
VIRTUELLES INSTITUT (VI) „TRANSFORMATION – ENERGIEWENDE NRW“

Intersektorale Transformation des Energiesystems
Megatrend: Digitalisierung, Smart Grids



Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer
Abteilung Intersektorale
Energiesysteme und
Netzintegration

Fraunhofer Institute for Solar
Energy Systems ISE

Donnerstag, 8.3.2018
ifo-Institut, München

www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

Auf einem Blick



Fraunhofer ISE

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

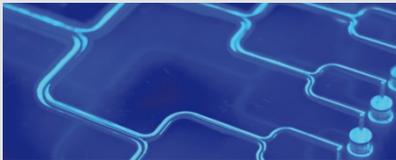
Mitarbeiter: ca. 1160
HH 2017: 75 Mio. EUR
Gegründet: 1981



Photovoltaik



Solarthermie



Gebäudeenergietechnik



Wasserstofftechnologien



Energiesystemtechnik

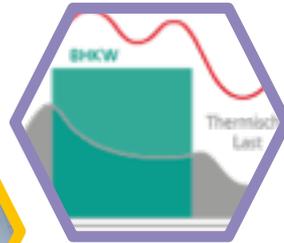
Intersektorale Energiesysteme und Netzintegration IEN

Forschungsthemen

Power Grids and Energy Management

Dr. Bernd Wille-Haussmann

Smart Grids, Power Grid Simulation
State Estimation; Grid Integration;
Energy Management (thermal and
Electrical); Optimal Power Flow
Smart Energy Lab



Energy System Analysis

Dr. Thomas Schlegl

Regional and national/european modeling
of energy systems. technology evaluation.
Energy markets, business models



Smart Energy Cities

Gerhard Stry-Hipp

Regional Modeling of Intersectoral Energy Systems

Regional Energy Concepts, User Acceptance, User
Behaviour, Smart City Demonstration projects

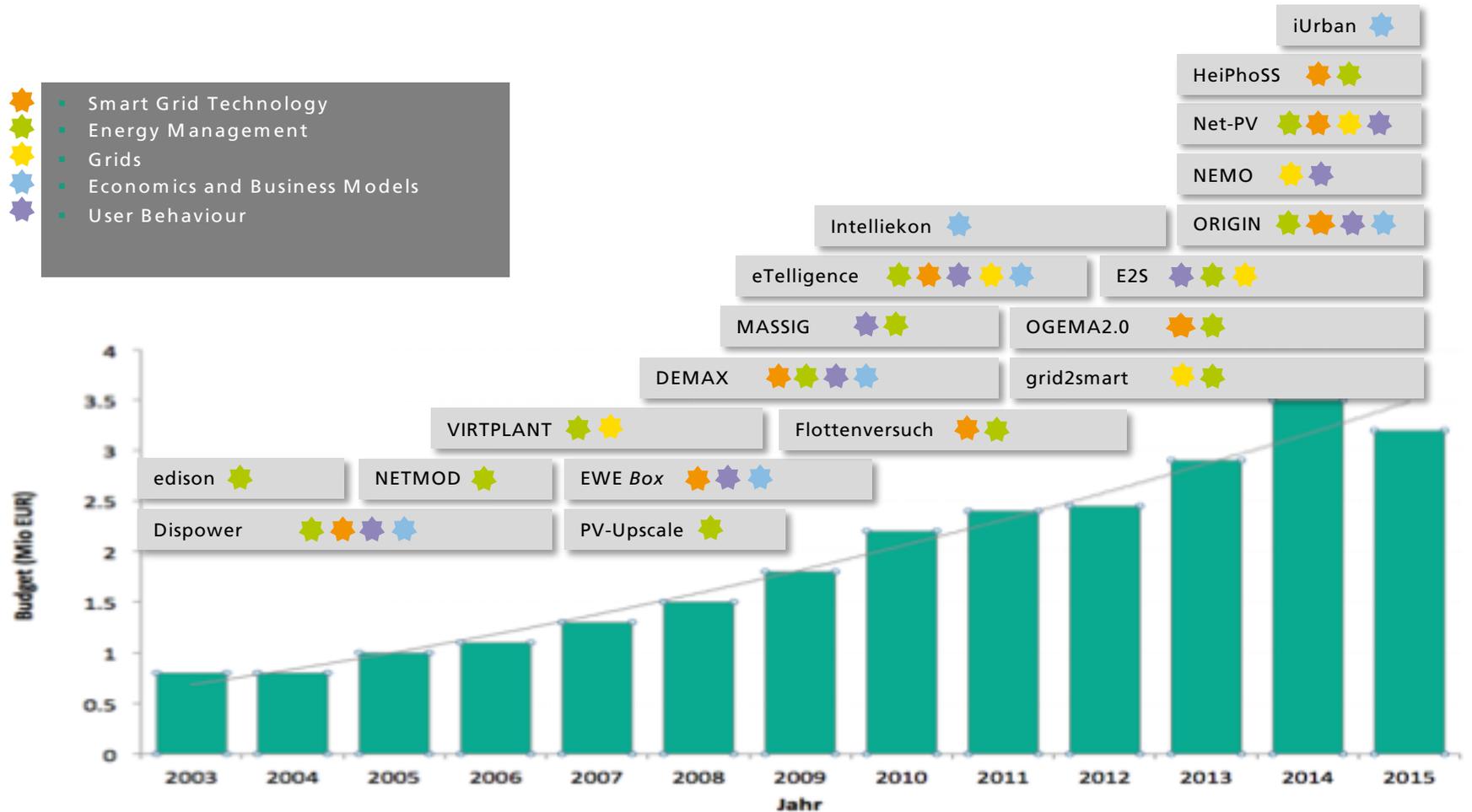
Smart Grids Technology

Dr. Robert Kohrs

ICT Solutions for Smart Grids, Grid
Integration and Energy Management

Smart Grids

Forschungsprojekte am Fraunhofer ISE



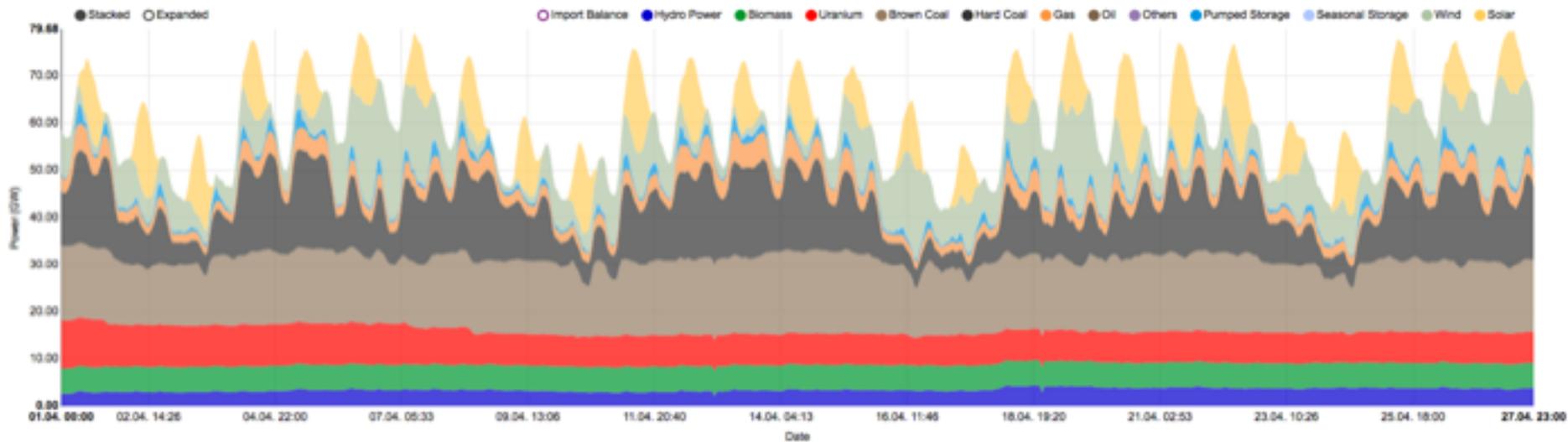
Intersektorale Transformation des Energiesystems, Digitalisierung

Agenda

- Systemanalyse, Monitoring
- Transformation und Integration Erneuerbare Energien
- Optionen für die Energiewende, Partizipation, dezentrale und zentrale Konzepte, Rolle der Digitalisierung
- Netzintegration, Speicher, Flexibilität, Digitalisierung
- Forschungsprojekte BMWI-SINTEG und BMBF-Kopernikus
- Forschungsprojekte zu smarten dezentralen Energiesystemen, Digitalisierung, Partizipation und Reallaboren
- Ausblick

Stromerzeugung, Zubau von Erneuerbaren Energien

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

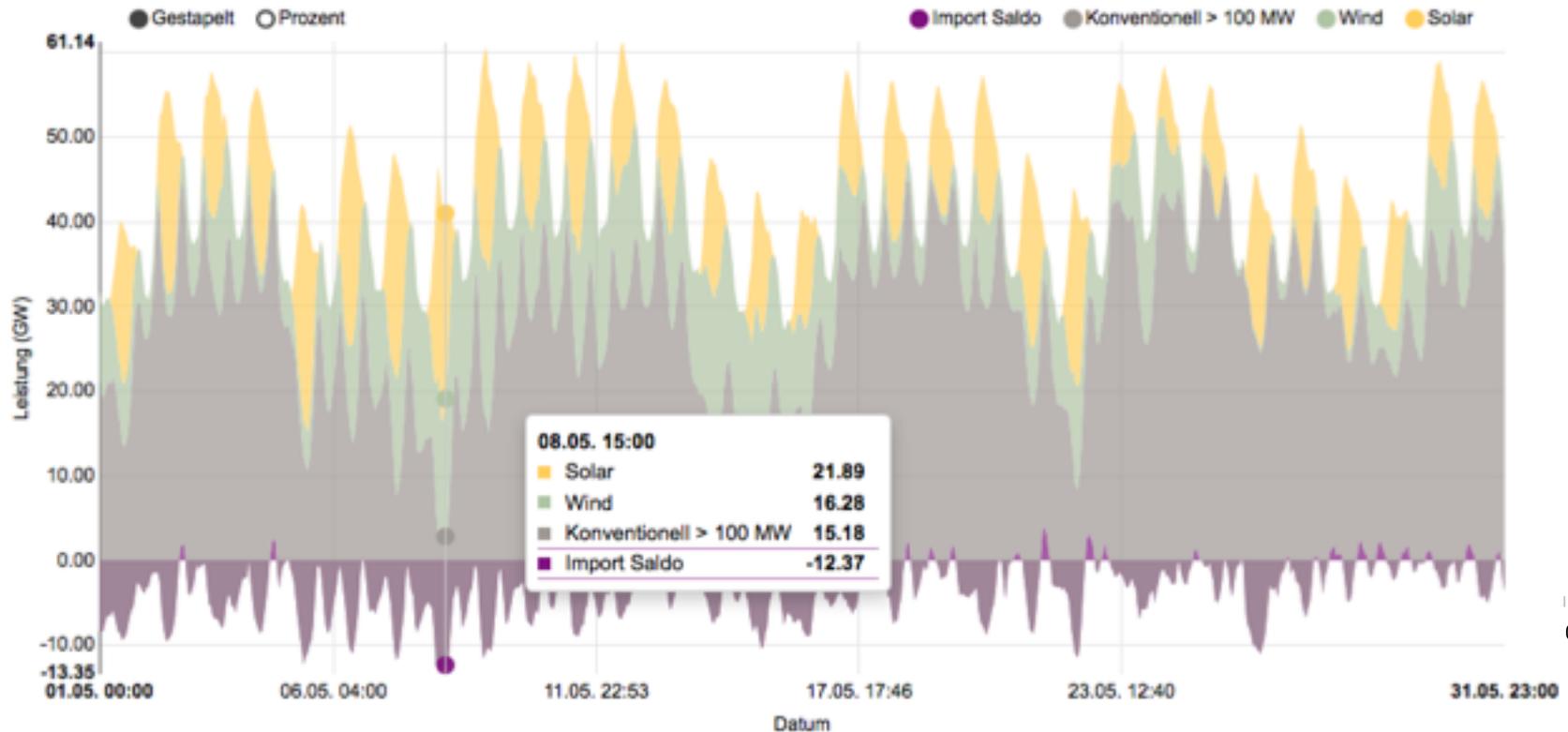


[Fraunhofer ISE: Bürger
Energy-Charts; April 2016]

- EEX-Transparency. Voraussetzung Transparenz (Betrieb und Markt)
- Erzeugung im Netz, Volatilität

Stromerzeugung

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

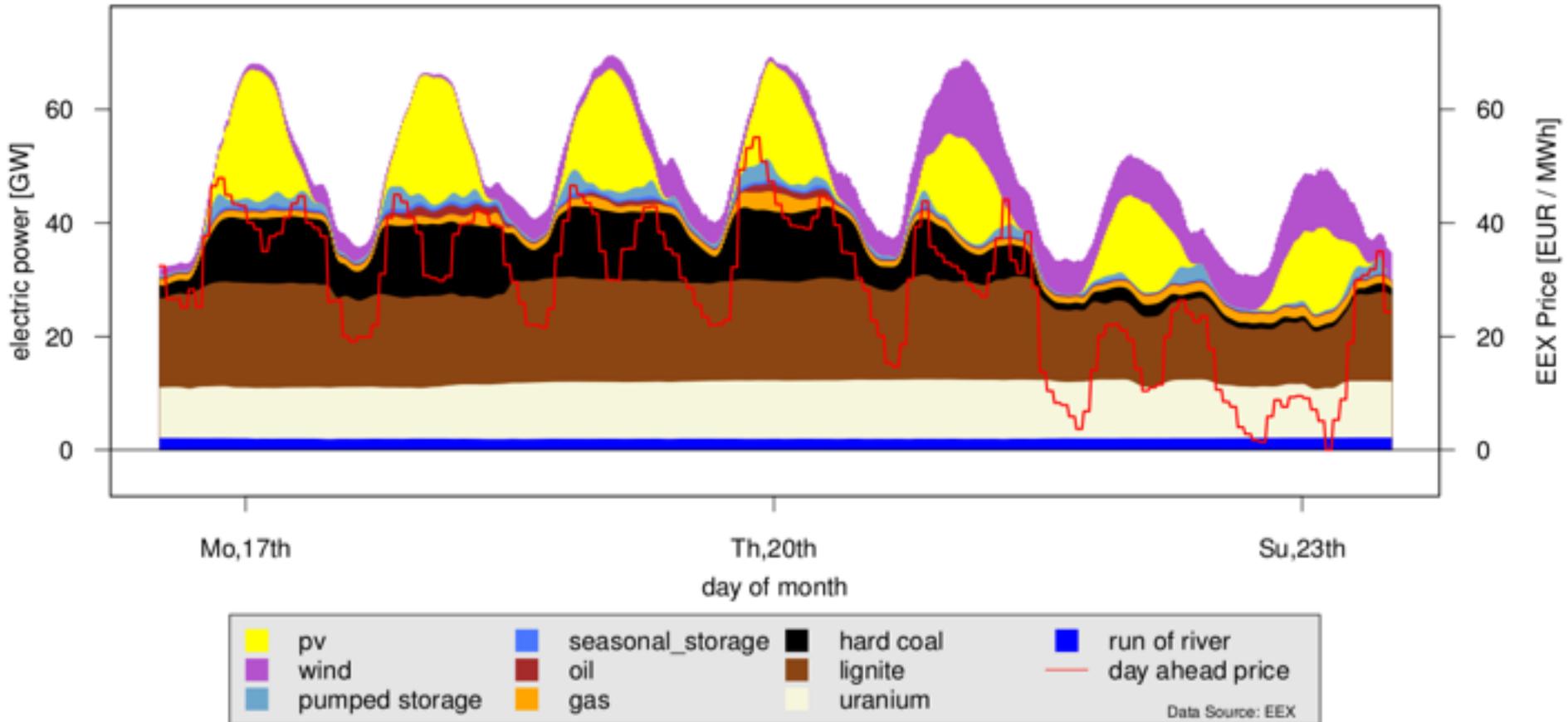


irger
016]

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

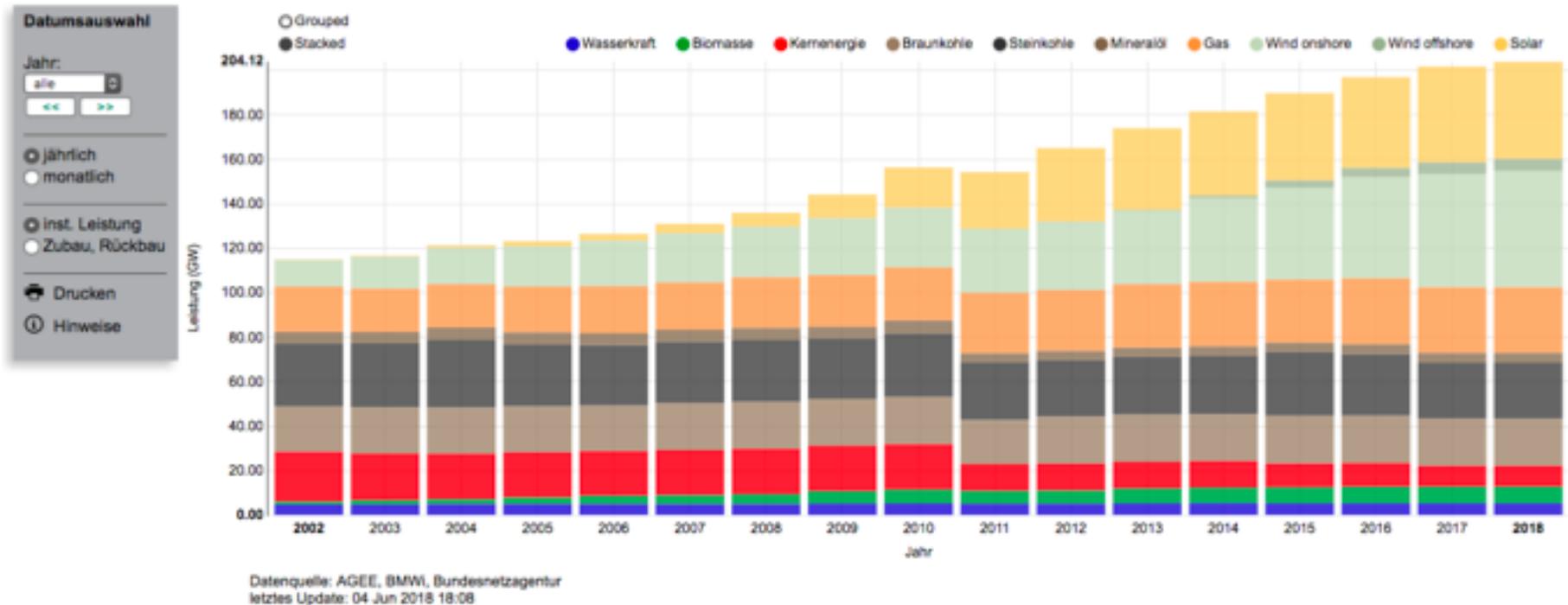
german electricity generation & price – June 2013 , calendar week: 25



Stromerzeugung

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

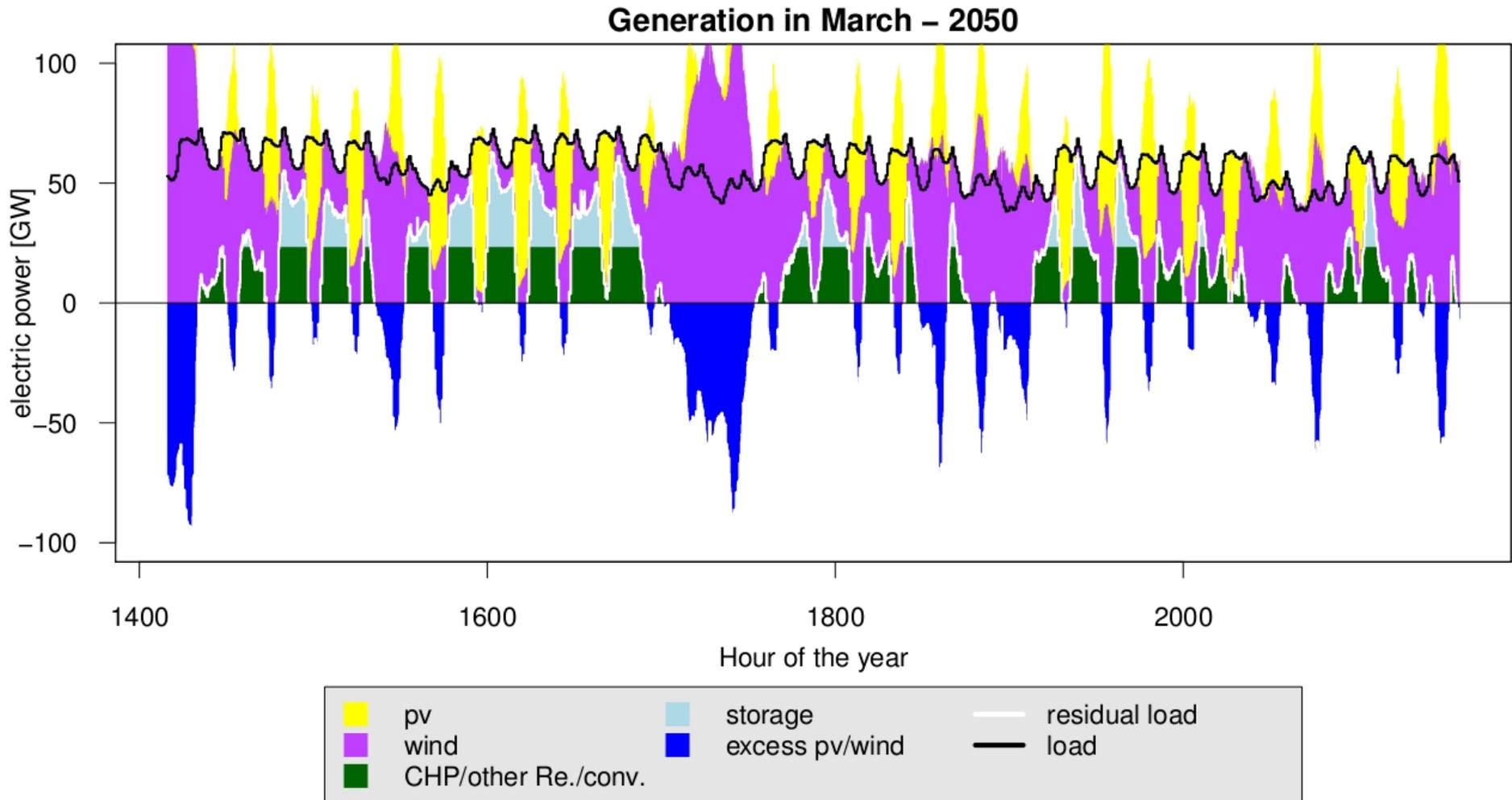
Installierte Netto-Leistung zur Stromerzeugung in Deutschland



- EEX-Transparency
- Erzeugung

Generation Scenario 2050

100% EE- Szenario, PV, Wind



Residuale Last: EE-Einspeisung kompensiert Last

Speicherbedarf

- Last 40 GW to 80 GW

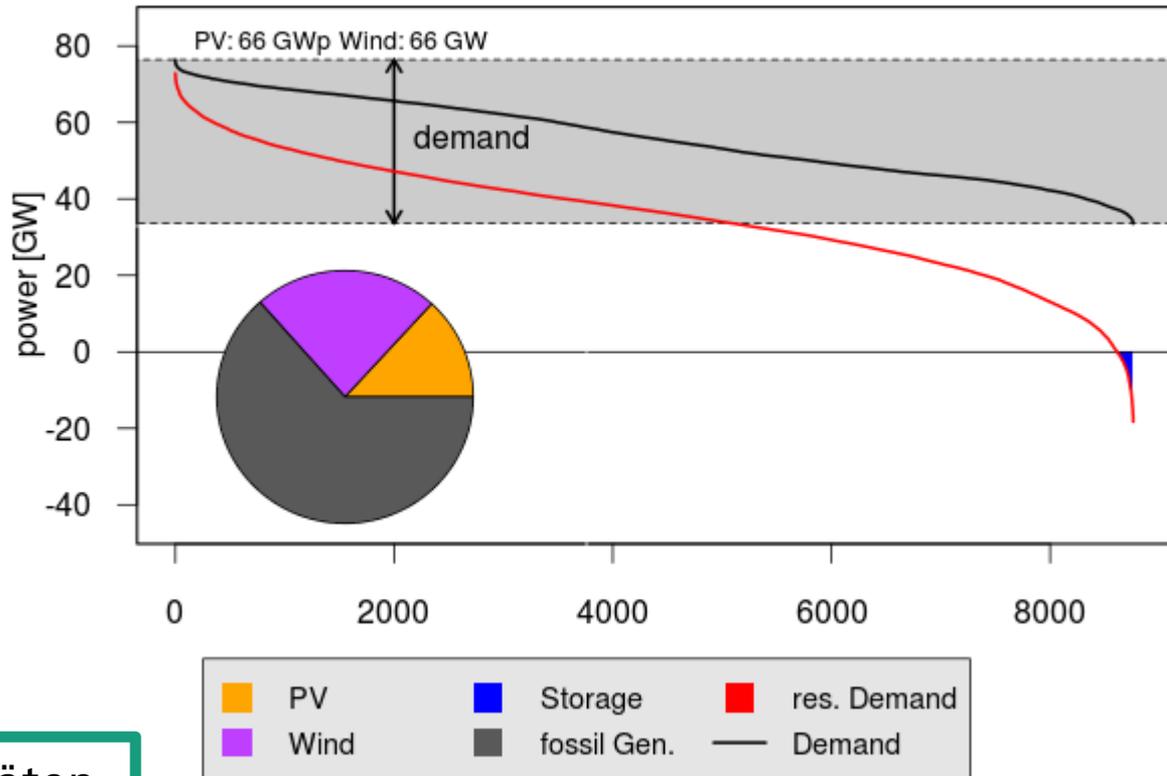
- Residuallast:

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

- Ab ca. 40% EE gibt es Speicherbedarf

- Residuale Last wird negativ

Szenario 2030: Leitstudie 2010 Szenario B



▶ Speicher und Flexibilitäten erforderlich

Studien zur sektorenggekoppelten Transformation

Arbeiten am Fraunhofer ISE



Überlegungen zur Optimierung eines integrierten Energiesystems

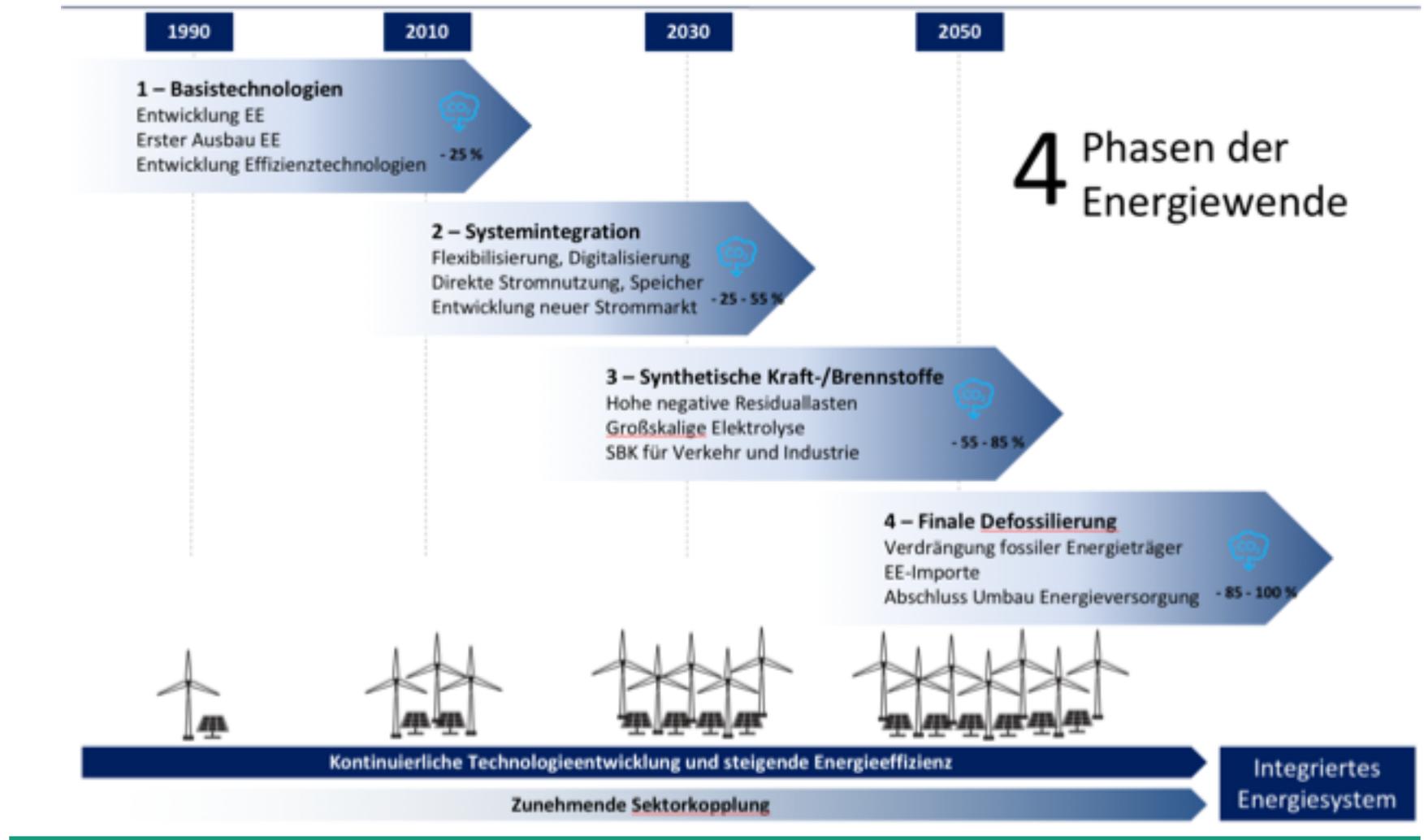
Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Prof. Dr. Eberhard Umbach

FVEE Jahrestagung
08. November 2017

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
acatech – Deutsche Akademie der Techniswissenschaften
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Zentrale Ergebnisse aus ACASYS/ESYS Studie

Phasen der Energiewende



Zentrale Ergebnisse und Erkenntnisse

ACASYS/ESYS Studie: Integriertes Energiesystem

- direkten Stromnutzung (E-Mobilität, Wärmepumpen)
- Kontinuierlicher Ausbau der Erneuerbaren und der Netze
- Erforschung, Weiterentwicklung und Erprobung von Schlüsseltechnologien der indirekten Stromnutzung (Wasserstoff Wandlung für industrielle Prozesse)
- **Kritisch:** aufgrund der Lebensdauer von Technologien und Infrastrukturen (Kraftwerke, Fahrzeuge, Heizkessel) sowie Planungs- und Investitionszeiten drohen langfristige „**Lock-In-Effekte**“ (Wechselkosten)

Handlungsempfehlungen

- Wirksames, alle sektoren-übergreifendes Preissignal für CO₂-Emissionen, bestehende System an Steuern, Abgaben und Umlagen reformieren, um Verzerrung bei Sektoren zu reduzieren
- Regulative Vorgaben wegen des Marktversagens additiv erforderlich, z.B. Diskrepanz langfristigem Nutzen, kurzfristige Rentabilität
- Optional: Reform EU ETS auf alle Sektoren mit Preiskorridor, Reform Abgaben, Umlagen und EEG

Für langfristige Investitionen in klimafreundliche Technologien ist eine hohe **Planungssicherheit** entscheidend → **Verbindlichkeit der Klimaschutzziele** wichtig!

Regenerative Energien Modell – Deutschland »REMod-D«

Minimierung der Transformationskosten →

Stromerzeugung und -speicherung



Brennstoffe (inkl. Biomasse und Power-to-Gas/Fuel)



Struktur eines Energiesystems mit dominantem Anteil erneuerbarer Energien

- Alle Verbrauchs-sektoren
- Stundengenaue Modellierung



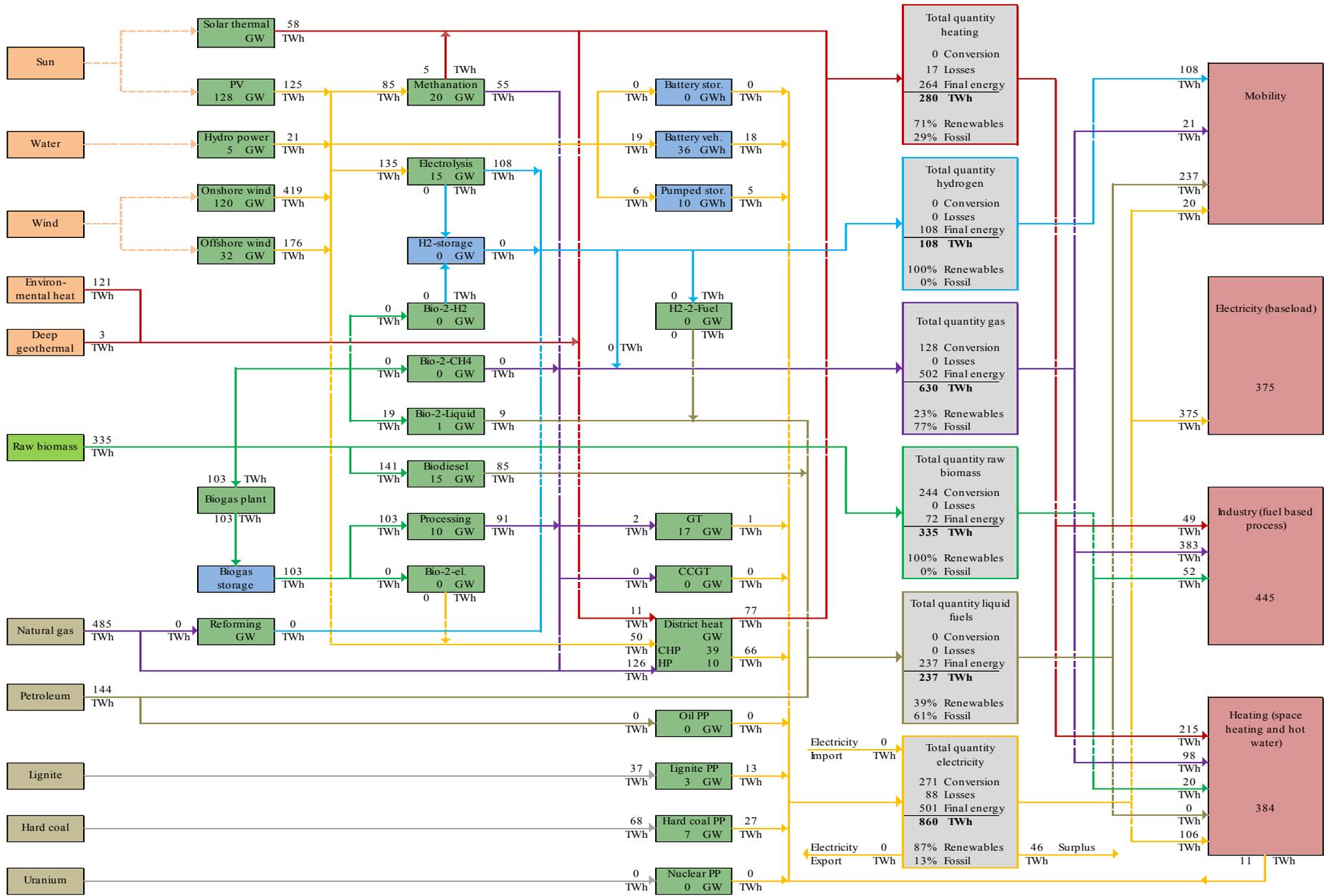
Verkehr (unterschiedliche Antriebskonzepte)



Wärme (Gebäude, inkl. Fernwärme und Speicher)



Prozesse in Gewerbe und Industrie



Renewable energy sources	Renewable raw materials	Primary fossil energy carrier	Energy conversion	Storage	Consumption sector	Hydrogen	Raw biomass	CO2 emissions 1990 (reference year)	990 Mio t CO ₂
						Heat	Liquid fuels	CO2 emissions	196 Mio t CO ₂
						Gas	Electricity	CO2 reduction related to 1990:	80%

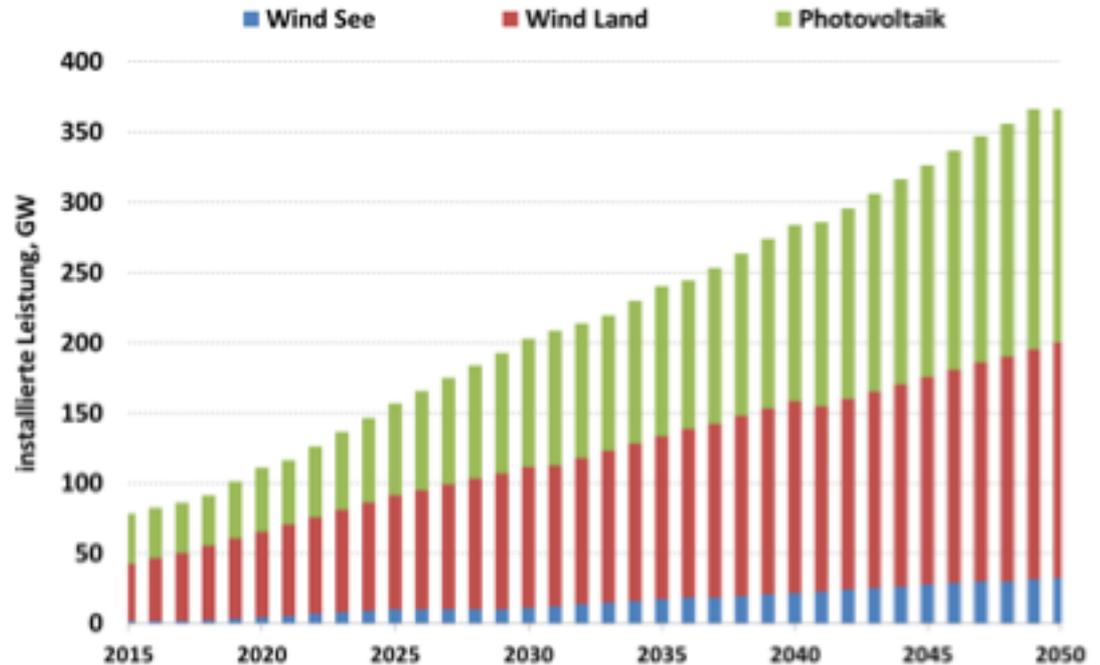
Entwicklung fluktuierende erneuerbare Energien – 85%-Szenario, EE Ausbau

Installierte Leistung in 2050

Wind See 33 GW (~20*heute)

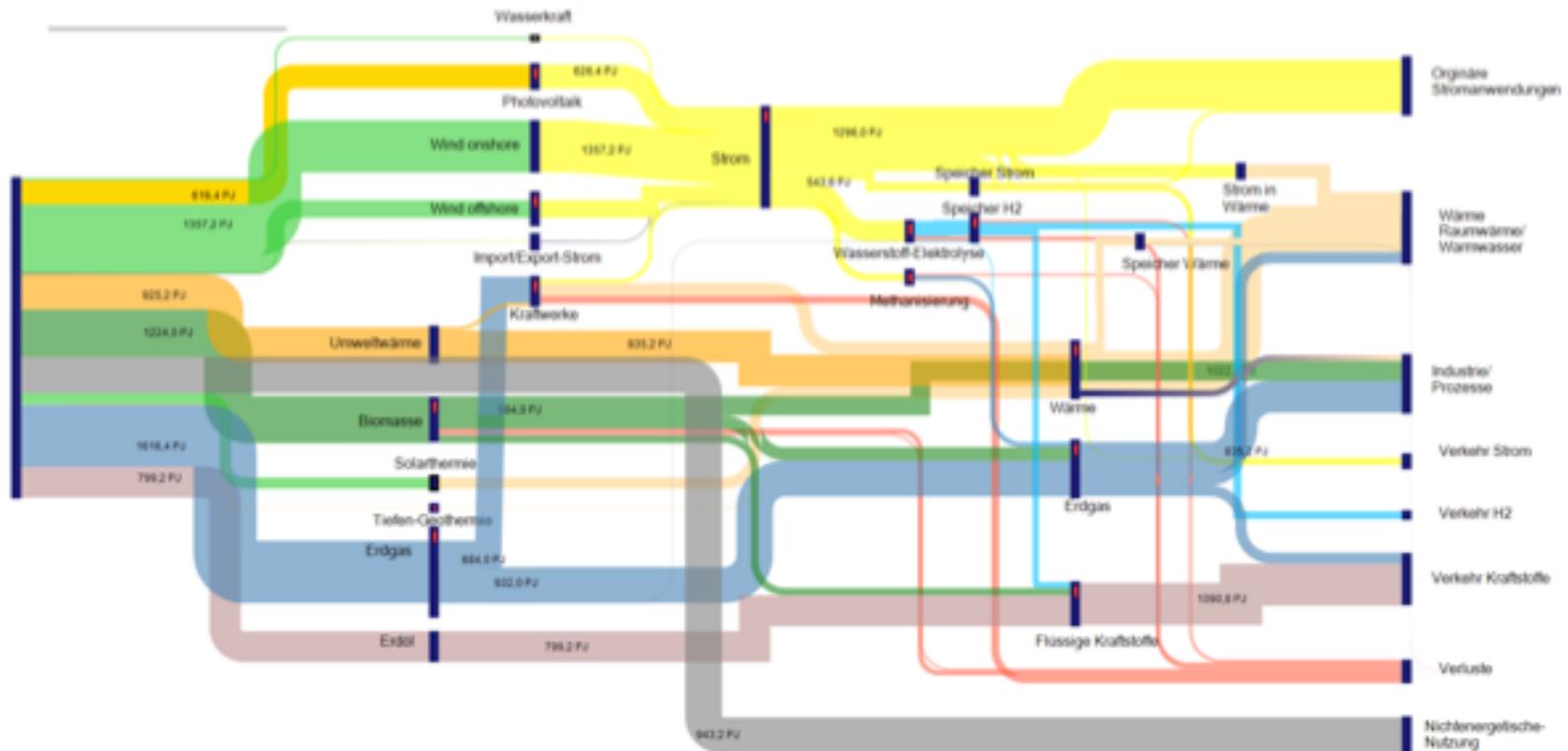
Wind Land 168 GW (~4.5*heute)

Photovoltaik 166 GW (~4.2*heute)



Energiefluss 2050

85-%-Szenario

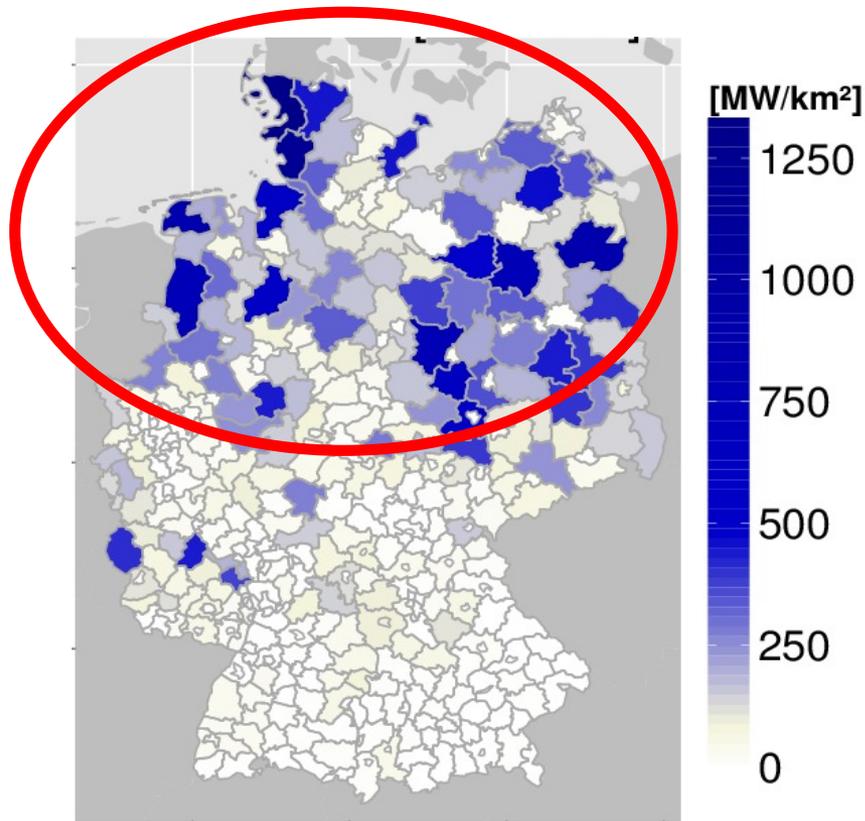


Gesamteffizienz Primärenergie – Nutzenergie > 60 % (heute: < 40 %)

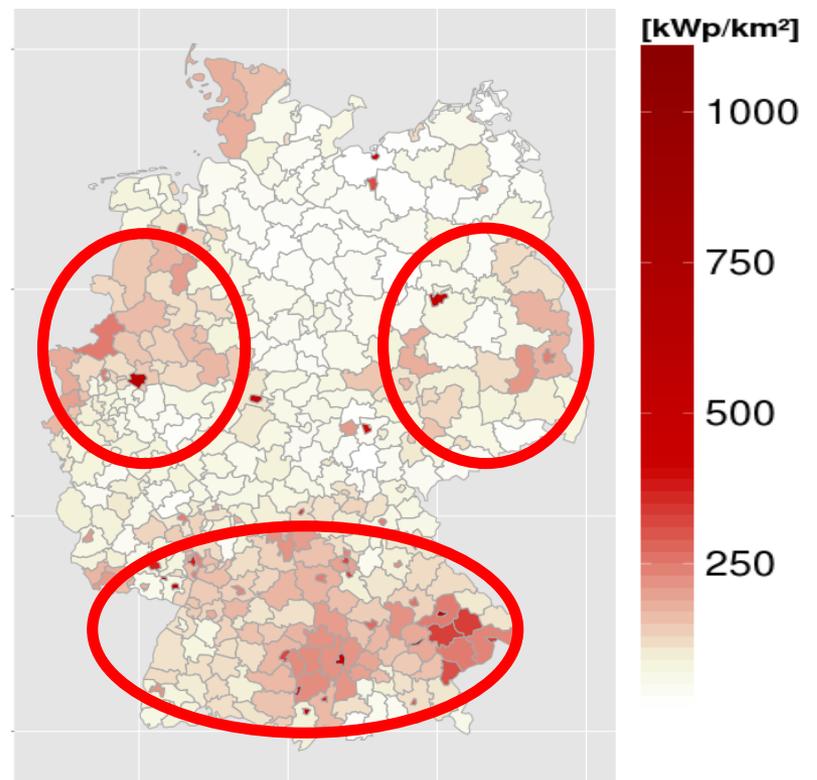
Übertragungsnetz, Netzausbau

Heterogene Verteilung von Wind und PV

Wind



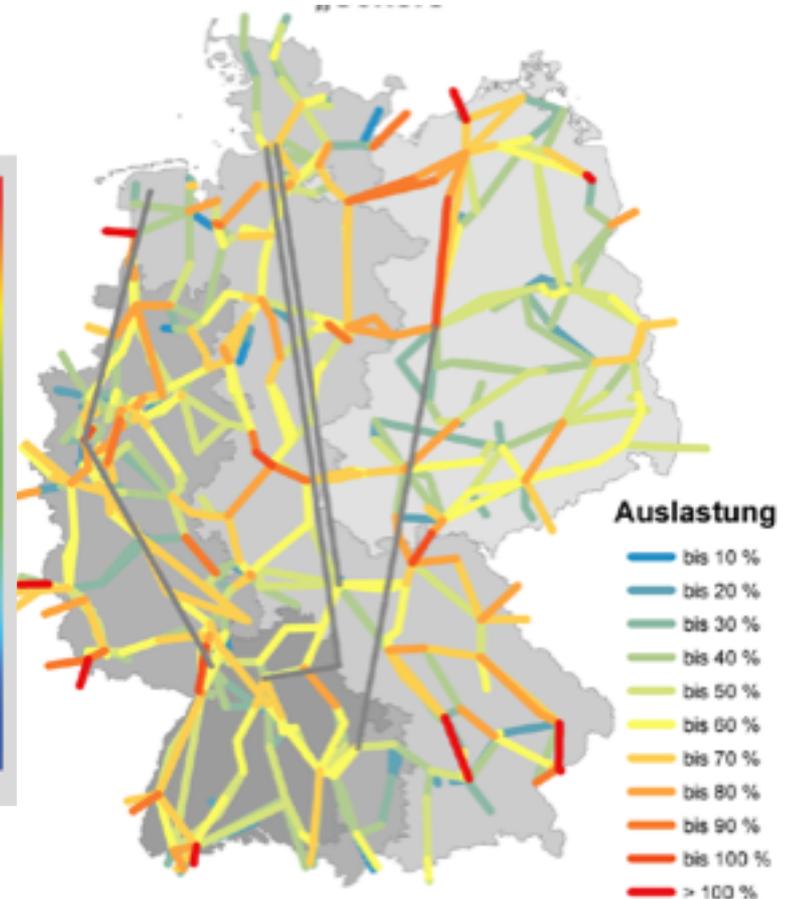
Photovoltaik



Graph S. Killinger, Fraunhofer ISE; data: Bundesnetzagentur

Netz und Energieverteilung

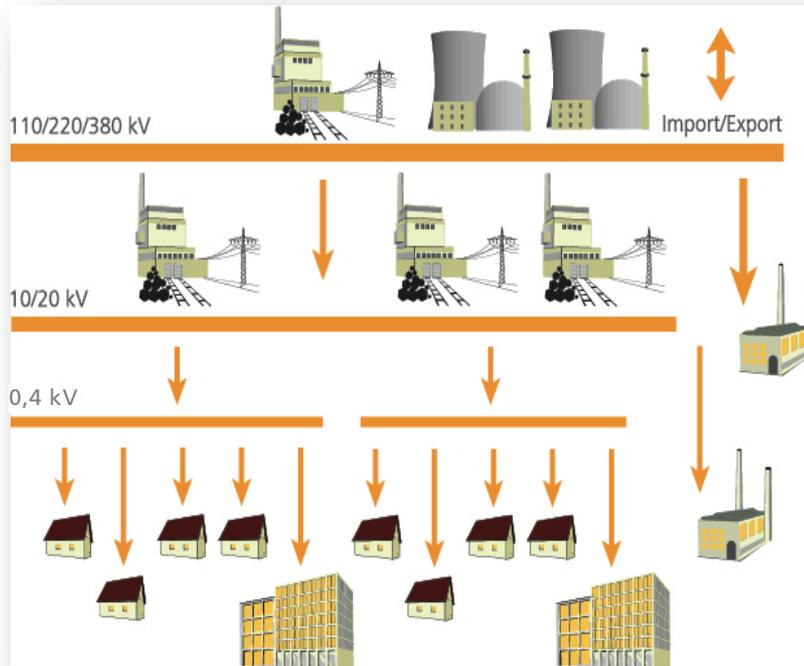
Verteiler- und Übertragungsnetze, Ausbau und Intelligenz



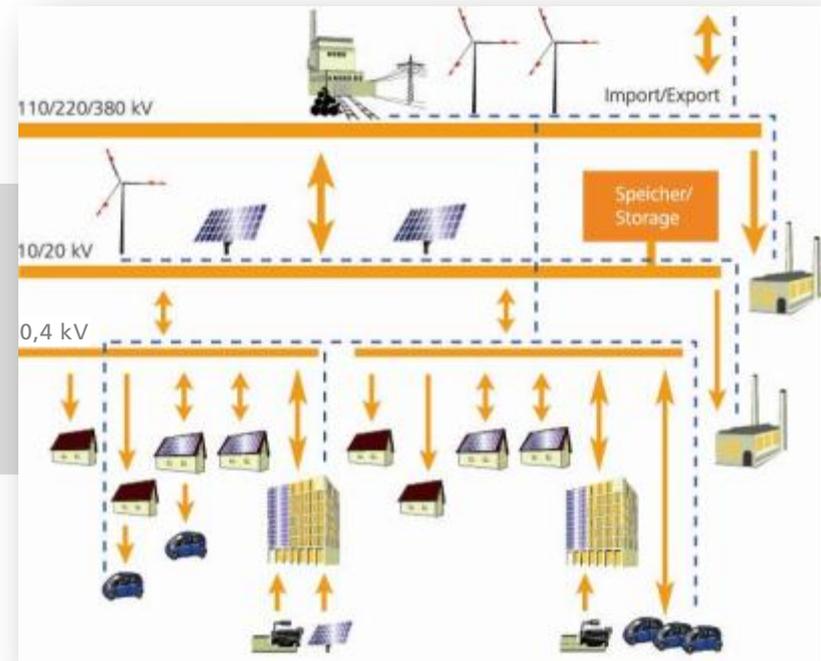
- Netzsimulation im Verteilnetz
- Netzsimulation im Übertragungsnetz

Smart Grids, Netzintegration

Verteiler- und Übertragungsnetze, Digitalisierung



Gestern



Heute und Zukunft

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

C/sells – Das Energiesystem der Zukunft

BMW-SINTEG-Csells Projekt



- BMWi-gefördertes Demonstrationsprojekt im Rahmen von SINTEG
- 100 Mio. € Gesamtprojektvolumen
- Laufzeit 01.01.2017 – 31.12.2020
- Größtes SINTEG-Schaukasten, Reichweite ca. 30 Mio. BürgerInnen
- 56 Partner aus Industrie, Netzwirtschaft, Wissenschaft, Wirtschaft
- Konzept: Zellulär, Partizipativ, vielfältig
- Perspektive RIZ: „Regulative Innovationszonen“

C/sells | 3. Trinationaler Energiekongress | 23.11.2017 | Mulhouse

C/sells – Das Energiesystem der Zukunft

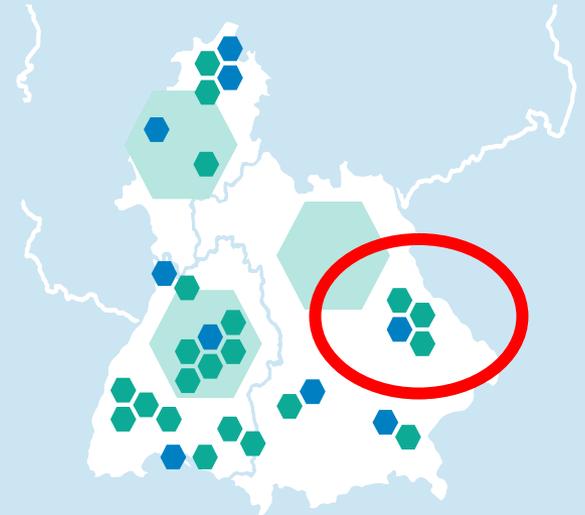
BMW-SINTEG-Csells Projekt

C/sells-Lösungsansatz

- Zellulär
- Partizipativ
- vielfältig

C/sells Basis-Instrumente

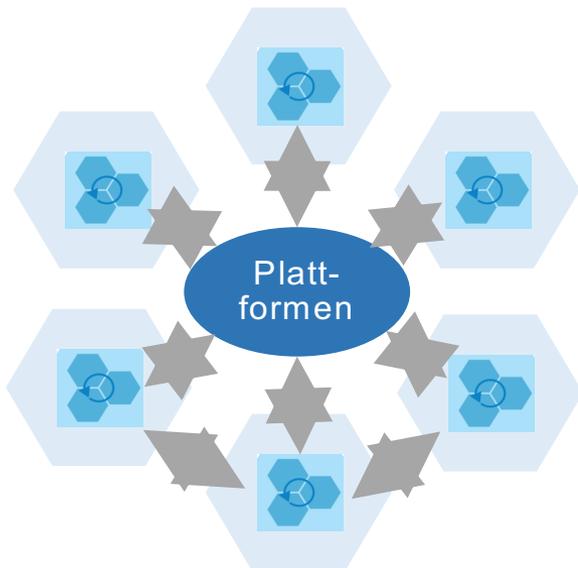
- Infrastruktur-Informationssystem (IIS)
- Abstimmungs-kaskade
- Regionalisierter Handel mit Energie und Flexibilitäten



C/sells – Das Energiesystem der Zukunft

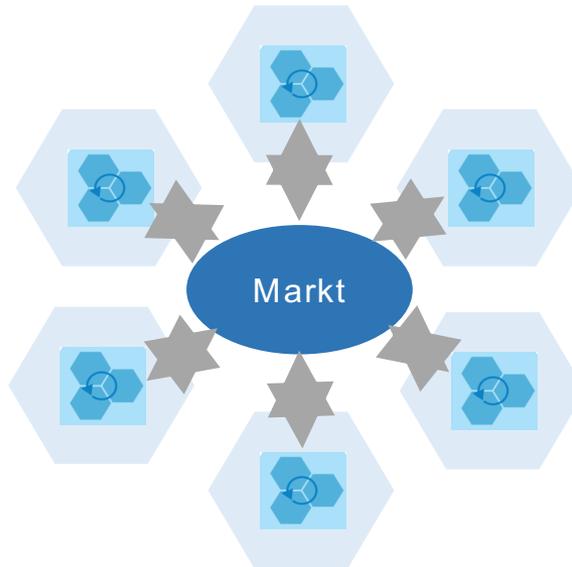
BMW-SINTEG-Csells Projekt

Regionaler marktdienlicher Handel



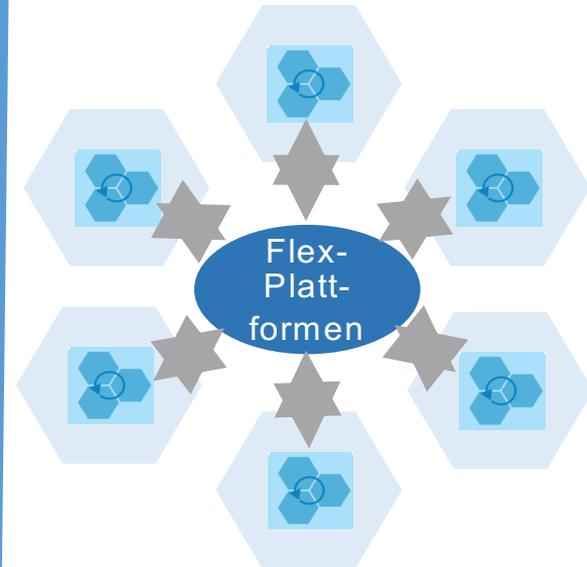
Plattform für regionalen Handel
(Entwicklung & Erprobung).

Zentraler Handel marktdienlich oder systemdienlich



Sektorenübergreifende Optimierung
in Quartierszellen.

Netzdienlicher Handel



Marktbasiertes Netzengpassgmt.
(Entwicklung & Erprobung).

C/sells – Das Energiesystem der Zukunft

Projektansatz, RIZ

- Wir können die Handelsplätze nur beschränkt ausprobieren, da die SINTEG-Verordnung nur eine „Erstattung wirtschaftlicher Nachteile aufgrund der Projektstätigkeit“ regelt (vgl. § 1 SINTEG-V). Ausgleich von wirtschaftlichen Nachteilen setzt keine Anreize zur Bereitstellung von Flexibilität => Regulative Innovationszone RIZ einführen
- Präferenzen spielen neben der Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle, aber **Ökostromprodukte und Herkunftsnachweise** sind zu komplex und intransparent für den Massenmarkt => **Vereinfachen!**

C/SELLS

Die Energiewende für alle

Die Energiewende lädt zum Mitmachen ein:
In Zukunft können mehr Menschen als bisher von den erneuerbaren Energien profitieren. Ökologisch und auch wirtschaftlich.

C/SELLS

Intelligente Netze für optimale Energieverteilung

Energie aus erneuerbaren Quellen steht dank Smart Grids zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort zur Verfügung.

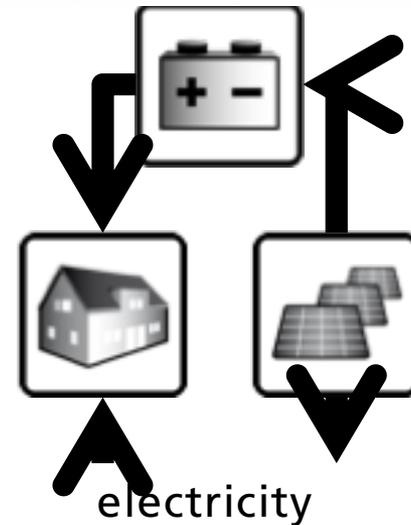
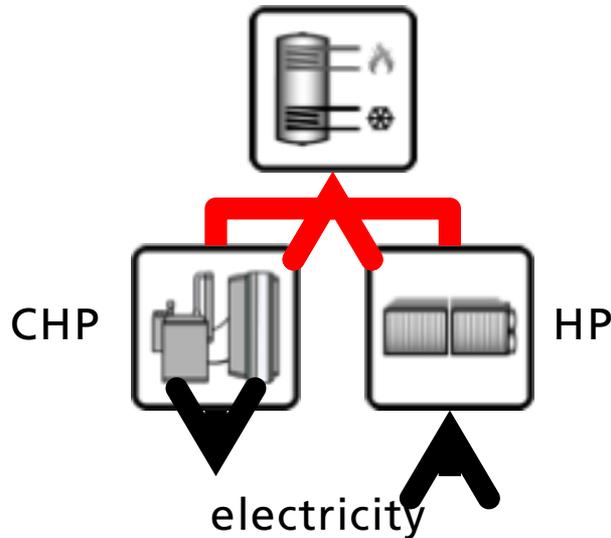
BMBF-Kopernikus

eNavi: Energiewende-Navigation



- BMBF-gefördertes Programm mit 4 Konsortien
- eNavi zur Systemintegration mit Schwerpunkt transdisziplinärer Ansatz
- Intersektorale Transformations Szenarien
- Digitalisierungskonzepte, Block-Chain und Agenten
- Schwerpunktthemen mit Bezug zu praxisnahen Transformationsoptionen im Bereich Stromproduktion, Smarte Wärme und Verkehrsdekarbonisierung

Dezentrale Flexibilitäten, Digitalisierung BHKW/WP und thermische Speicher; Batteriesysteme

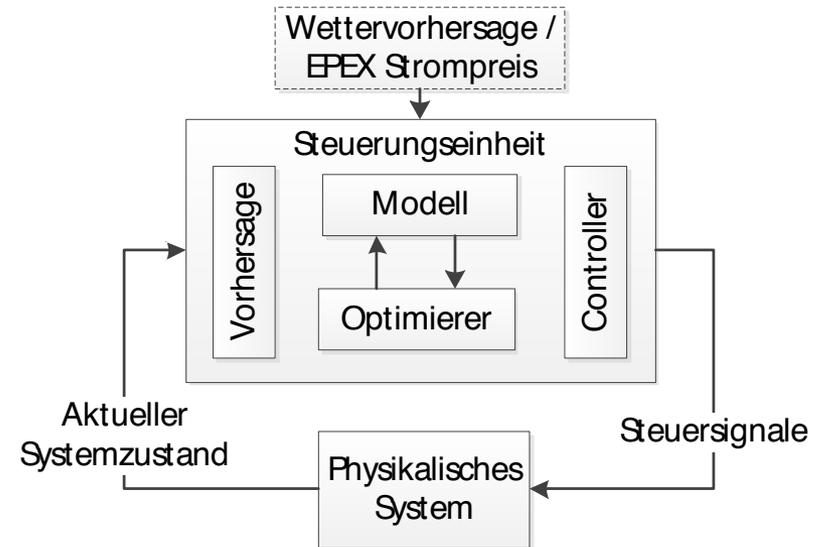


Kraftwerk im Keller

Dezentrale Optimierung stromwärmegeführter KWK-Anlagen im Smart Grid

Das im Projekt entwickelte Konzept ermöglicht dezentralen KWK-Anlagen dynamisch

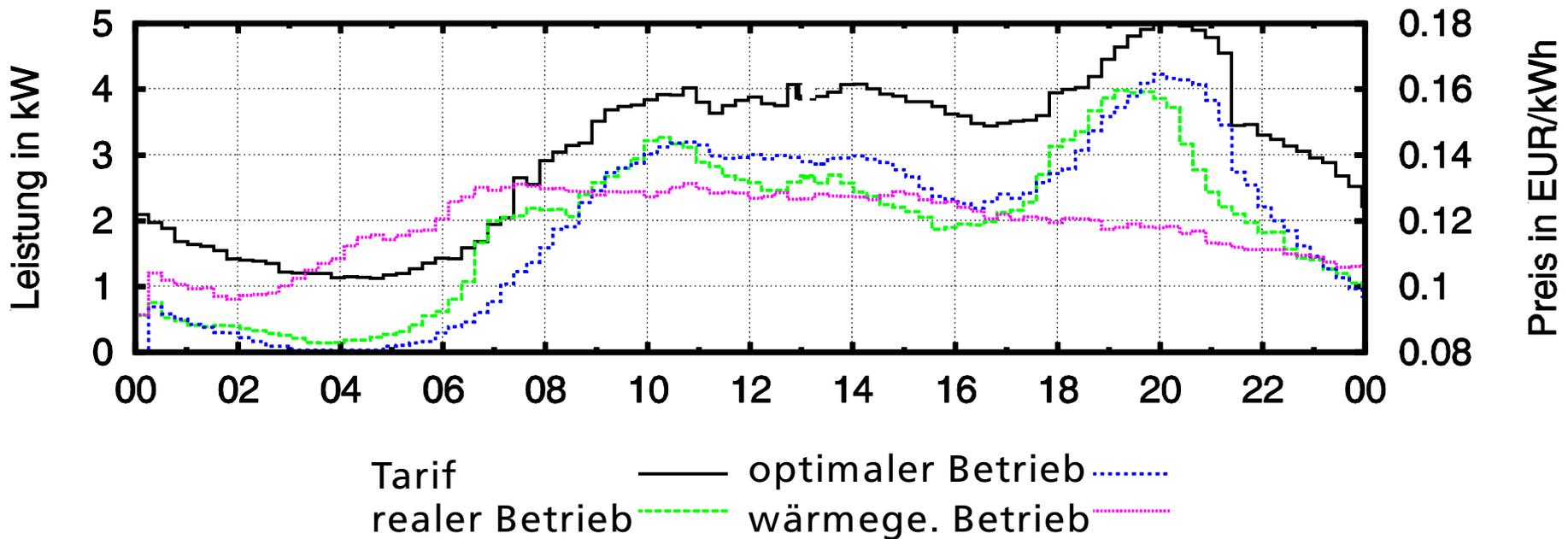
- auf externe Tarife zu reagieren
- die Gebäudeautarkie zu maximieren
- Vorhersagebasierte Regelung
- über ein Jahr erfolgreich in Bestandsgebäuden getestet



KWK Betriebsführung

Preisgeführte Erzeugung, Nutzung des Speichers

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



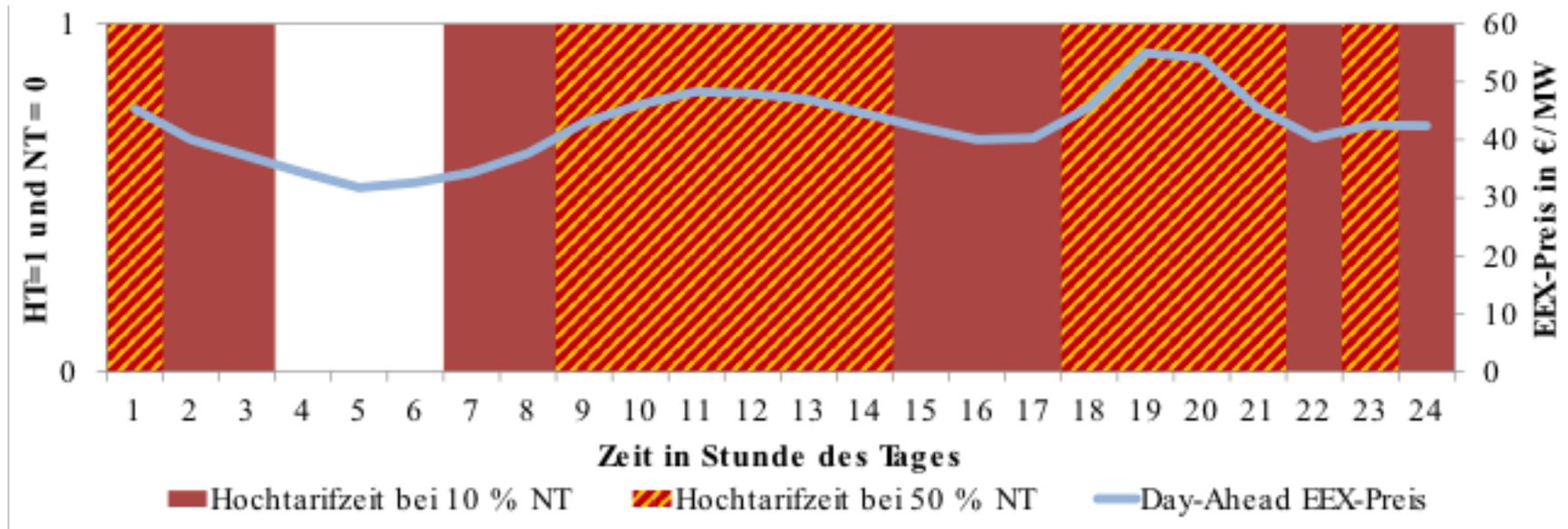
BMWI-CheapFlex Projekt:

Aggregation von Dez. Anlagen 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

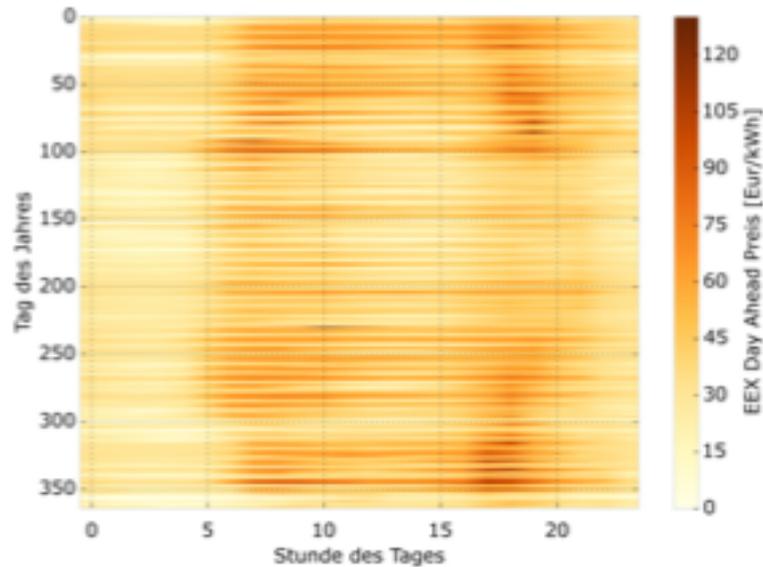
Dynamische Erzeugungstarife für KWK



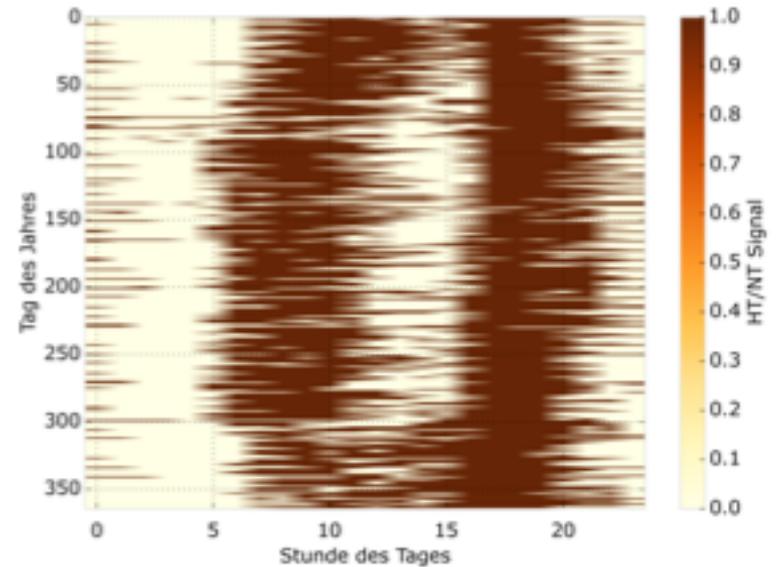
- Idee: existierende einfaches NT/HT Tarifsignal mit wenig Wechsel
- Optimierung von Schalthandlungen mit festgelegten maximalen Intervallen für NT-Tarif (10 bis 50%) in Abhängigkeit des EEX-Preises

Definition der HT/NT-Tarife

Dynamische Erzeugungstarife für KWK



“Day-Ahead” Preis im Carpet Plot



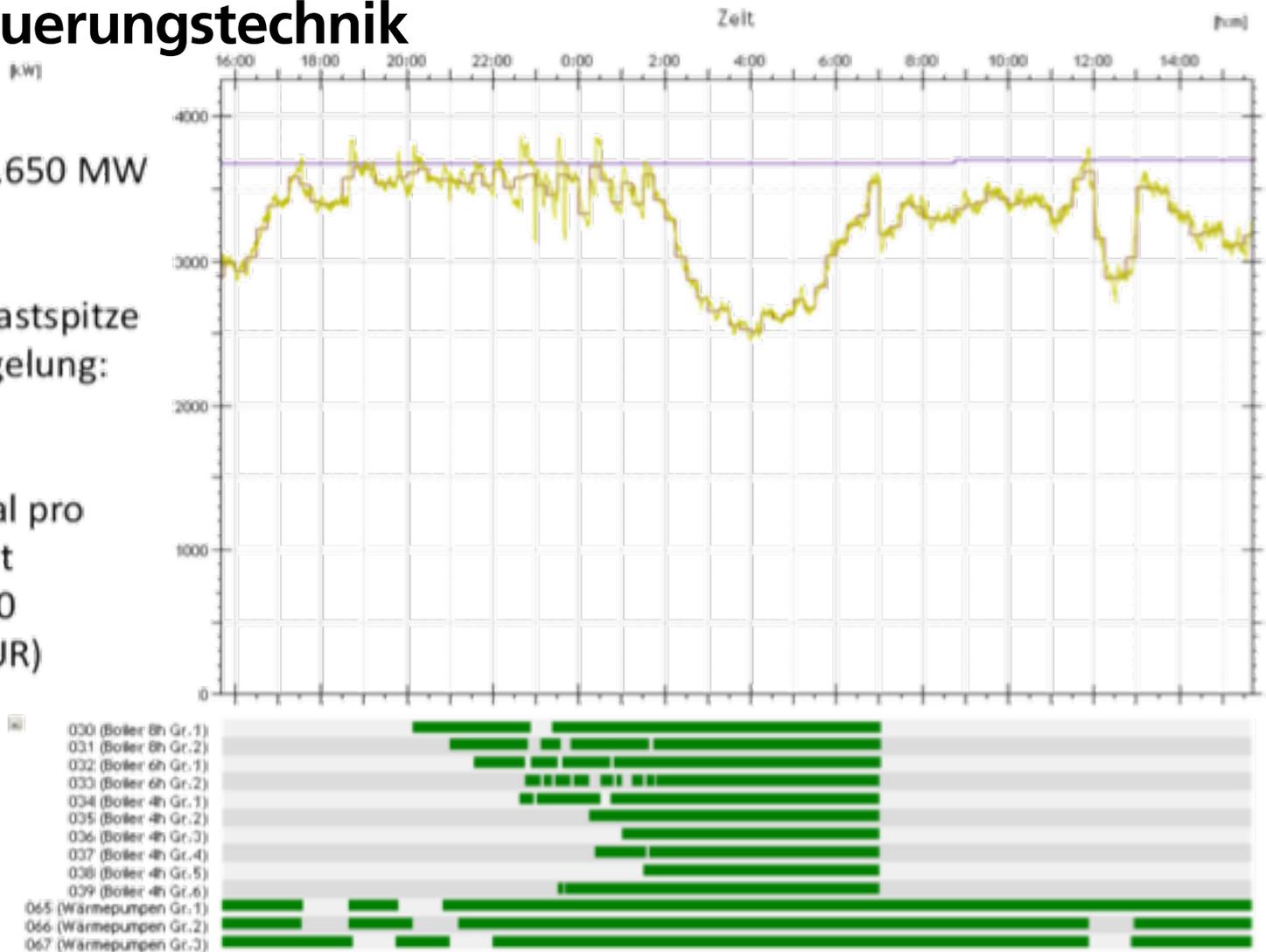
NT/HT im Carpet Plot

Aggregation von Lastgruppen mit Rundsteuerungstechnik

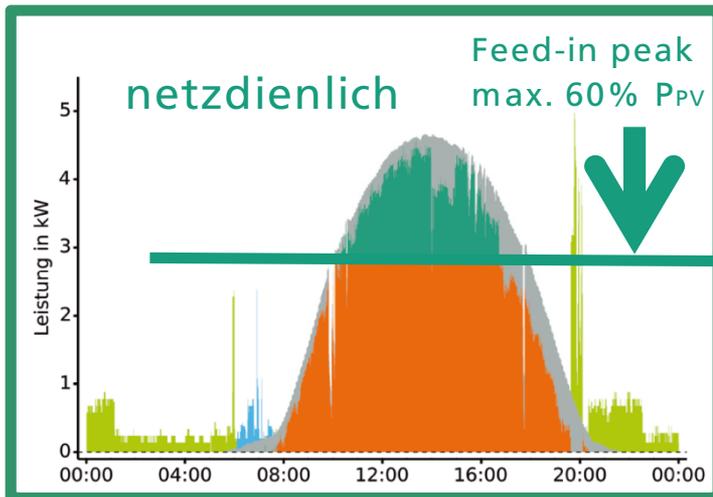
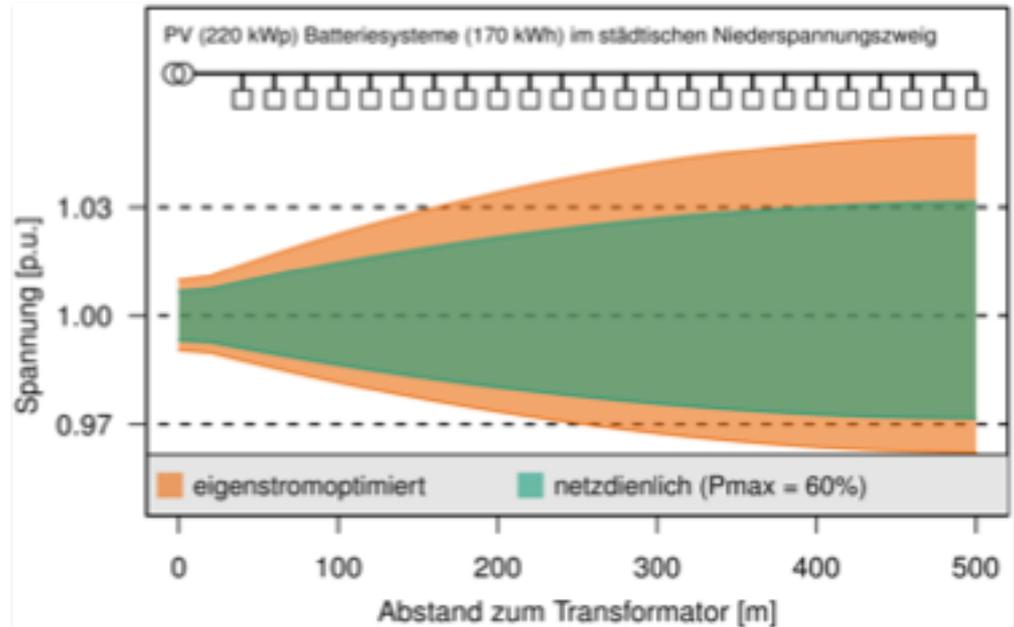
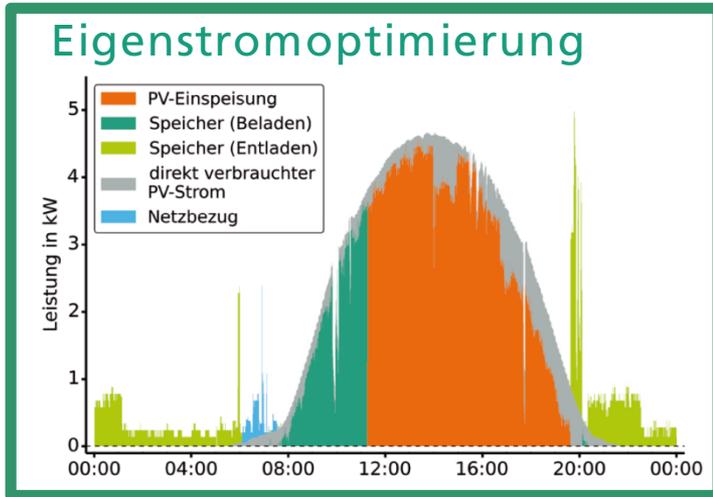
Lastspitze: 3.650 MW
um 00:30 h

Vermutete Lastspitze
ohne Lastregelung:
~4.000 MW

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



Betriebsstrategien für PV-Batteriesysteme "Netzdienlicher Betrieb"



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

BMW-HeiPhoss

Betriebsführung

Zielsetzung:

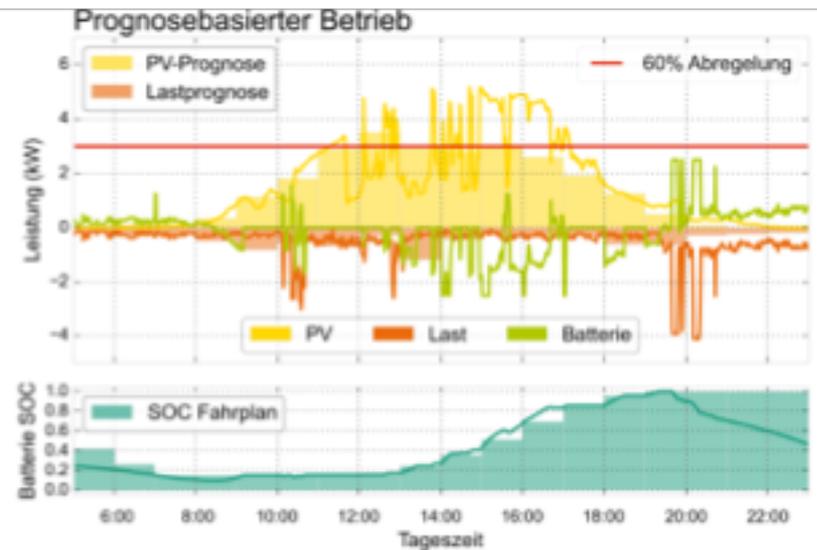
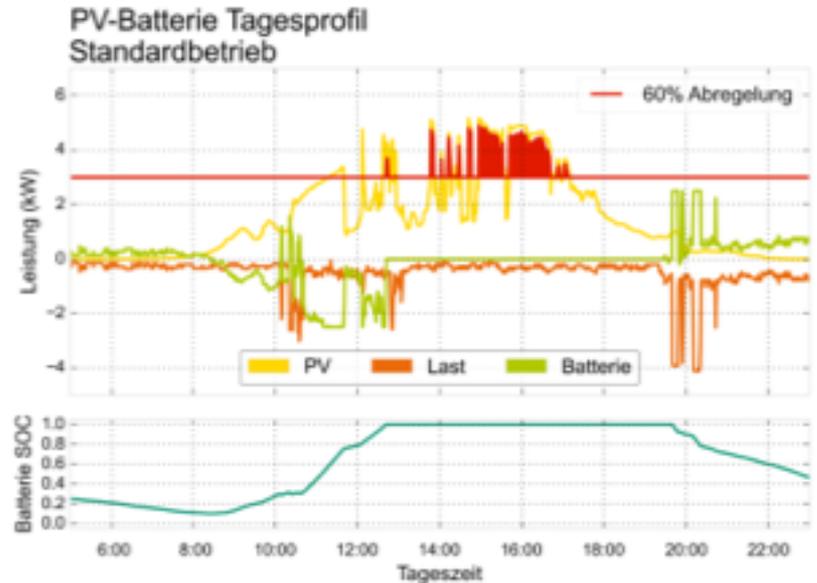
Optimaler Eigenverbrauch

Netzfrenderlicher 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:

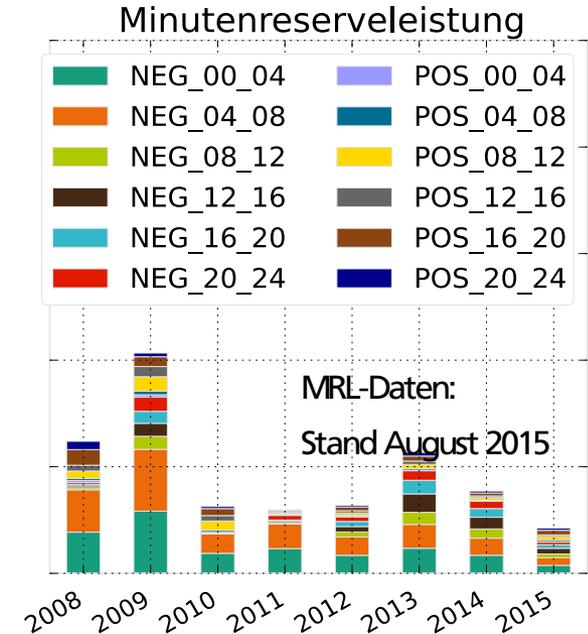
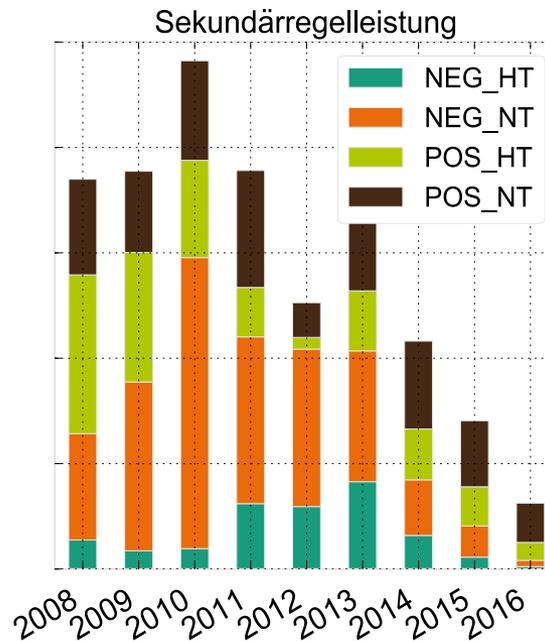
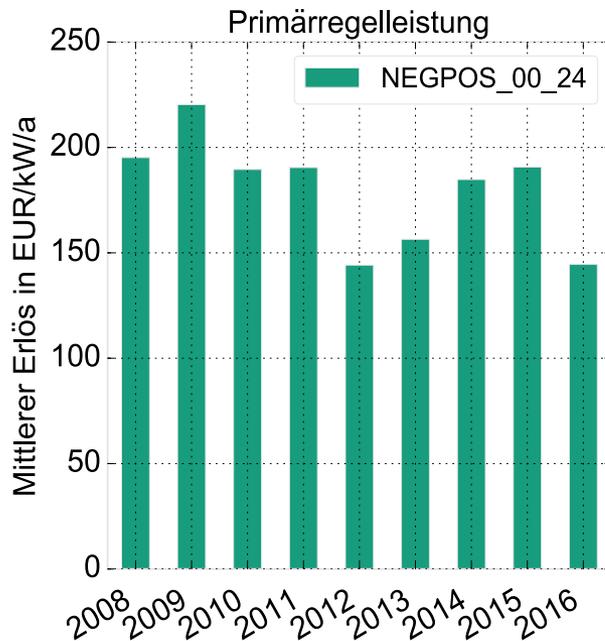
- Wöchentlich ausgeschrieben
- Min 5 MW, Negativ/Positiv
- Aktivierung 30 sec
- Frequenzgeführt

SecondaryControlReserve SCR:

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

TertiaryControlReserve TCR:

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

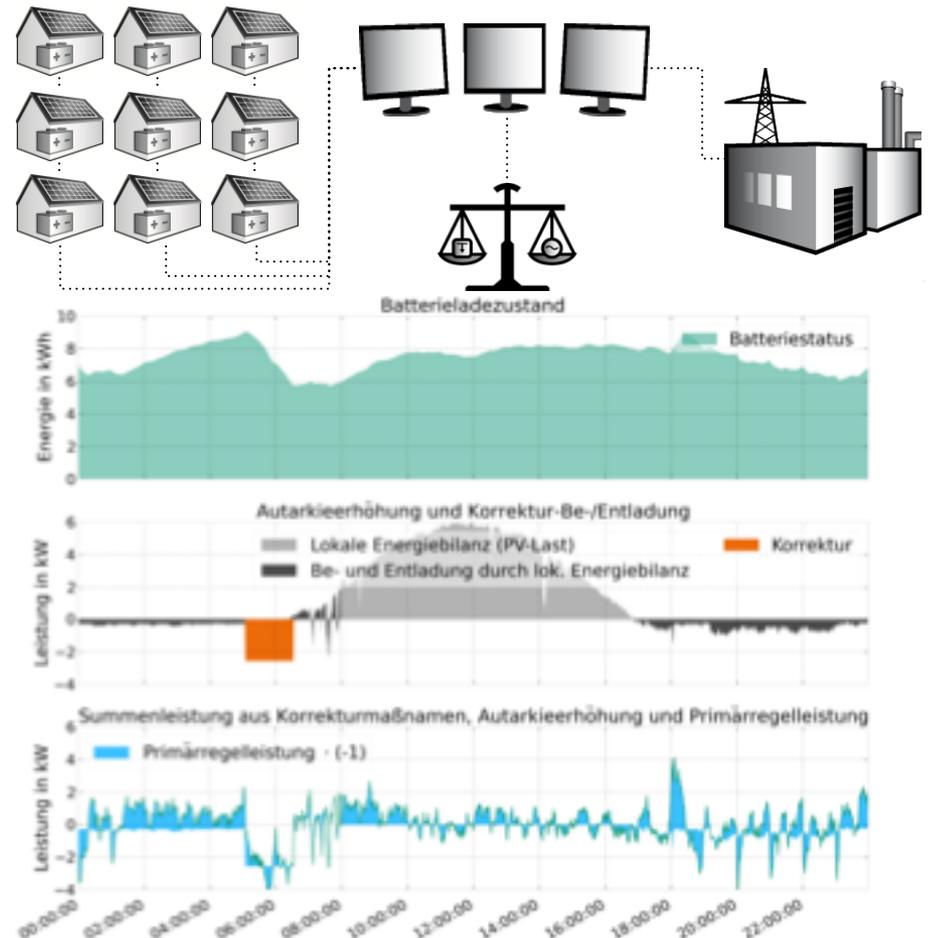


Net-PV: Aggregierte PV-Batterieverbundkraftwerke

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.

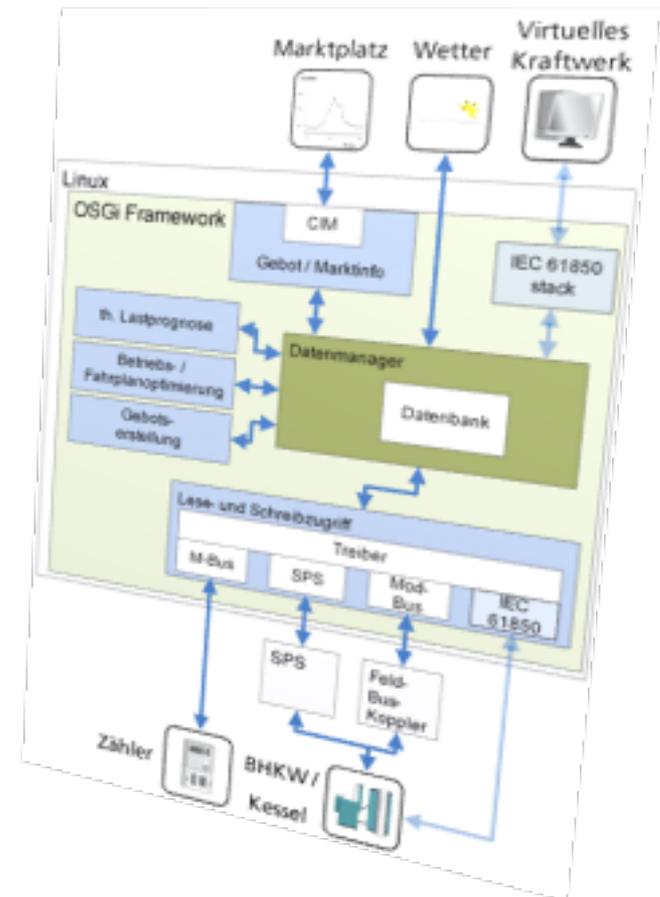


F&E Smart Grid Technologie

OpenMUC Energiemanagement Framework

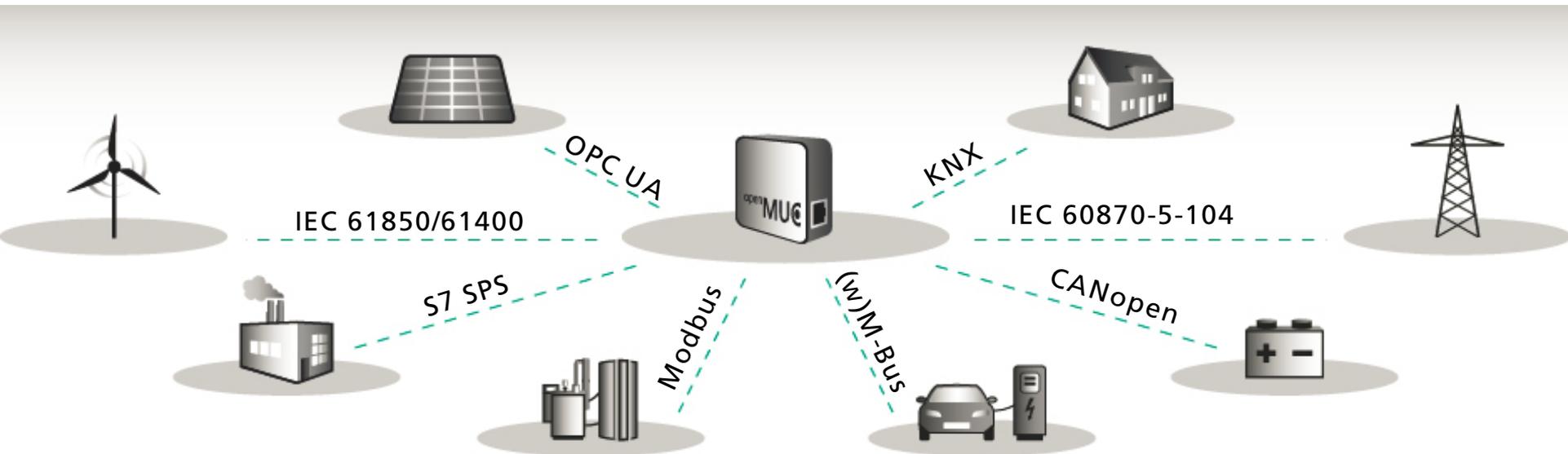


- **Modulares Softwareframework** für dezentrale Energiemanagementsysteme (Java / OSGi) auf embedded Systemen
- Entwickelt und genutzt seit mehreren Jahren am Fraunhofer ISE
- **Kommunikationsgateway**, Monitoring, Steuerung, Optimierung, Prognosen, Lastverschiebung, Visualisierung
- Vielseitig einsetzbar. **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



Anlagenvernetzung mit OpenMUC

Unterstützte Kommunikationsprotokolle



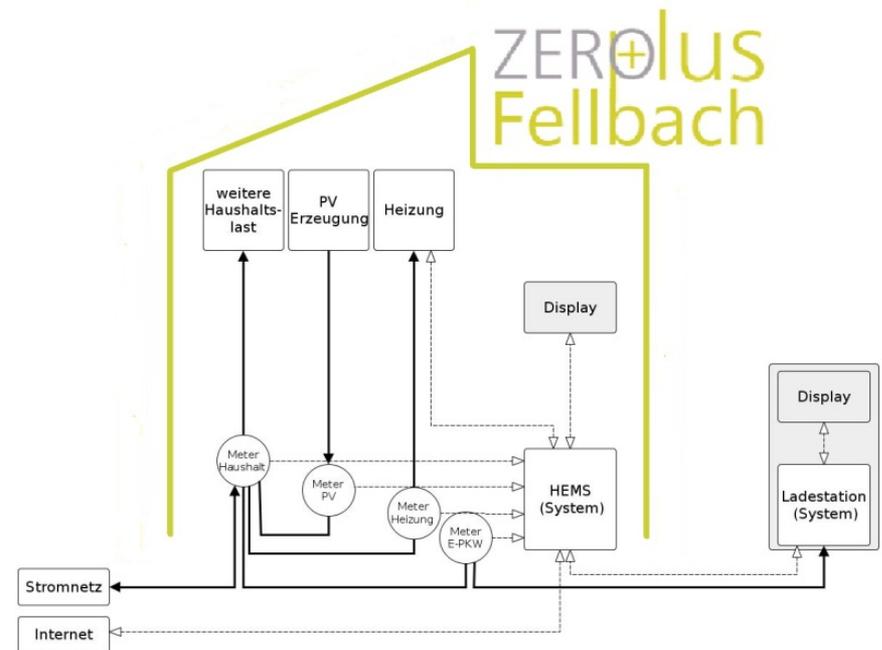
Und mehr: eHz, IEC 62056-21, DLMS/COSEM, SNMP

E-Mobil: Fellbach ZEROplus / Das Energie-Management

Das Haus/Fahrzeug-Energie-Management-System (HEMS) wurde durch das Fraunhofer ISE entwickelt und in den Haushalten eingebaut. Das System ist modular und baut zu großen Teilen auf vorhandene Infrastruktur auf.

Aufbau und Funktionalitäten des HEMS:

- Das HEMS wird direkt an die kommunikativen Haushaltszähler angeschlossen
- Über die offene ISE-Plattform OpenMUC werden die Energiedaten auf dem HEMS weiter verarbeitet und gespeichert
- Ein Optimierer wird in Zukunft die Ladung der E-PKW gemäß Vorgaben ansteuern
- Über ein Display werden die Daten visualisiert und die Interaktion durch die Bewohner möglich



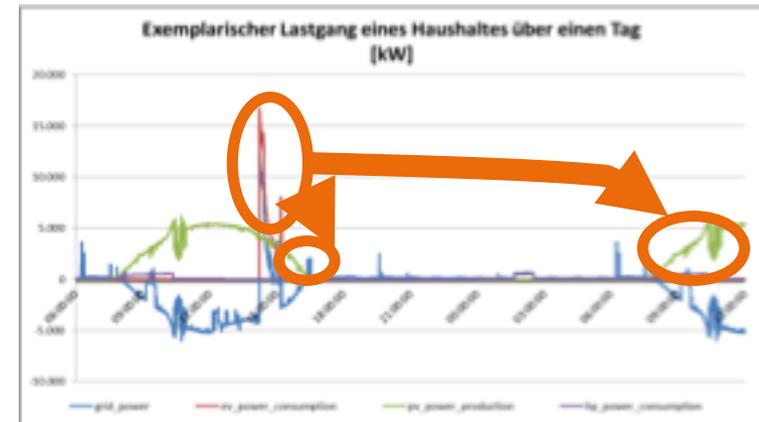
Projektreferenz Fellbach

Smart Home und Elektromobilität

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

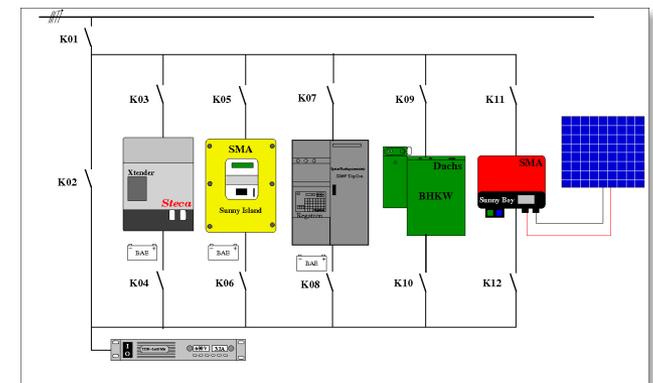
Projekthinhalte

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





- 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

Digitalisierung für die intersektorale Transformation

- Die Sektoren im Energiesystem werden zunehmend integriert, dabei werden zentrale und dezentrale Energiesysteme relevant sein, lokal spielen Wärmenetze eine wichtige Rolle
- PV und Wind stellen die wesentlichen Technologien für die Energiewende in Deutschland dar, PV-BMWI-Ausschreibungen bei ca. 4 Cent/kWh angekommen, Batteriesystemen werden ebenfalls günstiger. Dezentrale PV ca. 7-10 Cent/kWh,
- Speicher werden ab 40% EE-Anteil erforderlich, mobile und stationäre Batteriespeicher können schnell in privater dezentraler Form zum Energiesystem beitragen (Emob, PV-Batteriespeicher).
- Netzverbände und Ausbau reduzieren Speicherbedarf, dez. Speicher können den Netzausbaubedarf reduzieren. Flexiblere Netzentgeltkonzepte sind erforderlich.
- Netz und Markt erfordern zunehmend Flexibilitäten, die als elektrische und thermische Speicher schon heute zur Verfügung stehen, Die Vernetzung und Digitalisierung ermöglicht die Erschließung der Flexibilitäten
- Neue Umlagemodelle sollten den Transformationsvorgang finanzieren, einerseits CO₂-Preis, andererseits flexible Netzentgelte;
- In der Niederspannungsebene könnte man Netzentgelt und Umlagen für Eigenstromnutzung abschaffen, dezentrale intelligente Systeme hätten ein enormes Potential, vgl. Schweizer Modell der Eigenverbrauchsgemeinschaft (EVG); Energiestrategie 2050)



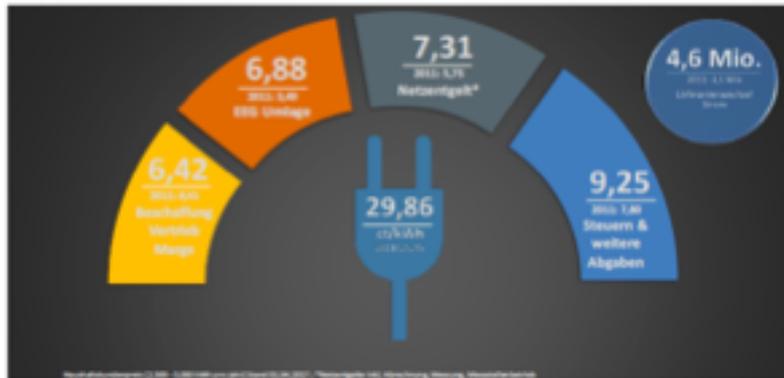
Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

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

www.ise.fraunhofer.de

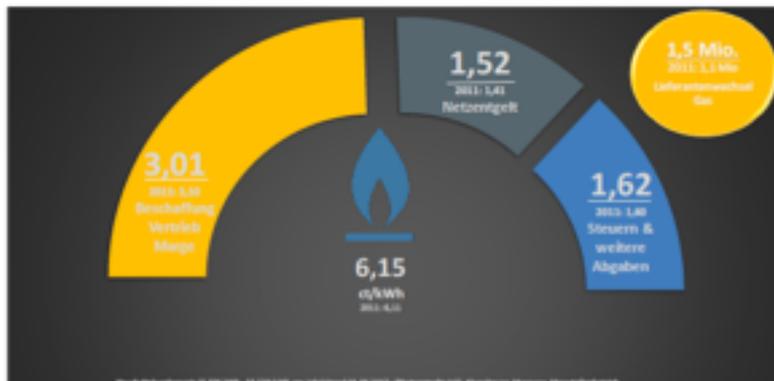
Strompreis, Netzentgelt Anreize für flexible Netznetzung

Haushaltskundenpreis Strom
in ct/kWh



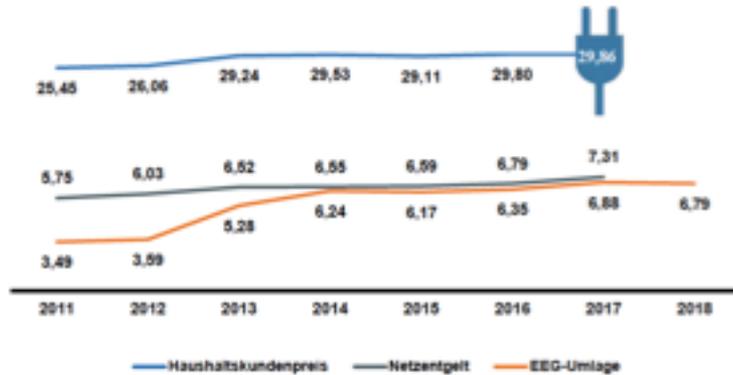
- Anteil Umlagen EEG/KWKG im Stromsektor
- Netzkosten und Ausbau im Stromnetz hoch

Haushaltskundenpreis Gas
in ct/kWh



Strompreis, Netzentgelt Anreize für flexible Netznetzung

Netzentgelte, EEG-Umlage und Haushaltskundenpreis Strom
in ct/kWh



- EEG Umlage stark gestiegen, inzwischen stabil
- HH Strombeschaffung: HH-Kunden (Standardlastprofil) zahlen im Vergleich zum Börsenpreis hohe Preise

Strombeschaffungskosten beim Haushaltskundenpreis
in ct/kWh

