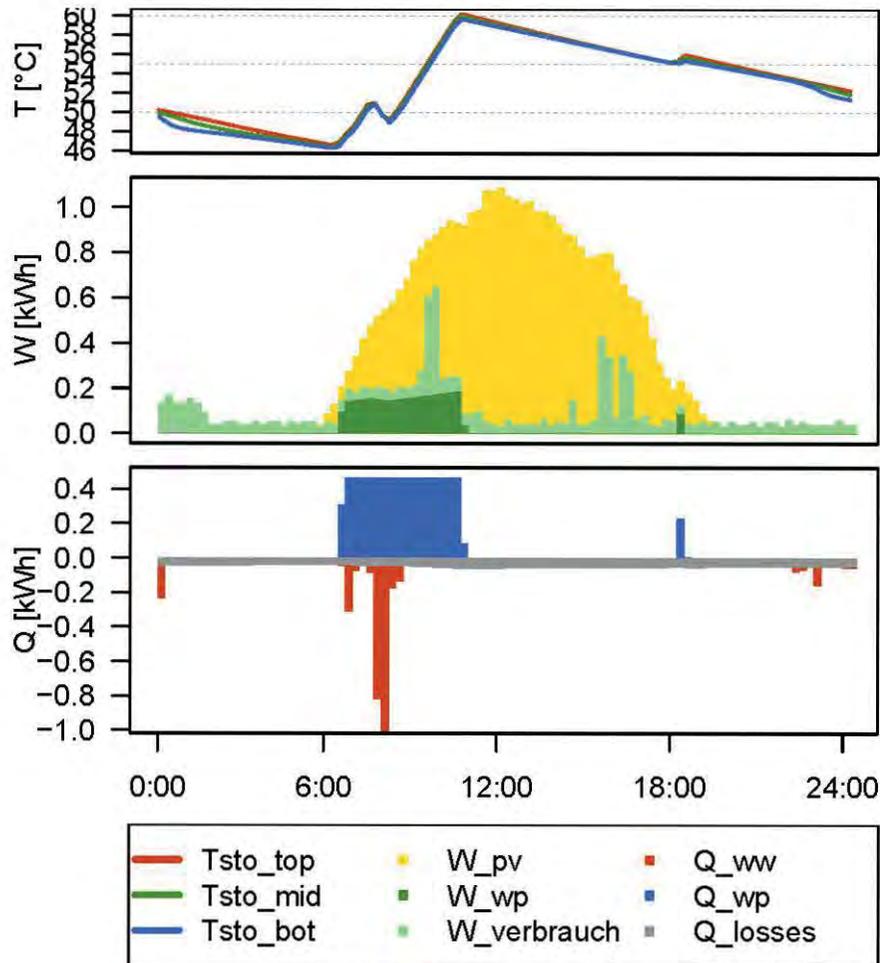
PV-WP-Systems ColSim Simulation

„Power2Heat“
„HeatShift“



PV-WP-Systems for Optimization of Self Consumption

PV-leded, „Heat Shift“



WPsmart im Bestand

Feldtest mit 100 Wärmepumpen und smarterer Regelung



Projektziele:

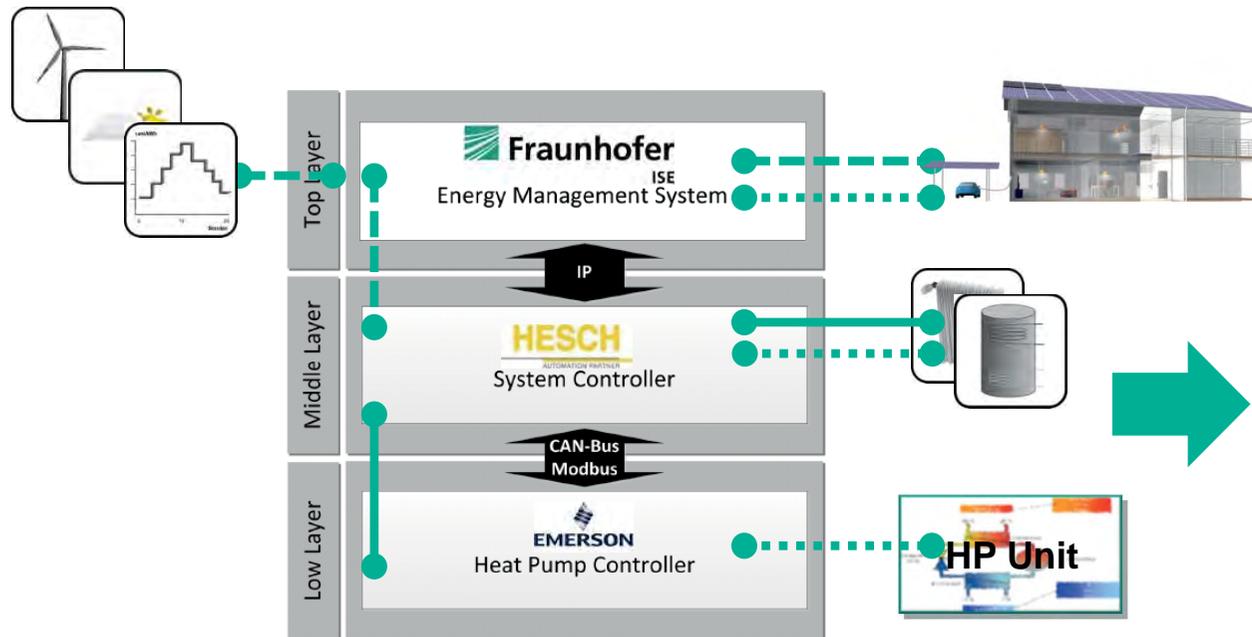
- Messtechnische Untersuchung von WPs in Bestandsgebäuden
- Potenzial von Wärmepumpen als Erbringer von Systemdienstleistungen

Partner: 100 Haushalte, 9 Wärmepumpenhersteller, 3 Energieversorger

Projektvolumen und Laufzeit: 2,3 Mio. €, 4 Jahre

Smarte Wärmepumpe

Projekt Green Heat Pump



- Nutzung von :
 - Signalen
 - Sensoren & Aktoren
 - Kommunikation
- Intelligenter Energy-Management-Algorithmus
- Hardware In the Loop tests im smart Energy Lab

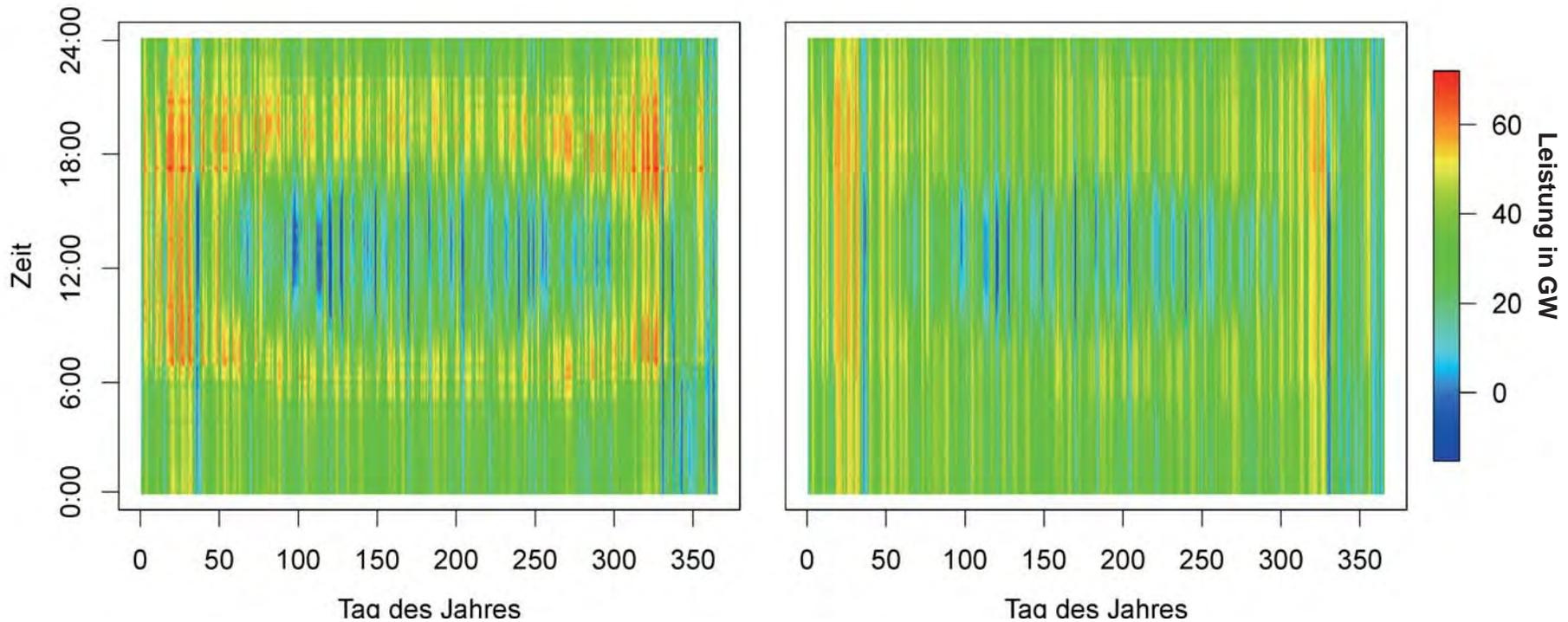


Thermisch Elektrisch geführte WP



thermal operation

electric thermal operation

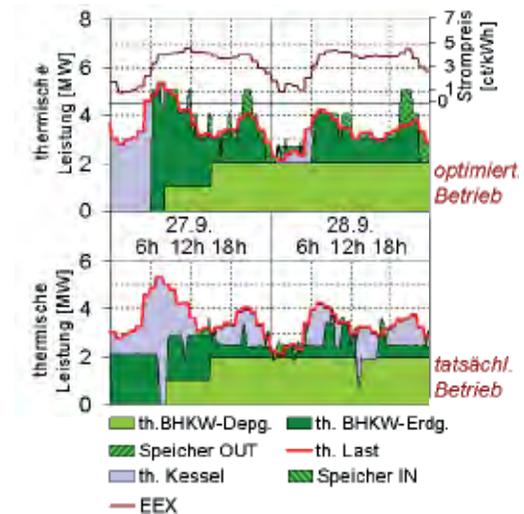
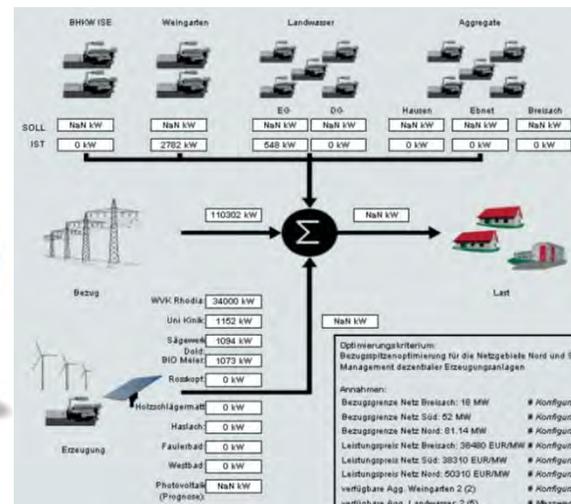
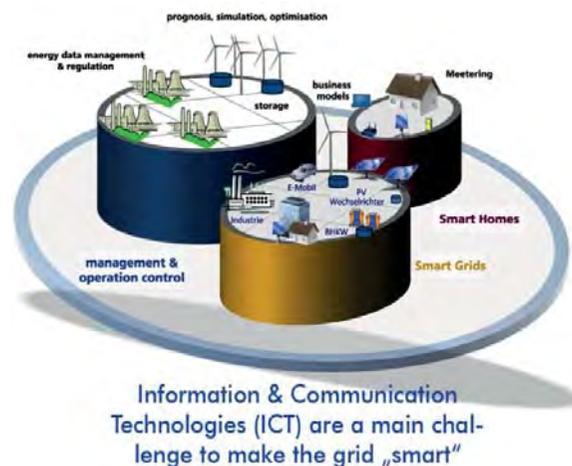


Nutzung von thermischen Speichern und Trägheiten

Smart Grids: »VIRTPLANT«

Betriebsführungsassistent für Energieversorger mit offenen Schnittstellen

- Betriebsführungsassistent für EVU/Leitwarte
- Automatisierte Betriebsführung eines flexibel konfigurierbaren Systems als virtuelles Erzeuger- und Verbrauchernetz
- Innovative IKT-Lösungen, Prognose-Algorithmen, Fahrplan-empfehlungen
- Energiewirtschaftliche Einbindung möglich

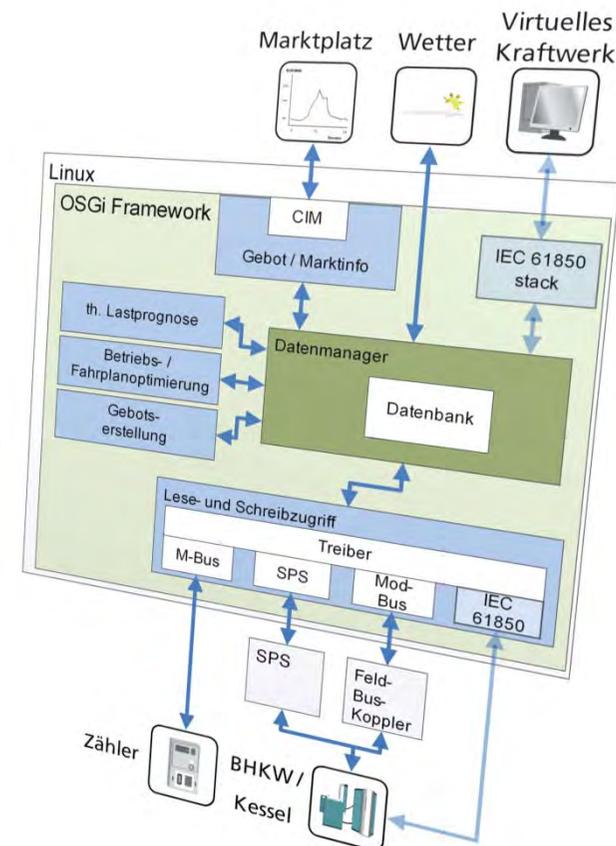


F&E Smart Grid Technologie

OpenMUC Energiemanagement Framework



- **Modulares Softwareframework** für dezentrale Energiemanagementsysteme (Java / OSGi) auf embedded Systemen
- Entwickelt und genutzt seit mehreren Jahren am Fraunhofer ISE
- **Kommunikationsgateway**, Monitoring, Steuerung, Optimierung, Prognosen, Lastverschiebung, Visualisierung
- Vielseitig einsetzbar. **Projekterfahrung:**
 - **DEMAX:** Multisparten-Metering (M-Bus), Steuerung KWK, Anbindung Back-Office
 - **eTelligence:** IEC 61850, Gateway regionale Marktplattform für erneuerbare Energien
 - **Hei-Phoss:** Home Energy Management mit PV-Batteriesystem
 - **Elektromobilität:** Intelligente Ladeinfrastruktur

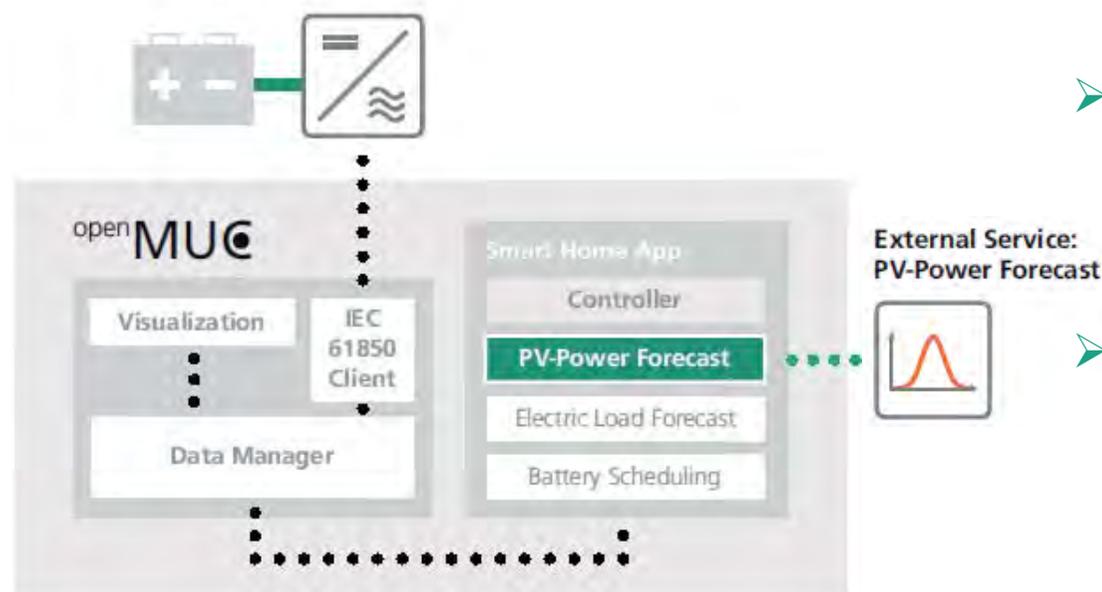


HeiPhoss

Energiemanagement Gateway

Steuerungsalgorithmen in Java/OSGi-basiertem Energiemanagement Framework OpenMUC implementiert

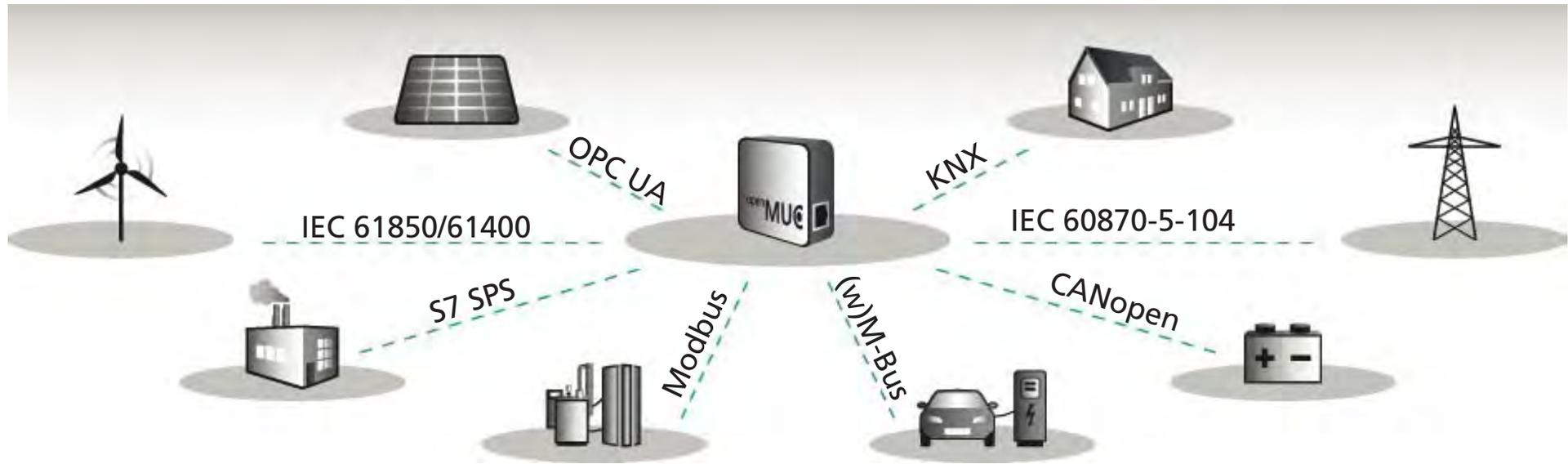
- Kommunikation des Fahrplans an Wechselrichter über IEC-61850 Protokoll



- Bei Abweichungen vom Fahrplan kann Wechselrichter autonom geeignete Maßnahmen ergreifen
- Ohne Gateway, rein eigenverbrauchsoptimierter Betrieb

Anlagenvernetzung mit OpenMUC

Unterstützte Kommunikationsprotokolle



Und mehr: eHz, IEC 62056-21, DLMS/COSEM, SNMP

EMS Gateways

Kommunikationsstandards zur Integration von EMS Systemen



Grid and Market:

- > IEC 60870 (Serial or TCP)
- > IEC 61970 CIM (TCP)
- > DNP V3.0 (TCP)
- > IEC 61850 sub-station/distributed generation (TCP)
- > Electronic Ripple Control (radio)

PV Plant Components:

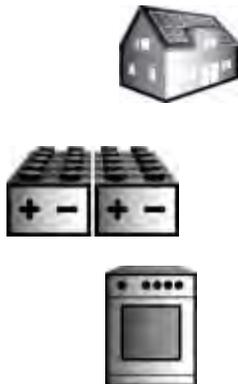
- > Modbus (Serial or TCP)
- > RS-485 (Serial)
- > Proprietary inverters protocols (Serial or TCP)



EMS

Local Energy Systems:

- > M-Bus (radio/wired)
- > ZigBee Smart Energy Profile (radio)
- > Konnex KNX
- > CANopen (CAN)
- > 6LoWPAN (radio)
- > LON
- > BACnet
- > EnOcean



Metering

- > M-Bus (radio/wired)
- > ZigBee Smart Energy Profile (radio)
- > Smart Message Language SML (Serial/TCP/Optical)
- > DLMS/COSEM IEC 62056-21
- > EDL21/SML
- > IEC 62056-21
- > OSGP
- > IEC 61107



Industry

- > OPC (TCP)
- > Modbus (Serial or TCP)
- > IEC 61131-3 (TCP)
- > Fieldbuses



Electric Vehicles

- > IEC 15118 (PLC)
- > CHAdeMO (CAN)
- > Open Charge Point Protocol (OCPP)



Fellbach ZEROplus Projektrahmen

ZEROplus
Fellbach

livinglab
BW^e mobil 
Unterstützt durch das Land Baden-Württemberg

schaufenster 
elektromobilität 
Eine Initiative der Bundesregierung



Förderung: BMVI
Projekträger: TÜV Rheinland
Laufzeit: 11/2012 - 06/2016
Volumen: 500.000 €

Projektpartner:
Stadt Fellbach
Brucker Architekten
5 Energieplushaushalte
Fraunhofer ISE

Fellbach ZEROplus

Eckdaten der Haushalte

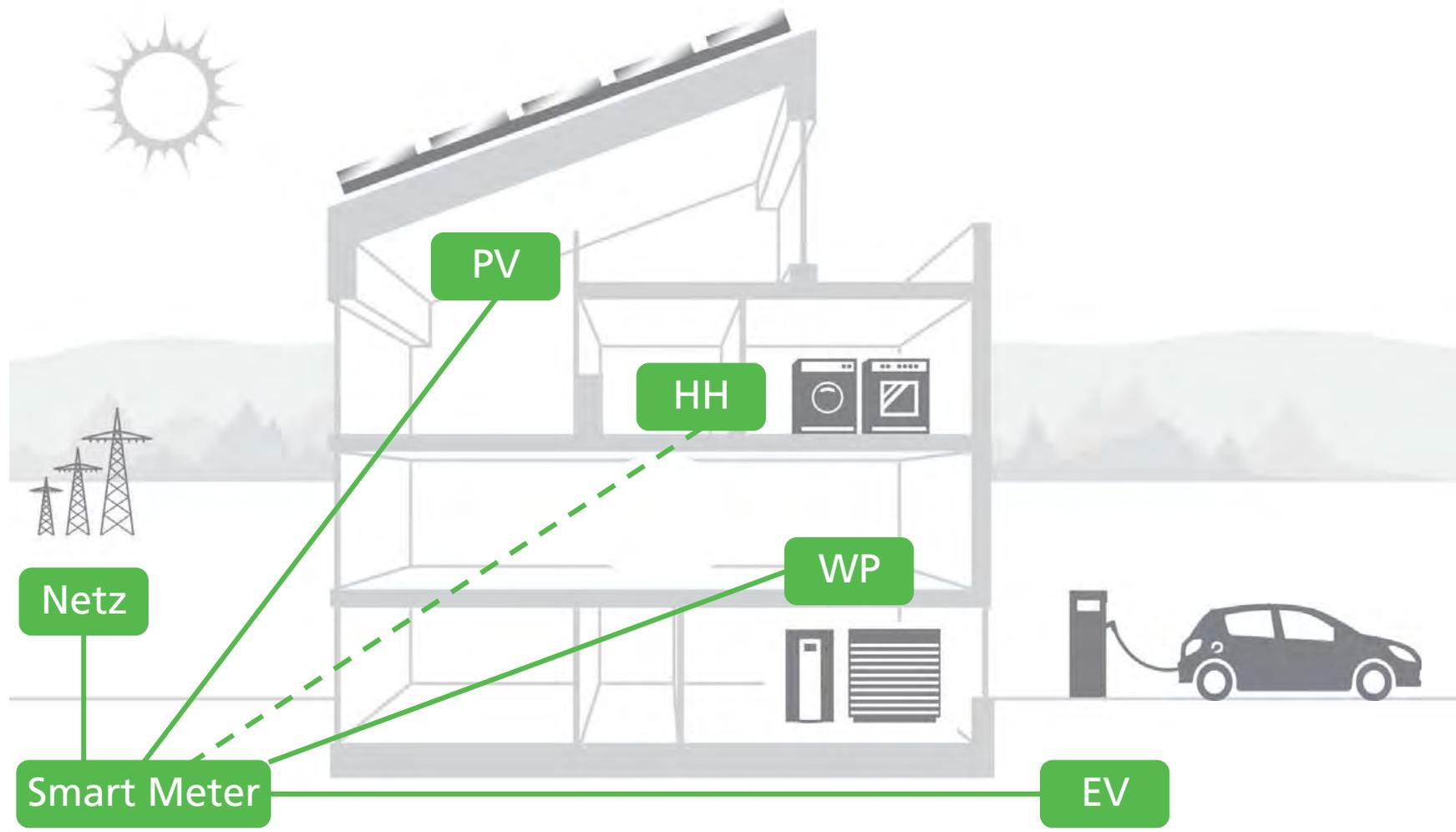
Pro Haushalt

- Wärmepumpe mit Heizstab,
180 l Wasserspeicher
- PV-Anlage mit 10 kWp
- Elektrofahrzeug
Batteriekapazität 22 kWh



Konzeption des Energiemanagementsystems I

Smart Meter

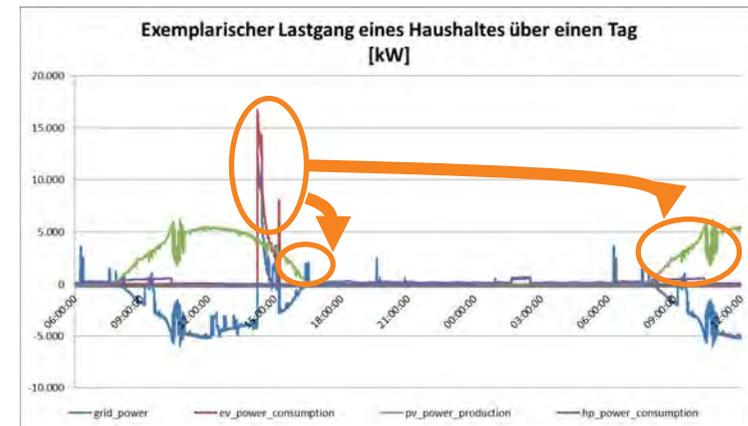


Projektreferenz Fellbach ZEROplus Smart Home und Elektromobilität

Entwicklung und Aufbau eines gesamtheitlichen Gebäude-Energie-Management-Systems für Einfamilienhäuser zur optimierten Ladung von Elektrofahrzeugen

Projekthinhalte

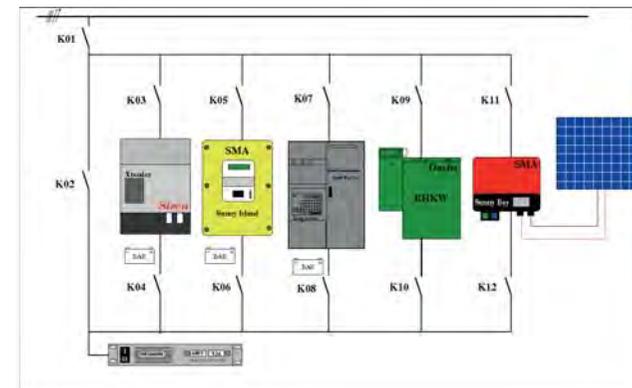
- Entwicklung intelligenter Ladepunkte für die Fahrzeuge im privaten Raum (AC, 22kW). Vernetzung von Wallbox und Heim-Energiemanagement.
- Konzeption und Bereitstellung eines Nutzerinterfaces für Haus-Energie-Management und Ladepunkt auf Android-Tablet. Akzeptanzstudie.
- Vorhersagebasierte Eigenstromoptimierung PV-Anlage, Lastverschiebung Wärmepumpen und Elektroautos.
- Interaktiver Feldversuch über 24 Monate mit unterschiedlichen E-PKW und Nutzungskonzepten (privat und Carsharing)



Entwicklungslabor für intelligente Gebäudeenergiesysteme



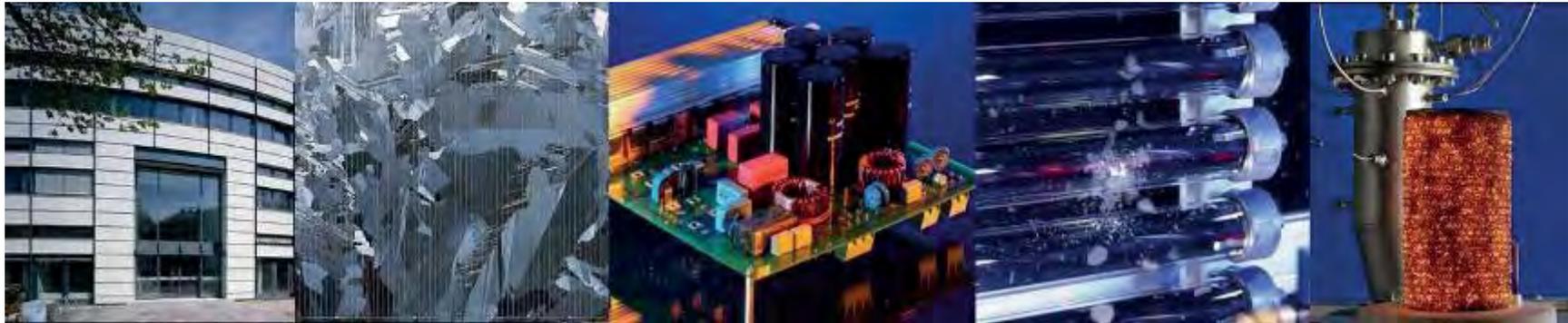
- Simulation von unterschiedlichen »Smart Home«-Typologien
- Inselnetzbetrieb, PV-, Solarthermie, Mikro-KWK und weitere Einspeisung (Hardware-in-the-Loop-Betrieb)
- Kombination von thermischen und elektrischen Systemen (Erzeuger, Speicher, Verbraucher) mit intelligenten Messsystemen
- Einbindung eines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



Fazit

Aggregation von dezentralen Flexibilitäten für den Energiemarkt

- Die Sektoren im Energiesystem werden zunehmend integriert, dabei werden zentrale und dezentrale Energiesysteme relevant sein
- Erneuerbare Energien Wind und PV sind nicht steuerbar und nur über Prognosen in den Energiemarkt zu integrieren; Lokale Speicherung könnte den Effekt etwas reduzieren (PV-Batterie, Wind-H2, etc).
- Netz und Markt erfordern zunehmend Flexibilitäten, die als elektrische und thermische Speicher schon heute zur Verfügung stehen
- Die Aggregation dezentralen Flexibilitäten gestattet einen einfacheren Marktzugang, da die Akteure die IT-Einbindung der Systeme organisieren;
- Einfache flexible Tarifsysteme können Erzeuger-, Speicher und Lastgruppen ebenfalls aggregieren, IT Aufwand gering
- Auch cloud-basierte Dienste erfordern eine dezentrale EMS-Instanz, die den lokalen Zugriff auf die Flexibilitäten bereitstellt



Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer, Fraunhofer ISE
christof.wittwer@ise.fraunhofer.de

www.ise.fraunhofer.de