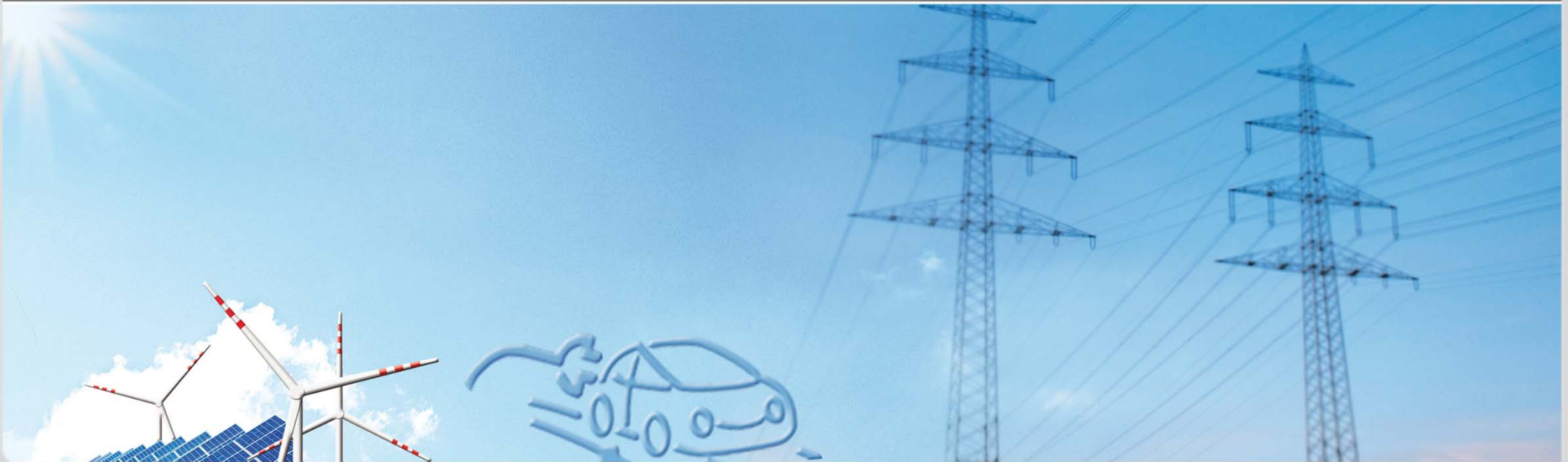


Verlässlichkeit durch oder trotz Dezentralisierung? Potentiale der Energieinformatik für die Gestaltung sicherer Energiesysteme

Prof. Dr. Hartmut Schmeck, Karlsruher Institut für Technologie KIT

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB)
Institut für Angewandte Informatik (IAI)

KIT-Schwerpunkt COMMputation
FZI Forschungszentrum Informatik



Europäische Energieziele:

Strategic Energy Targets 20-20-20:

März 2007: EU Technologieziele für das Jahr 2020:

- 20% Reduktion der EU CO₂-Emissionen.
- 20% Anteil erneuerbarer Energien an Europäischem Energieverbrauch
- 20% erhöhte Energieeffizienz.

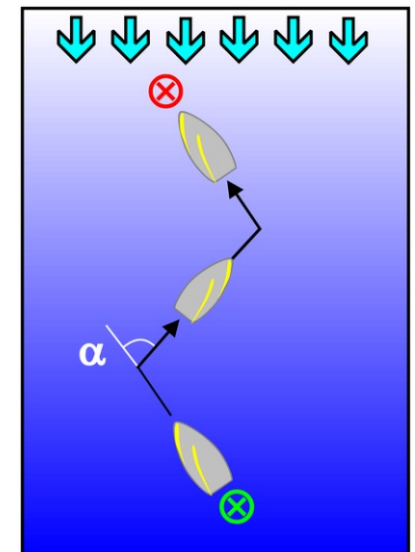
Ehrgeizigere Ziele Deutschlands:

Herbst 2010:

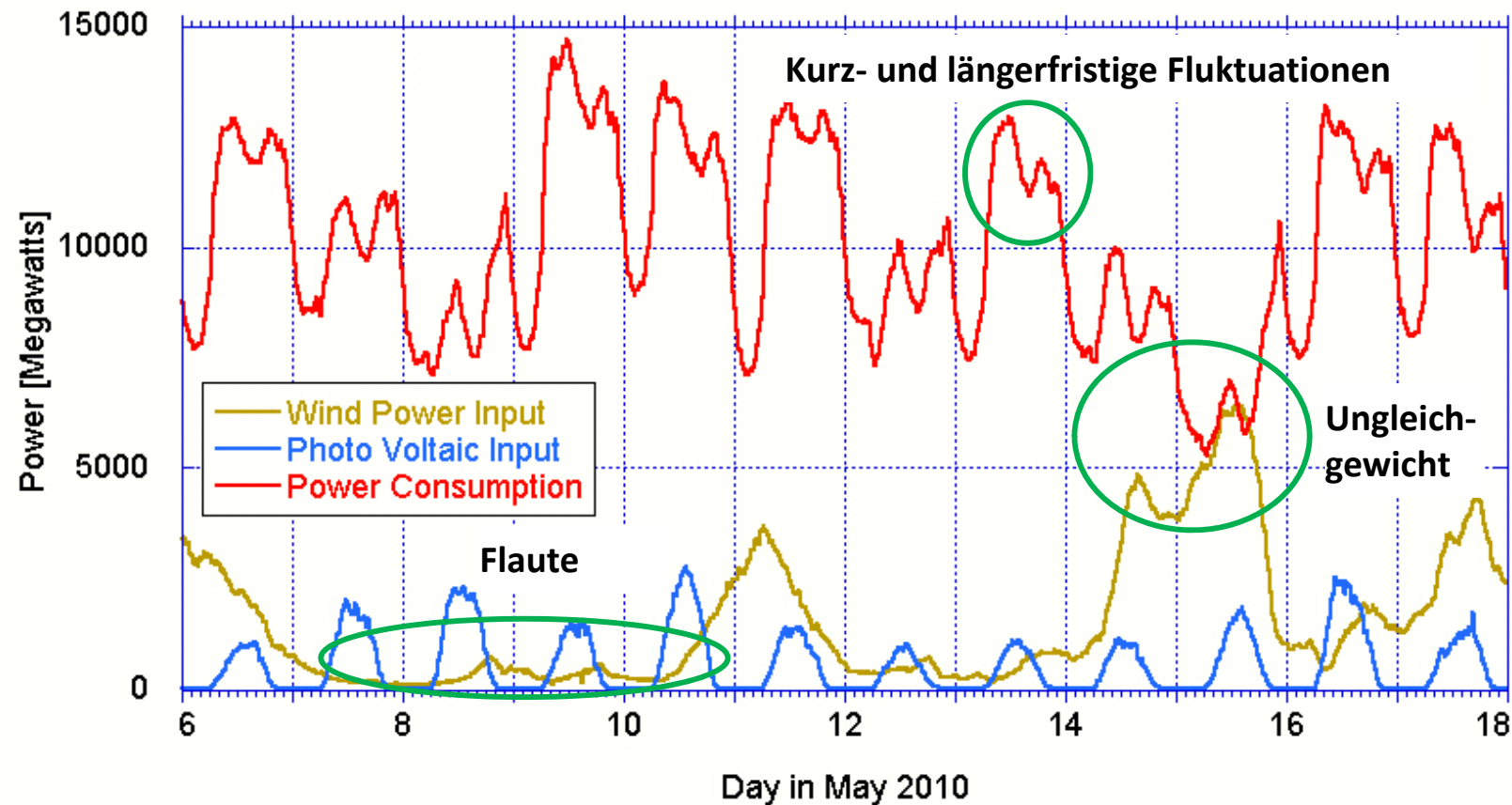
35% EE bis 2020, 50% bis 2030, 85 % (??) bis 2050

Frühjahr 2011: „Energiewende“

Beschleunigter Ausstieg aus Atomenergie ...



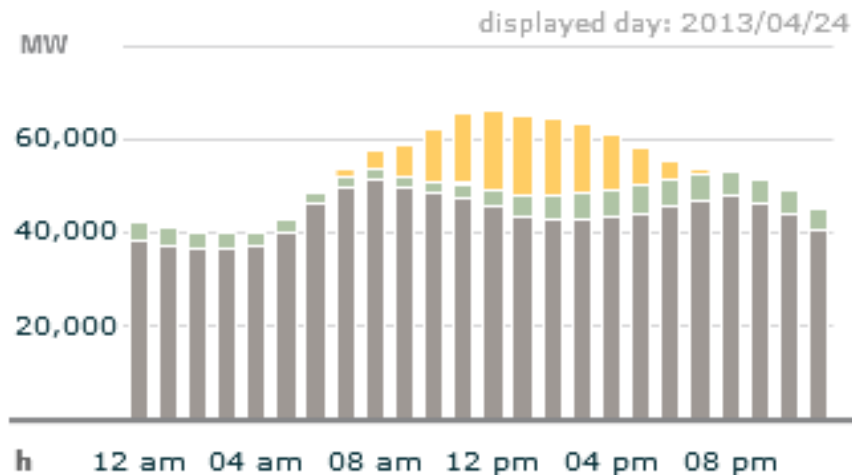
Probleme: **Fluktuationen** Stromverbrauch und Stromerzeugung



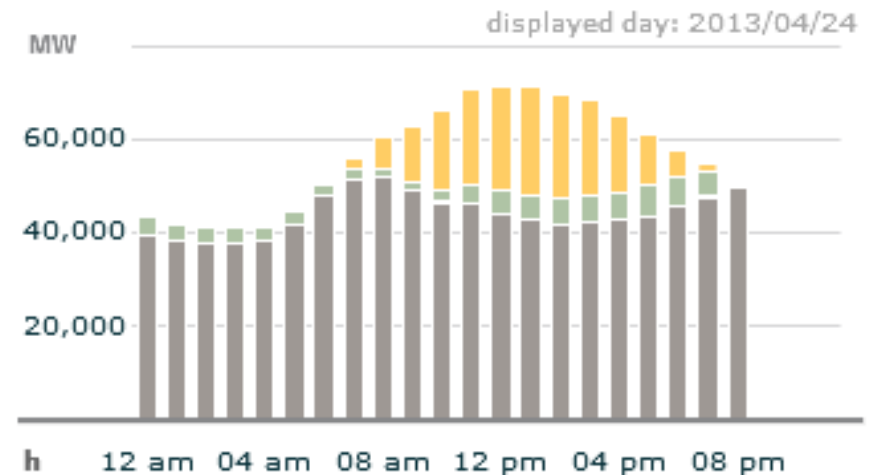
- Fluktuationen in verschiedenen Zeitskalen, unterschiedlich vorhersehbar
- Umgang mit Fluktuationen? Demand and Supply Management
- Umgang mit langer Flaute?? Speicher??

Probleme: **Ungewissheit** geplante und tatsächliche PV Stromerzeugung

Geplante Stromerzeugung



Tatsächliche Stromerzeugung



- 24.4.13, geplant: PV 17,3 GW, Wind 5,9 GW (Spitze),
- 24.4.13.: tatsächlich: PV 23 GW, Wind 6,4 GW (Spitze),

→ Wie geht man mit derartigen Abweichungen um??

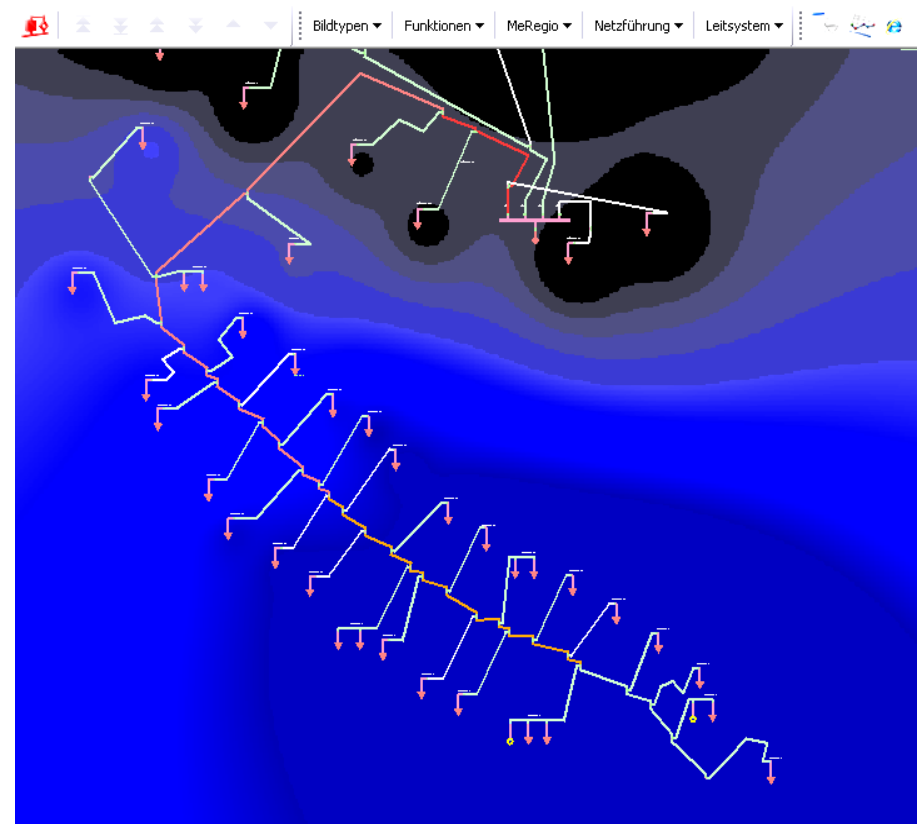
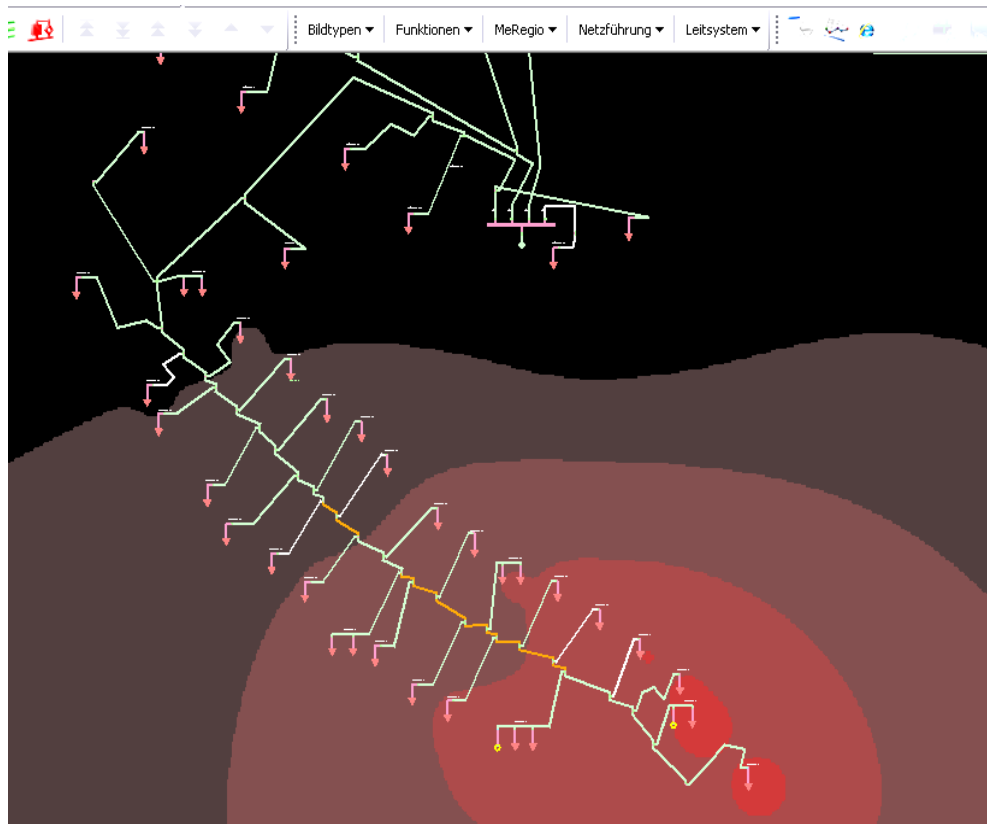
(Quelle: <http://www.transparency.eex.com/>)

Probleme: **Dezentralität** Netzengpässe im 0,4 kV-Verteilungsnetz

**Spannungserhöhung
durch PV-Einspeisung**

**Spannungsabfall
durch hohe Last (E-Auto)**

Darstellung ermöglicht durch Modellregion MeRegio (E-Energy)



Quelle: Stephan Kautsch ABB

Energiemanagement: Ausgleich von Nachfrage und Versorgung

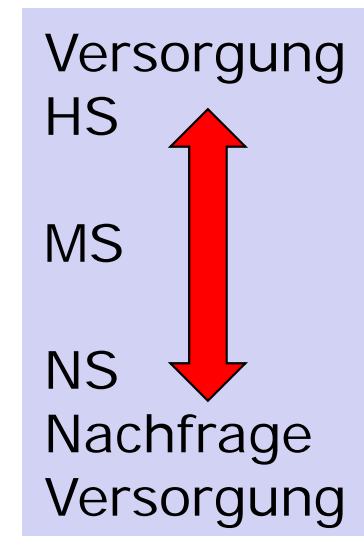
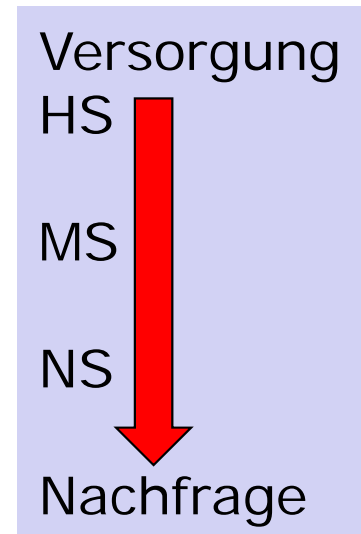
Traditionell:

- Nachfrage kann nicht gesteuert werden
- Elektrizität kann nicht gespeichert werden.

→ **Prinzip: Versorgung folgt der Nachfrage**
(Regelenergie: Primär-, Sekundär-, ...)

Zukünftig:

- Versorgung nur partiell steuerbar und dezentral
 - **Potentielle Umkehrung des Stromflusses**
- **Neues Prinzip:**
Nachfrage muss der Versorgung folgen!
- **Erfordert Flexibilisierung der Nachfrage**
- **Starke Dezentralisierung des Energiemanagements**



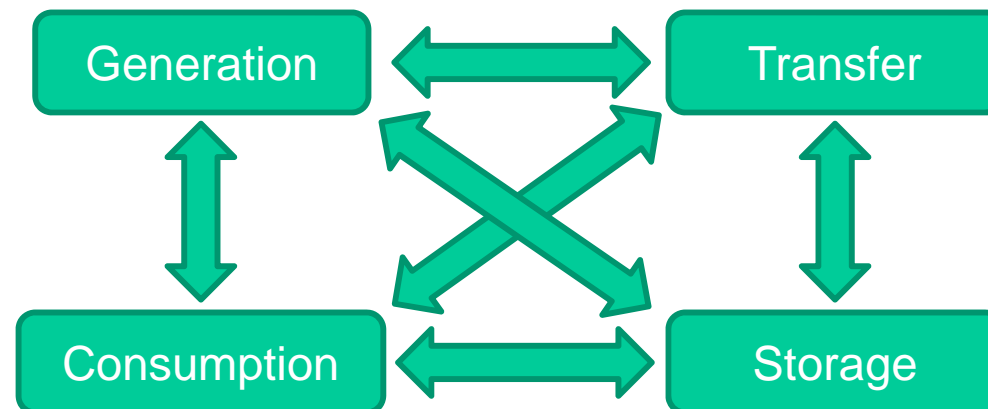
Die Evolution der Energienetze

Das Energienetz:

- Von einer relativ unflexiblen Versorgungskette mit passiven Verbrauchern (Endkunden) ...



- ... hin zu einer dynamischen Interaktionsarchitektur mit aktiven „Prosumern“

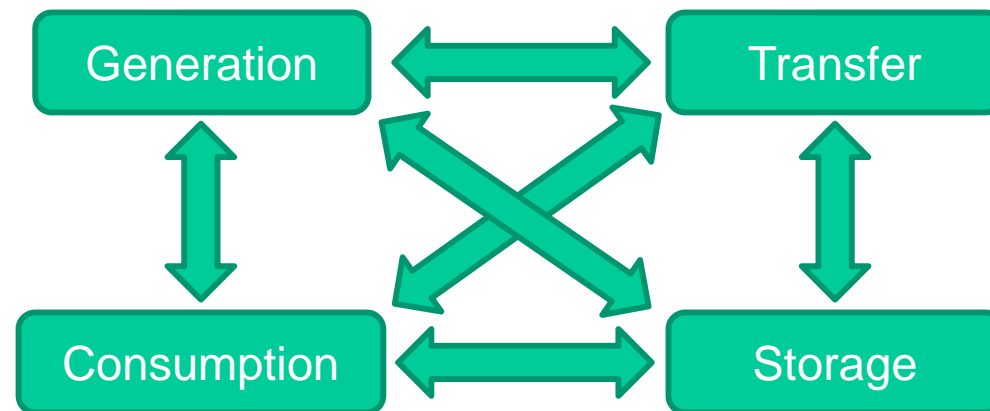


- Benötigt eine Echtzeitverknüpfung aller Netzkomponenten und -akteure in Verbindung mit Selbstorganisation!

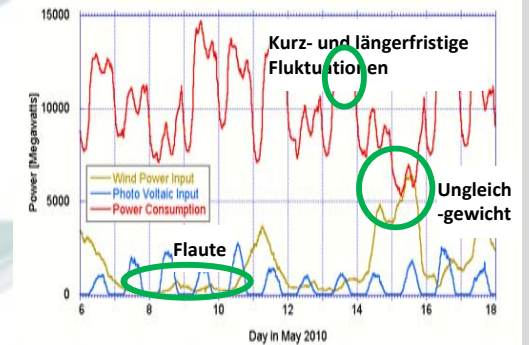
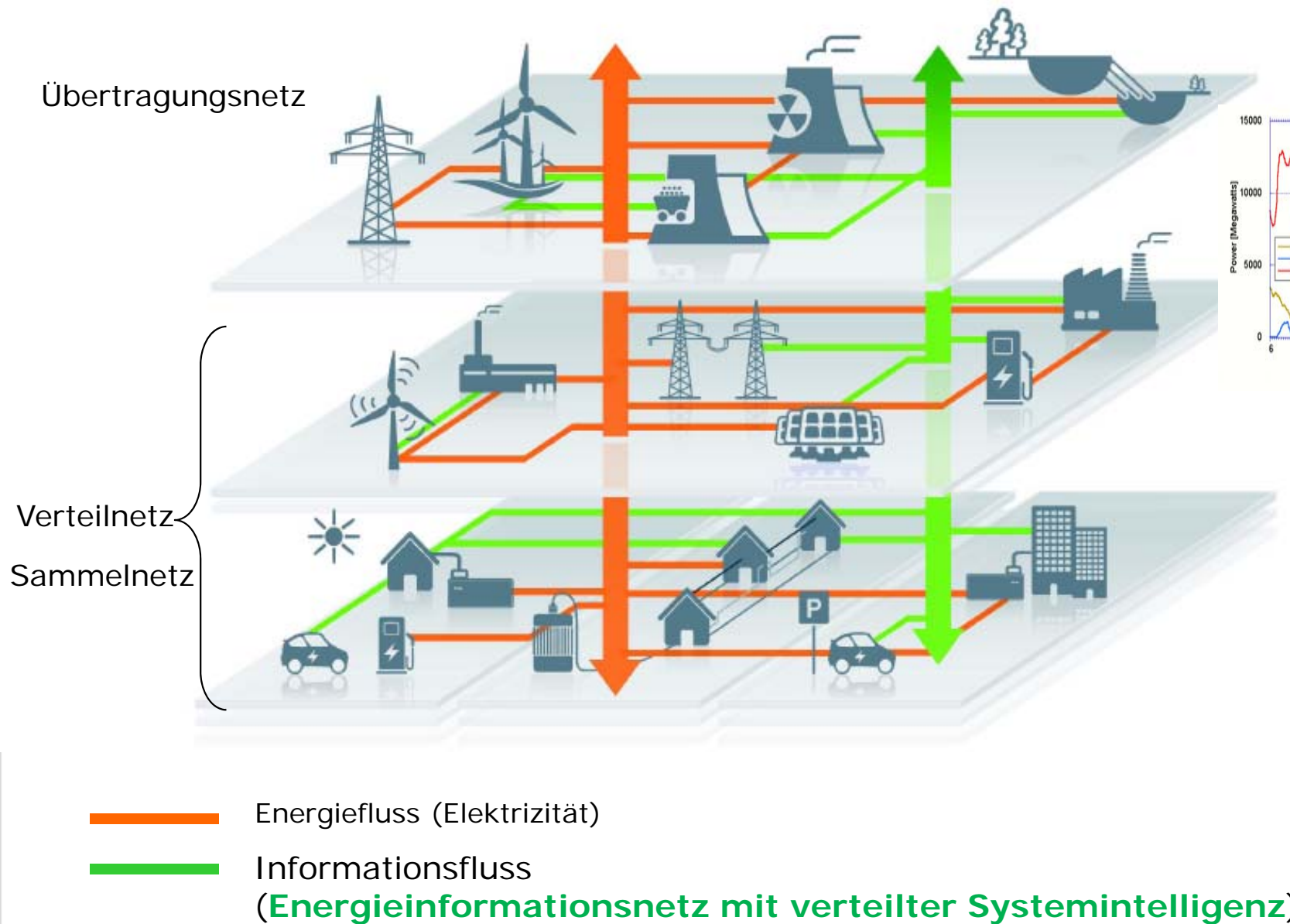
Wann wird daraus ein „Internet der Energie“?

Es verfügt (analog zum Internet der Daten) über

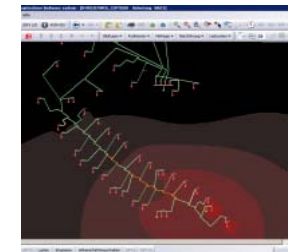
- ein **einheitliches Adressierungsschema**, um jede Komponente des Energienetzes eindeutig adressieren zu können,
- ein **gemeinsames Protokoll (TCP/IP etc.)**, zur Kommunikation von Informationen zwischen den Komponenten des Energienetzes.
- **standardisierte Dienste („Services“)**, um das Energienetz zu betreiben.



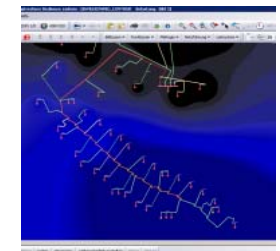
Integriertes Energiesystem der Zukunft



Spannungserhöhung durch PV

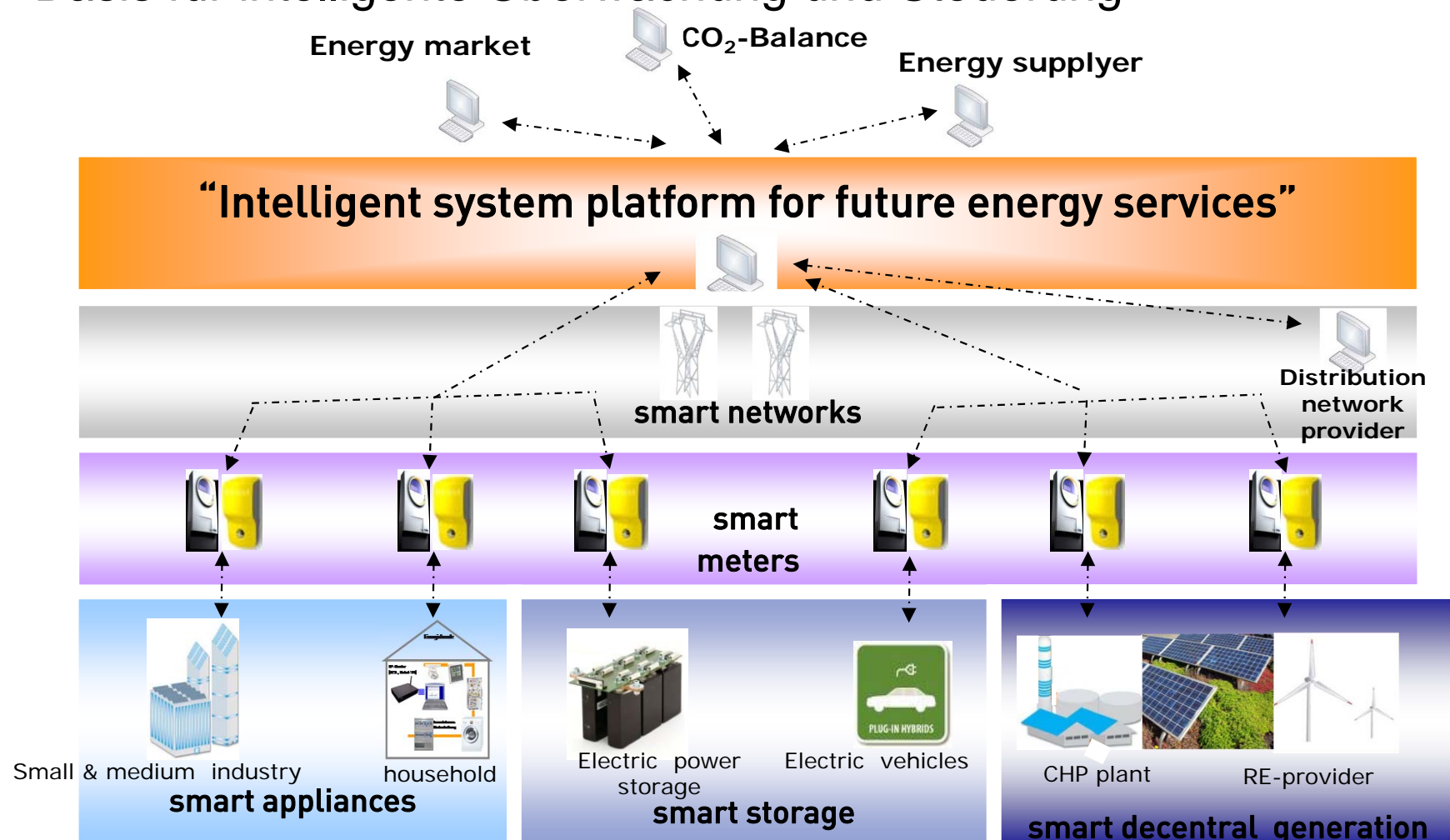


Spannungsabfall durch E-Auto



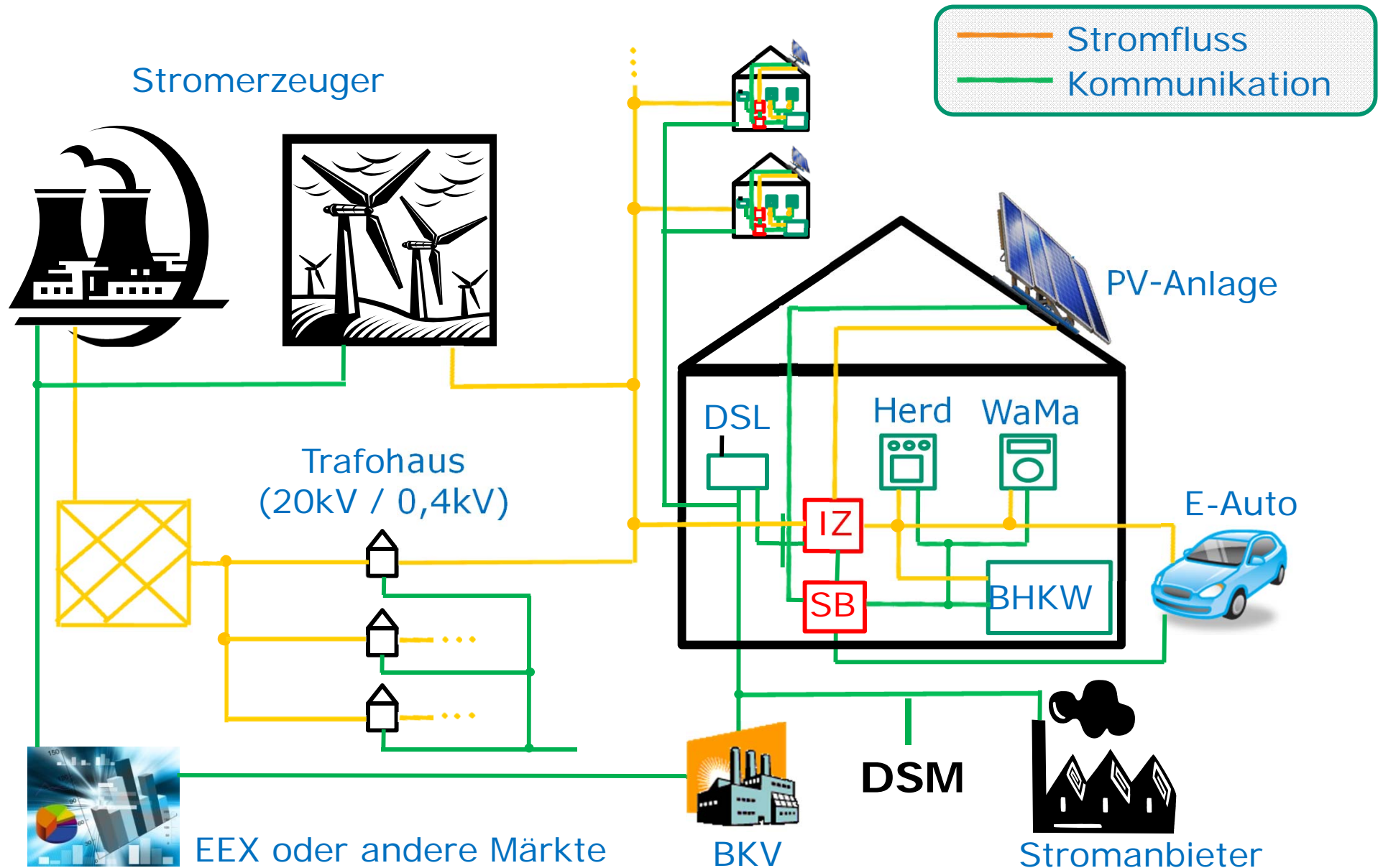
Information, Kommunikation, Services im Smart Grid

- Informationen über aktuellen Zustand des Energiesystems
- Basis für intelligente Überwachung und Steuerung

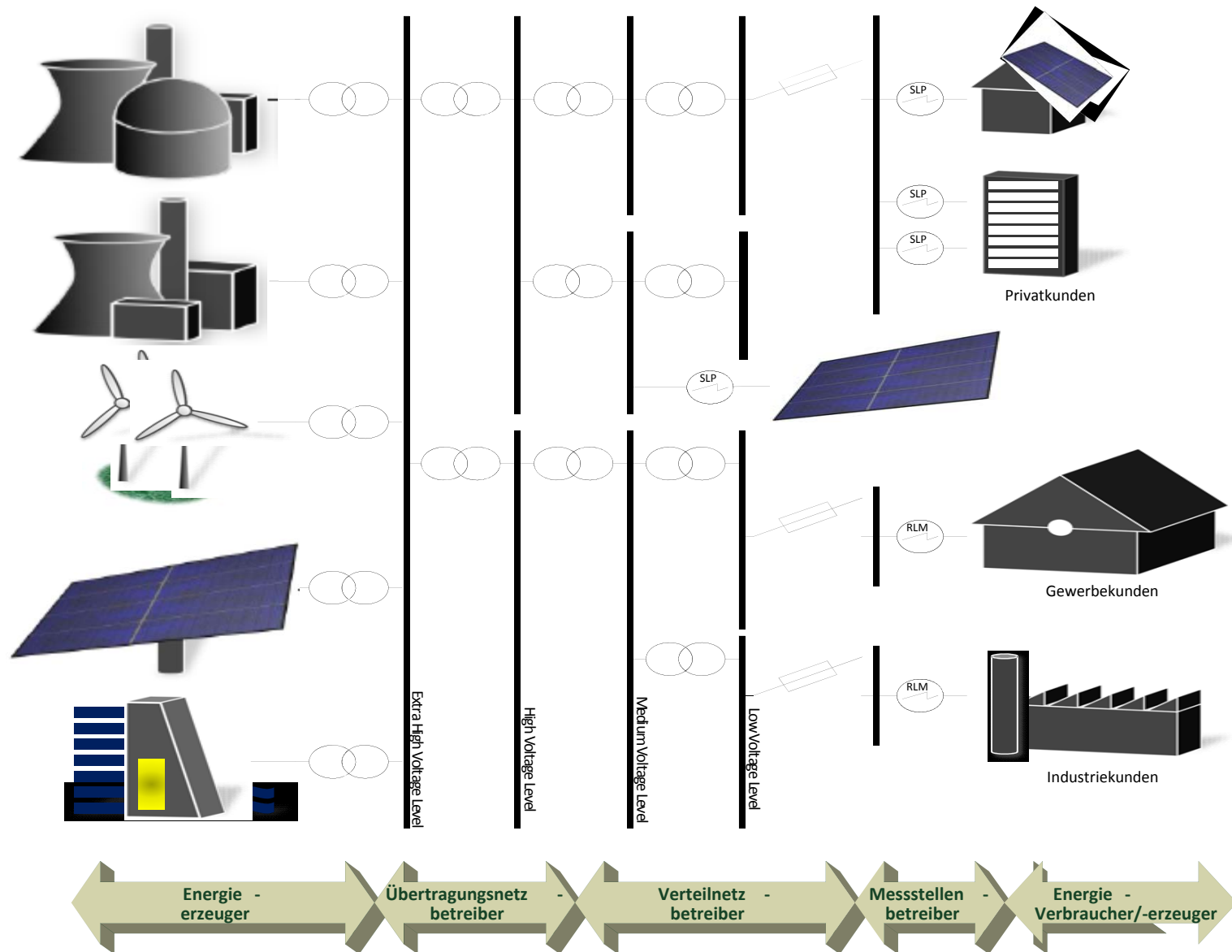


Quelle:
MeRegio

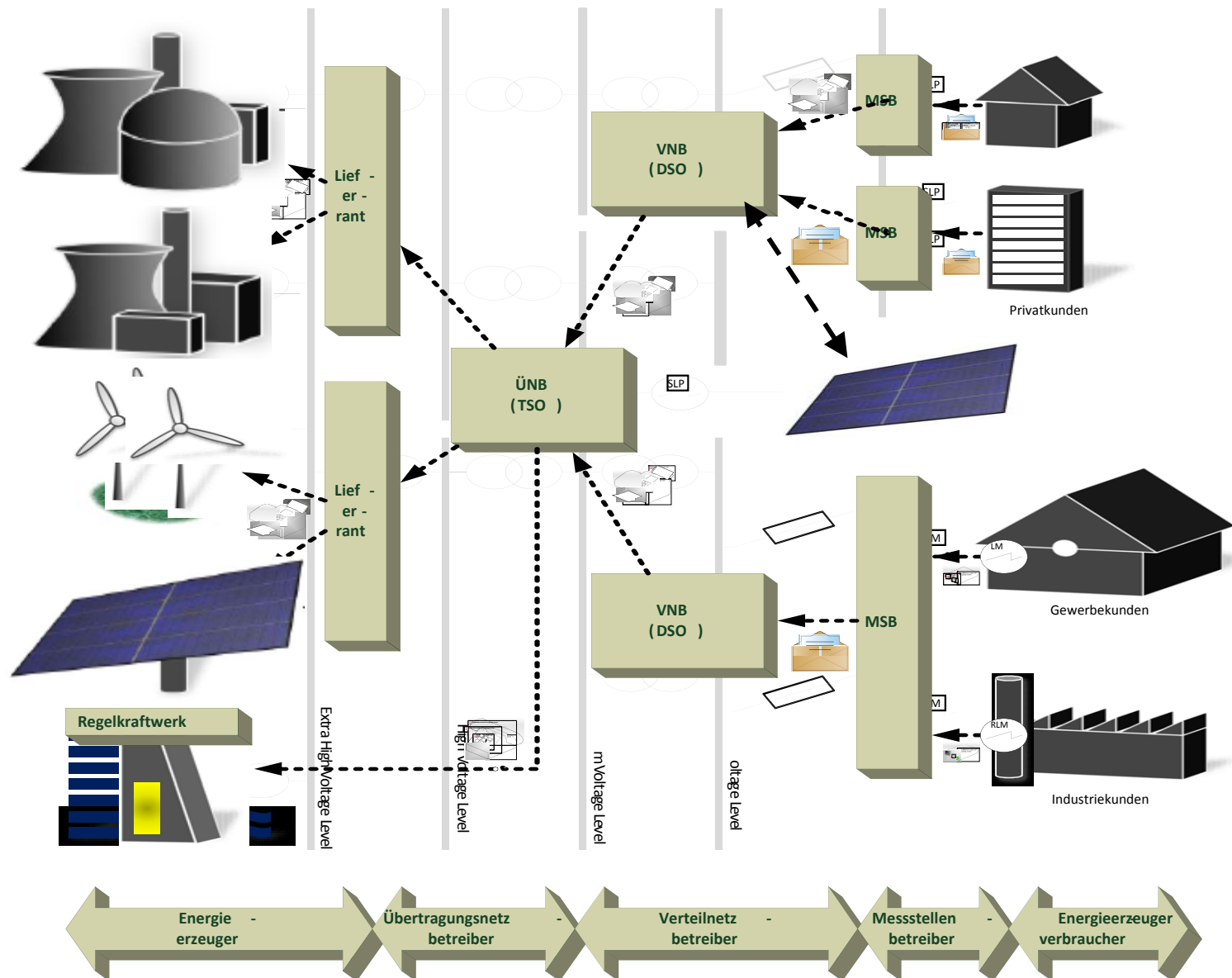
Strom- und Datenflüsse im Energiesystem



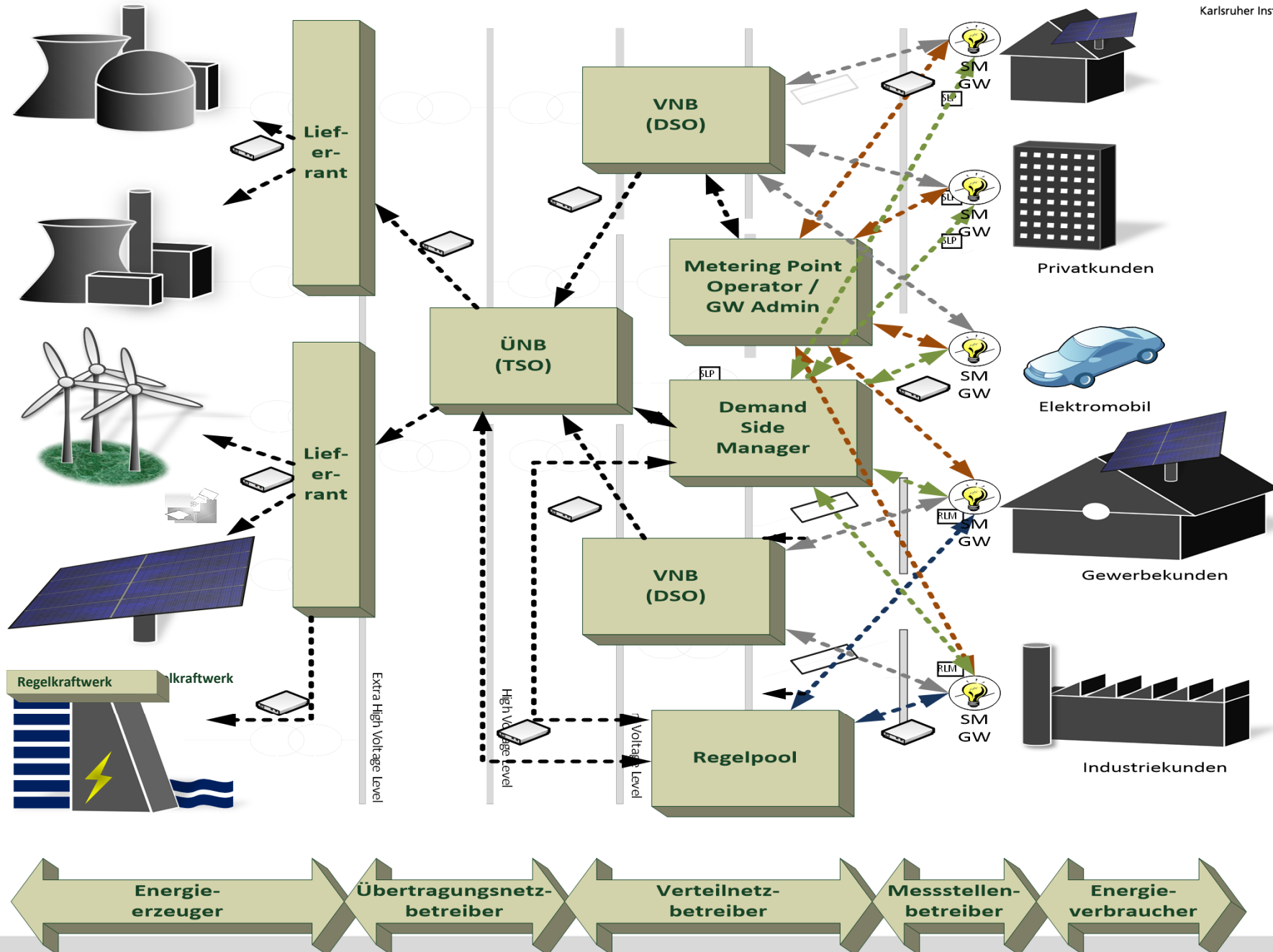
Physikalisches Stromnetz



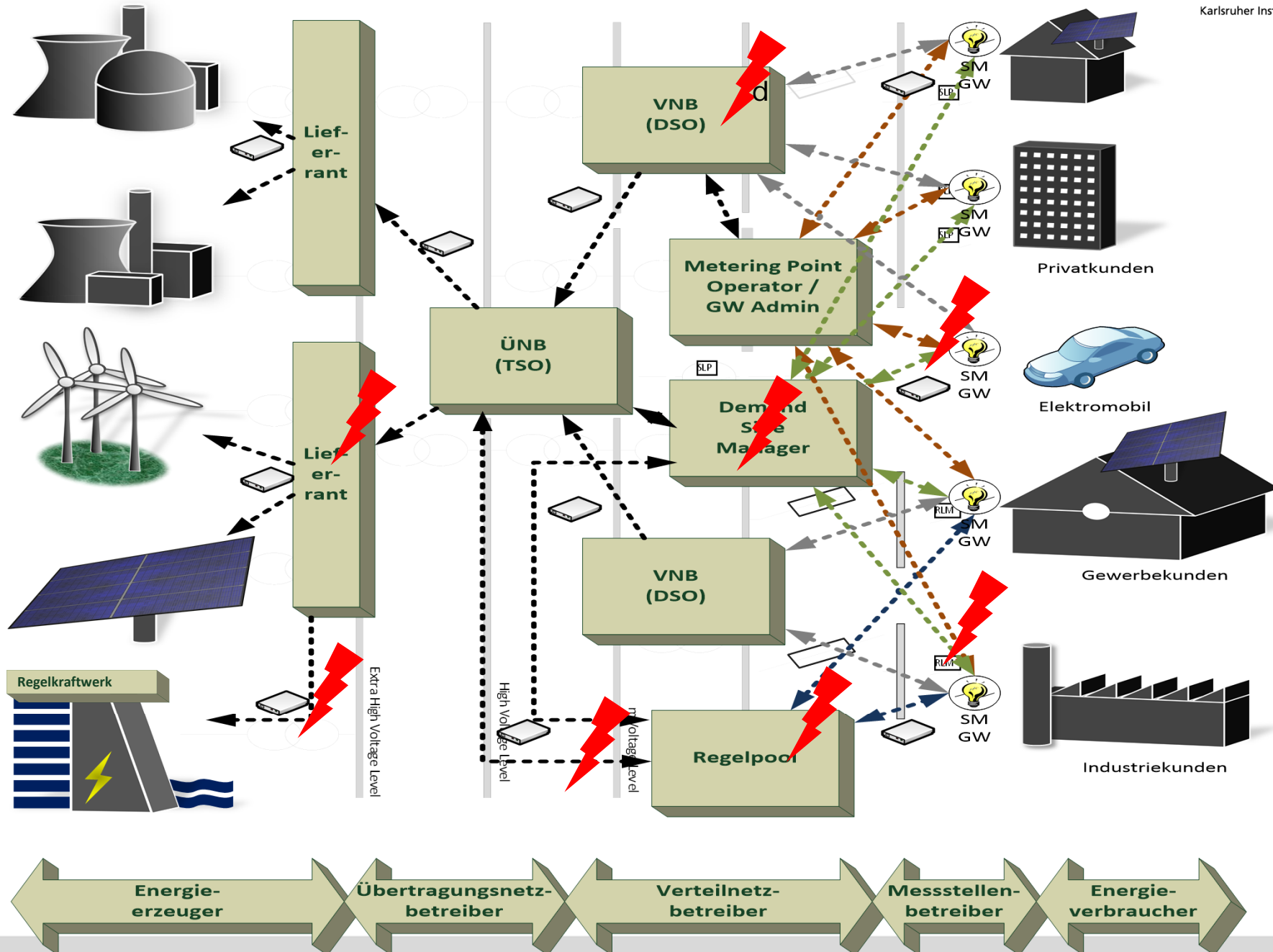
Aktuelle Energiemarktkommunikation



Zukünftiges Kommunikationsnetz



Vielfältige Angriffsmöglichkeiten

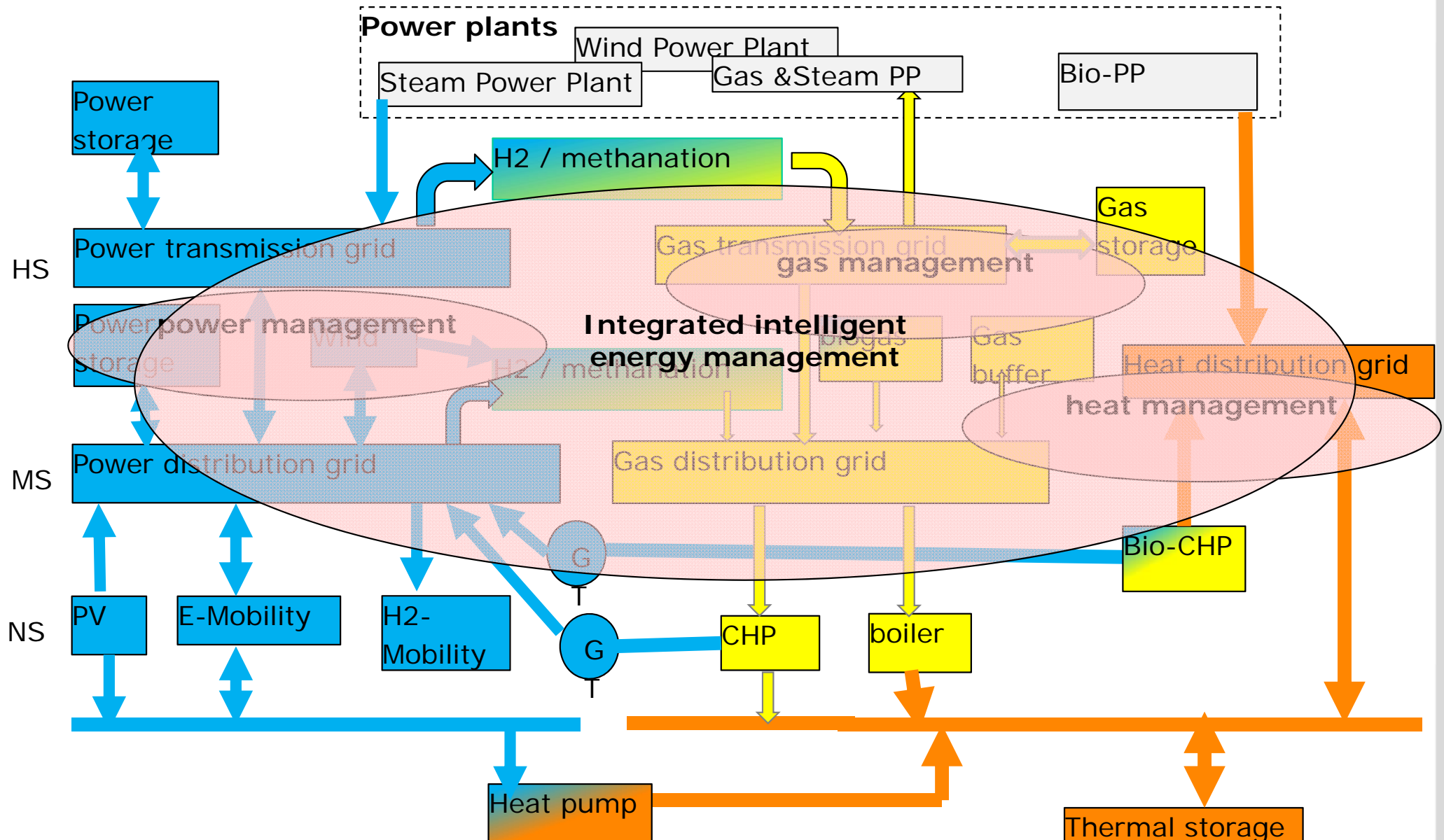


Polynetze → erweiterte Ausgleichsmöglichkeiten

power

gas

heat



Zukünftige Energiesysteme benötigen intelligente Verbindung von Strom-, Gas- und Wärmenetzen durch Energieinformationsnetze

- Stromversorgung wird **dezentraler** und **fluktuierend**
- **Ausgleich von Schwankungen** durch Speicherung erforderlich (→ u.A. über das Gasnetz)
- Bereitstellung von **Ausgleichsenergie** durch **Demand Side Management** erfordert Information über Situation im Verteilungsnetz
- **Erschließung** und **Ausnutzung** von **Nachfrageflexibilität** nur durch intelligenten IKT-Einsatz möglich
- Stabilisierung der Netze und Verlässlichkeit durch **Verbindung von Regelungs- und Energietechnik mit Verfahren der Informatik**
- Sicherheit der Systeme erfordert spezielle Maßnahmen (→ **Angewandte Sicherheitstechnologien**)

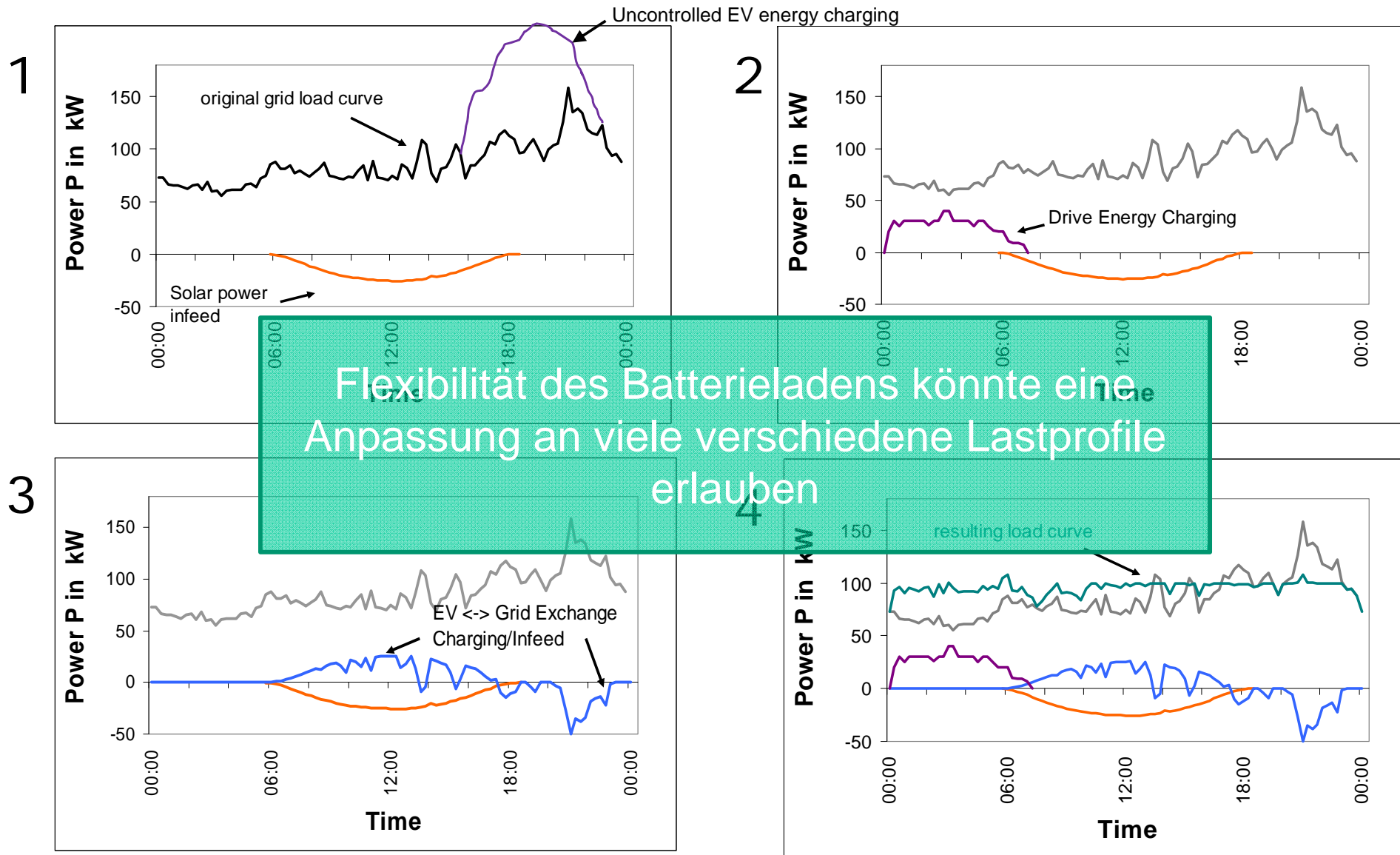
- **Effektive und effiziente Information** über den aktuellen Zustand der relevanten Komponenten in Transport- und Verteilnetzen (Dezentralität)
- Gestaltung von **Systemdienstleistungen** wie Blindleistungskompensation, Demand Response (Ausgleichsenergie), Lastverschiebung (decentralized demand and supply management)
- **Mensch-Maschine-Schnittstellen** zur Erschließung und Ausschöpfung des Potentials an Flexibilisierung der Nachfrage und zur Erhöhung der Akzeptanz
- **Methoden und Architekturen** zur Erhöhung der Verlässlichkeit der Energieversorgung : Ausfallsicherheit, Schutz vor Angriffen („Cyber Security“), Vertrauenswürdigkeit,...

- **Neue Ausrichtung der Informatik** auf die speziellen Anforderungen an den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien in vernetzten Energiesystemen.
- **Effektive und effiziente Information** über den aktuellen Zustand der relevanten Komponenten in Transport- und Verteilnetzen (Dezentralität)
- Gestaltung von **Systemdienstleistungen** wie Blindleistungskompensation, Demand Response (Ausgleichsenergie), Lastverschiebung (decentralized demand and supply management)
- **Mensch-Maschine-Schnittstellen** zur Erschließung und Ausschöpfung des Potentials an Flexibilisierung der Nachfrage und zur Erhöhung der Akzeptanz
- **Verteilte Systemintelligenz** zur Unterstützung und Optimierung des Energiemanagements (lokal, regional, cloud; autonomic, organic,...)
- **Methoden und Architekturen** zur Erhöhung der Verlässlichkeit der Energieversorgung: Ausfallsicherheit, Schutz vor Angriffen („Cyber Security“), Vertrauenswürdigkeit,...

Effekte von Elektrofahrzeugen (EVs)

- Mobilität in Deutschland, (Umfrage 2008):
 - Mittlere tägliche PKW Nutzung **< 1 h, 94% der Fahrten < 50 km**
 - Mittlere Kapazität der Batterien der EVs: **20 kWh**
 - Bei 1 Million BEVs (Ziel für 2020):
verfügbare Speicherkapazität von ~ **20 GWh**
 - Laden mit 3,7 kW: ~ **3,7 GW** potentielle Lade-/Entladeleistung
 - Folglich: **hohe Last**, potentiell auch **hohe Leistung**
(falls Rückspeisung möglich)
 - Mittlere Ladezeit:
 - Einphasig 3,7 kW: 5 bis 7 Std.
 - Dreiphasig 10 kW: ~ 2 Std (aber hohes Risiko der Netzüberlastung!)
- Potentiell **hohe Flexibilität für Lastverschiebung**,
aber auch potentiell **hohe Spitzenlast!**
 - hohes Potential für Netzstabilisierung durch **intelligente Ladesteuerung**

Potential der Lastbalancierung durch Elektromobile



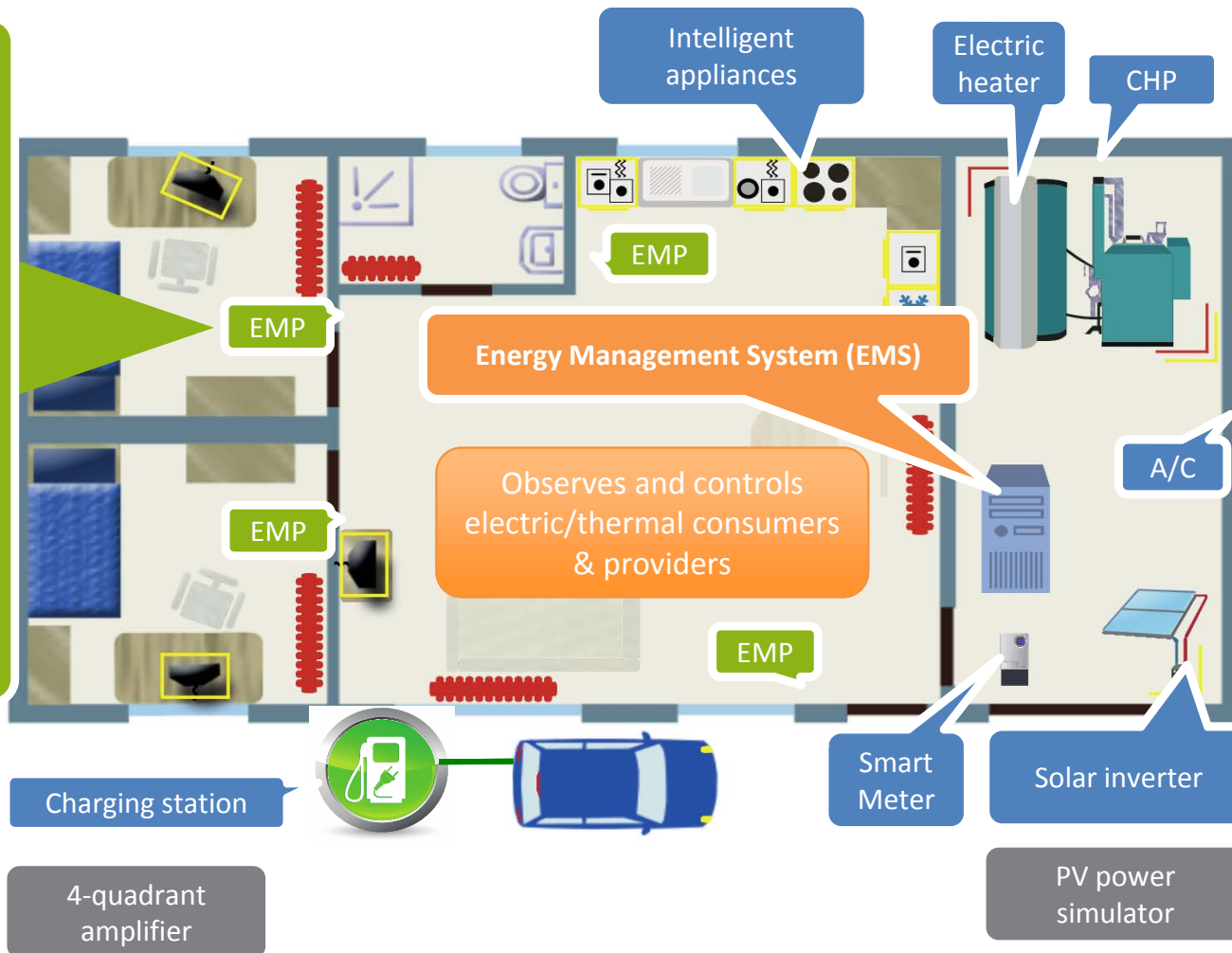
Energy Smart Home Lab on KIT Campus



Energy Management Panel (EMP)

Visualisation of energy usage

Discover user preferences



■ Smart Home

□ Intelligente Haushaltsgeräte

- Können kommunizieren (mit zentraler Instanz/untereinander).
- Kennen ihren Zustand, können Zustand kommunizieren.
- Können auf Steuerung reagieren.

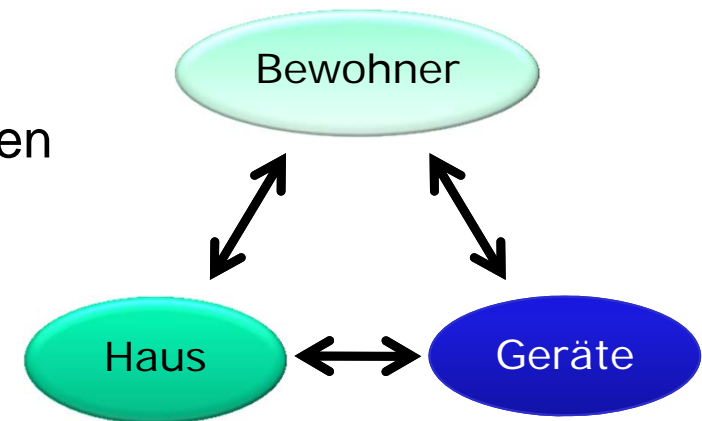
□ Auto

- Als mobiler Speicher an Haus angeschlossen
- Bidirektionale Nutzung
- Großer Verbraucher/Erzeuger

□ Dezentrale Stromerzeuger (PV/BHKW)

□ PCM Decke (Kühlung)

□ Simulationskomponente („4-Quadrantensteller“)



■ Interaktion Geräte, Bewohner, Haus

- Möglichst wenig Interaktion mit Bewohner, viel automatisieren
- Vorschläge unterbreiten („Waschmaschine u. Geschirrspüler morgens vorbereiten...“ => können tagsüber eingeplant werden)

Benutzerinteraktion im Energy Smart Home Lab

Energy Management Panel



Spielräume erschließen

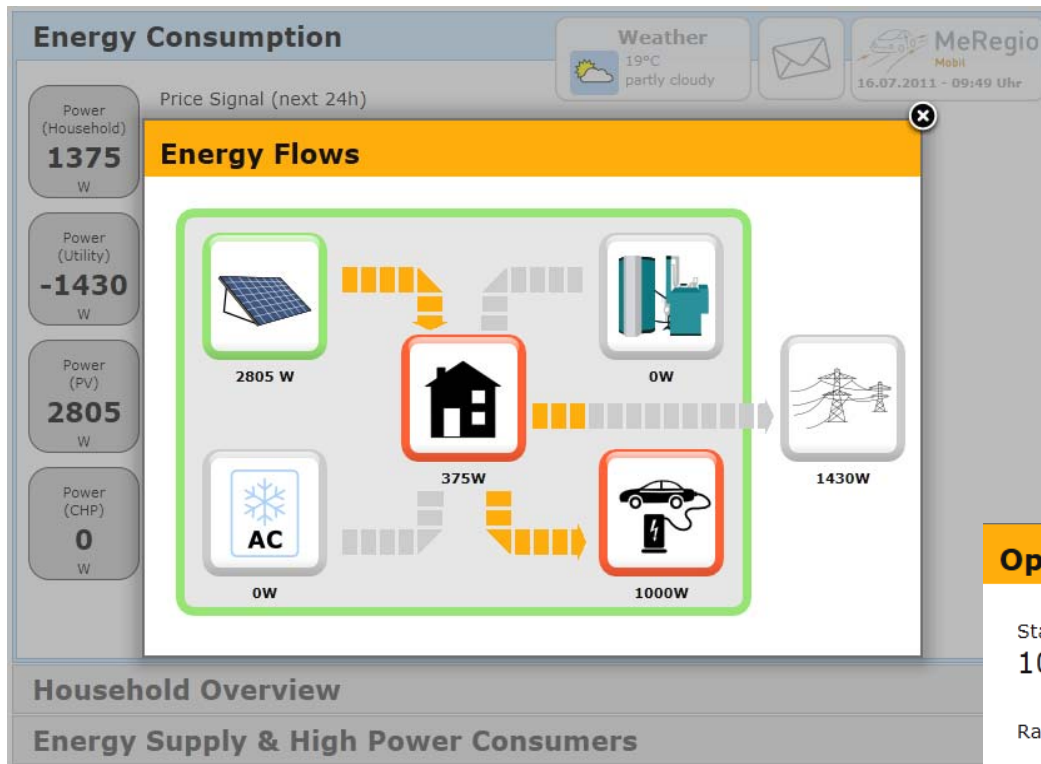
- Eingabe zeitlicher Freiräume
- Konfiguration von Benutzerpräferenzen

Informieren

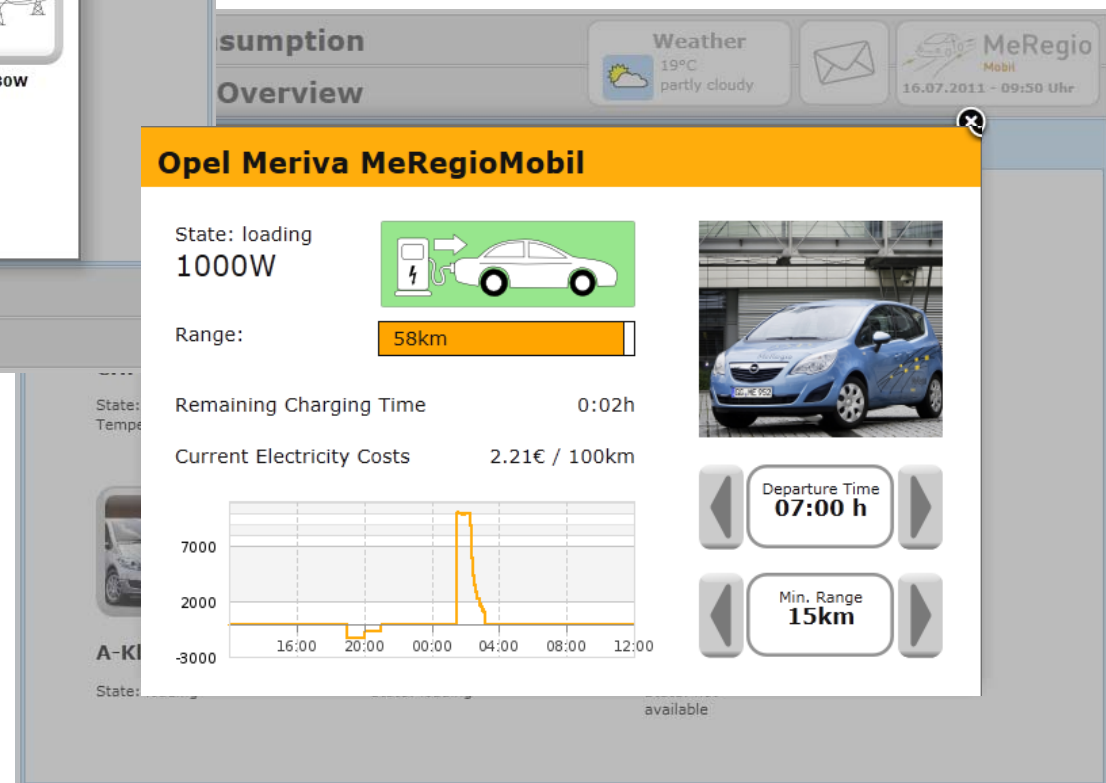
- Transparente Information über aktuellen Energieverbrauch
- Information über Verbrauchshistorie



- Transparente Information über aktuellen Energieverbrauch
- Information über Verbrauchshistorie



- Eingabe zeitlicher Freiräume
- Konfiguration von Benutzerpräferenzen



Energiedaten

Wohnung

Küche

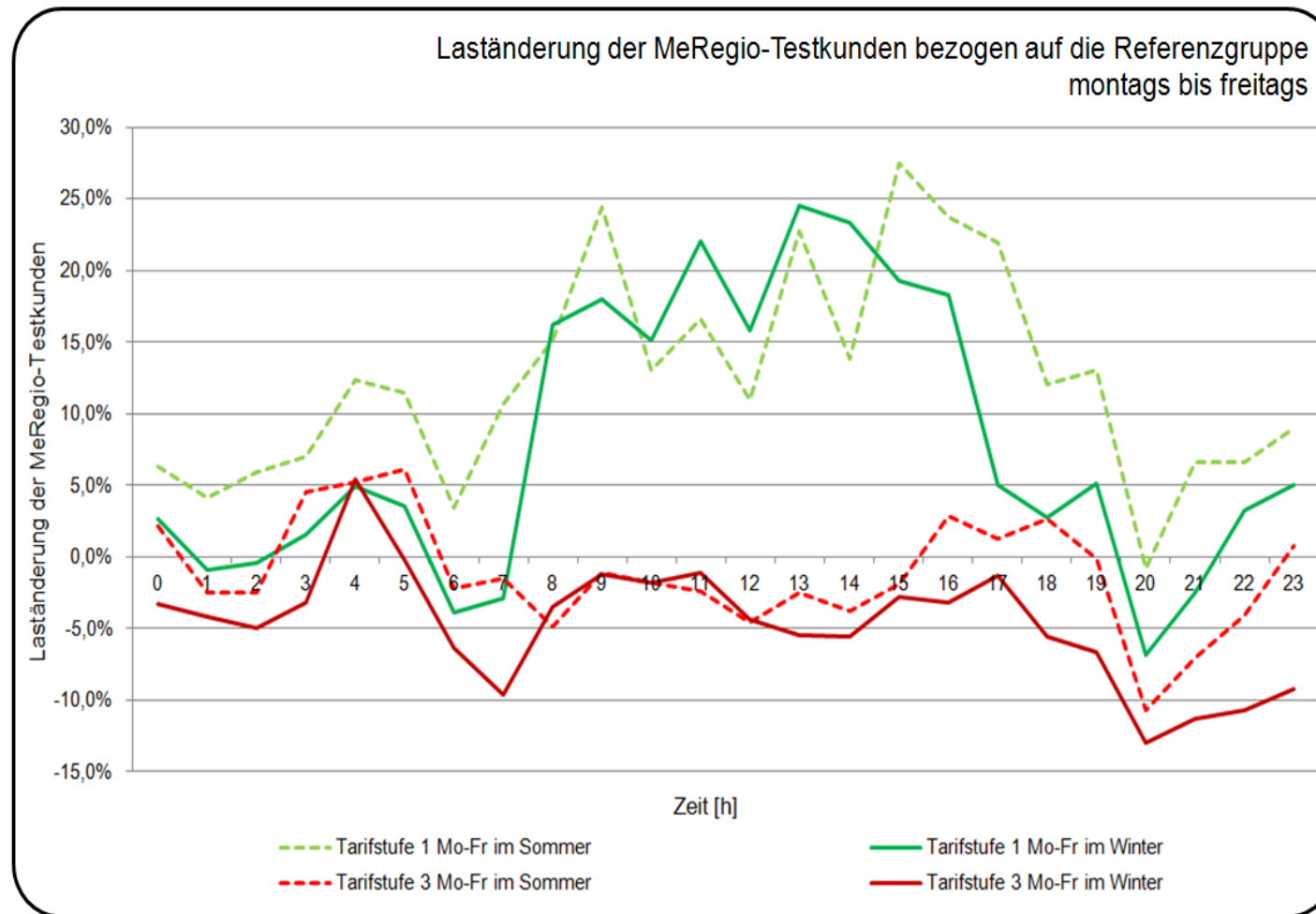
	Kochfeld Leistung: 0 W Status: aus		Backofen Leistung: 2586 W Status: an
	Waschmaschine Leistung: 0 W Status: aus		Trockner Leistung: 0 W Status: aus
	Geschirrspüler Leistung: 0 W Status: an		Kühlschrank Leistung: 0 W Status: an
	Gefrierschrank Leistung: 0 W Status: an		Kaffeemaschine Leistung: 0 W Status: aus

Erzeuger & Auto

**MeRegio**
Mobil
21.02.2011 - 16:30 Uhr



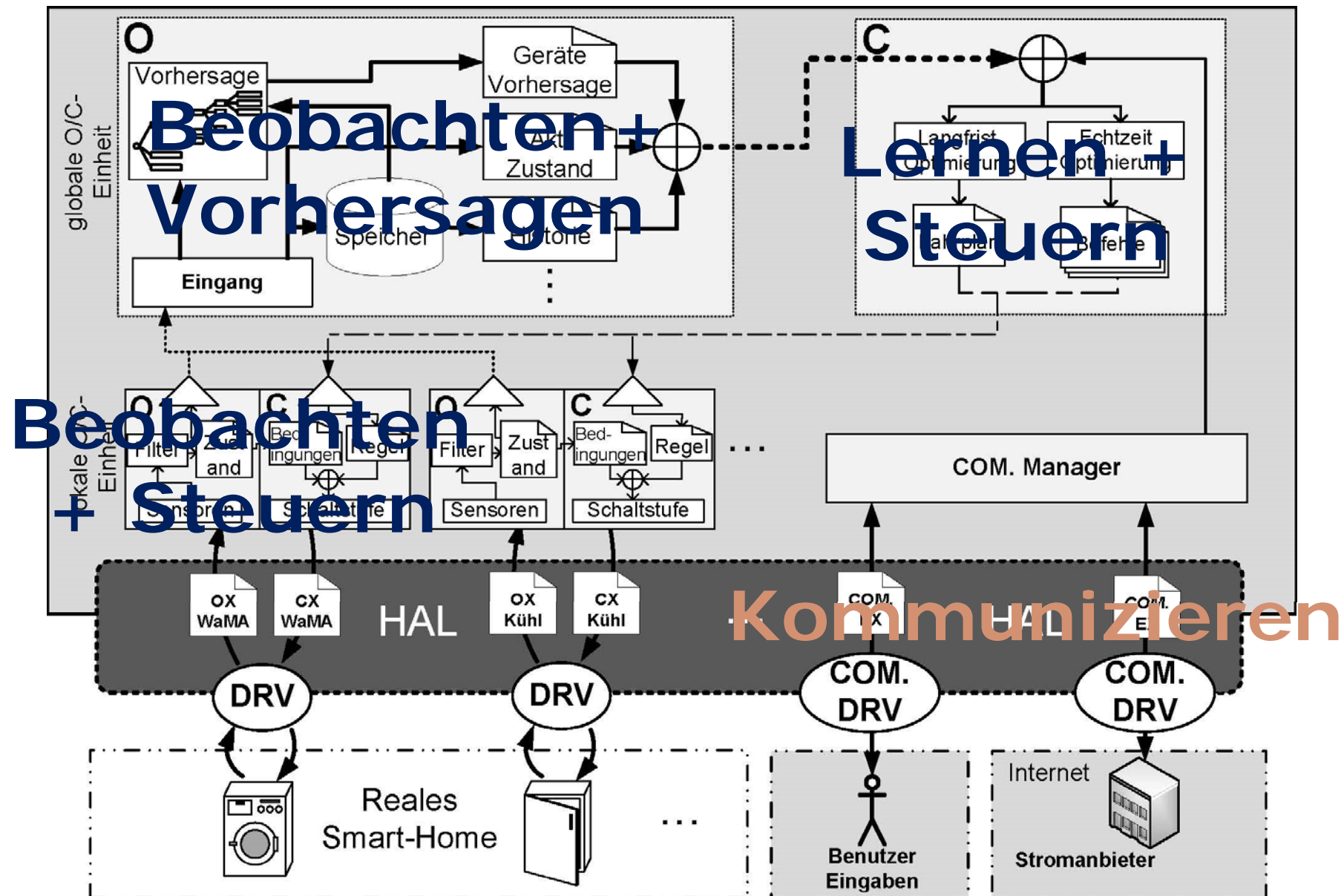
Nachfragereaktionen im Feldtest MeRegio



[Hillemacher et al.
2012]

- Der Verbrauch steigt in Stunden mit günstigen Tarifen (grüne Linien) und sinkt in Stunden mit teuren Tarifen (rote Linien), Verschiebungspotential bis zu 30%
- Größtes Potenzial zur Lastreduktion: In den frühen Morgenstunden und in den Abendstunden
- Größtes Potenzial der Laststeigerung: In den späten Morgenstunden und am frühen Nachmittag

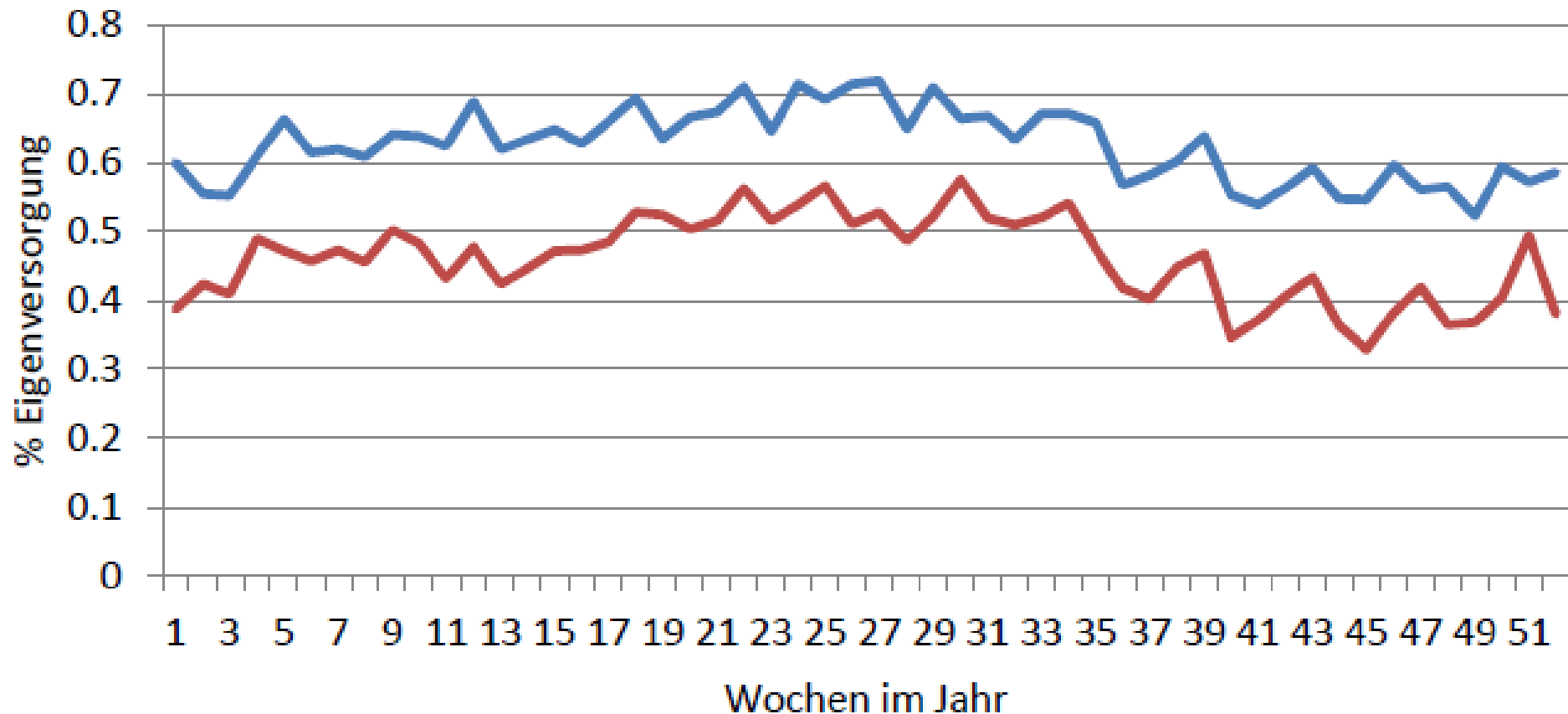
Energiemanagement-System: Software-Architektur



Verbesserung der Eigenversorgung durch Lastoptimierung

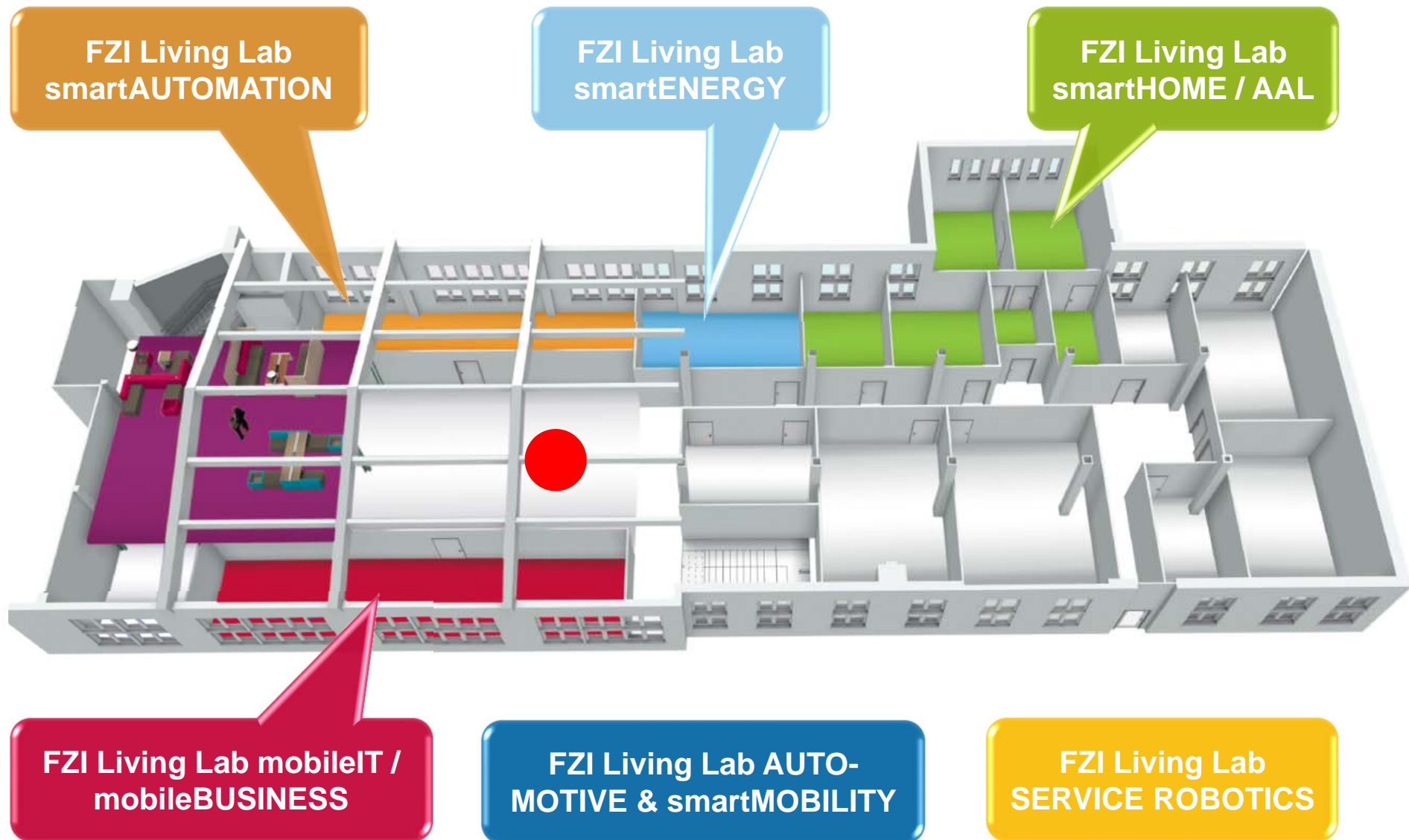
- Anteil der Eigenversorgung mit Strom aus PV und μ -BHKW
(typisches Profil eines 5-Personenhaushalts, ohne stationäre Speicher)

— optimiert — nicht optimiert

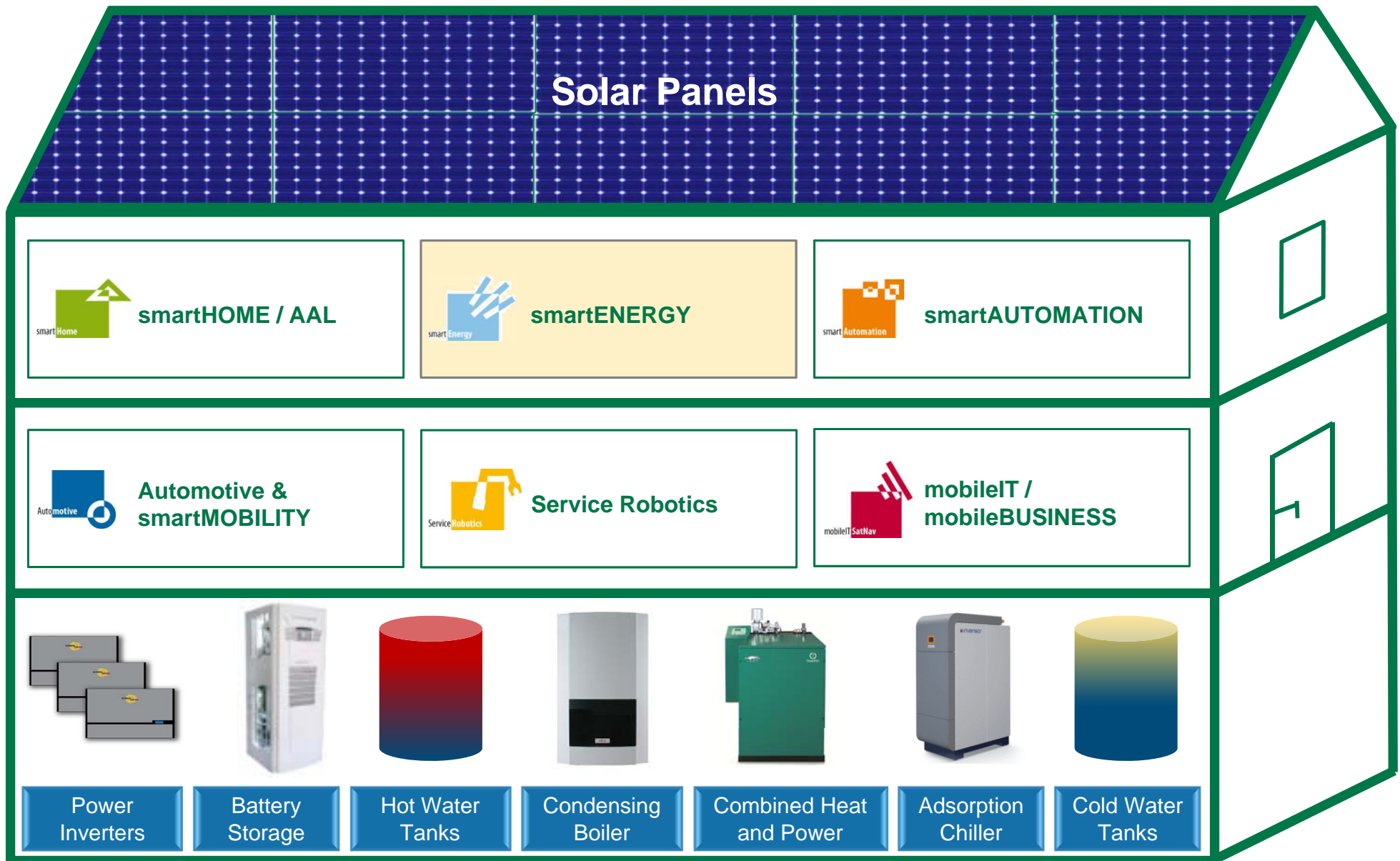


Quelle: F. Allering

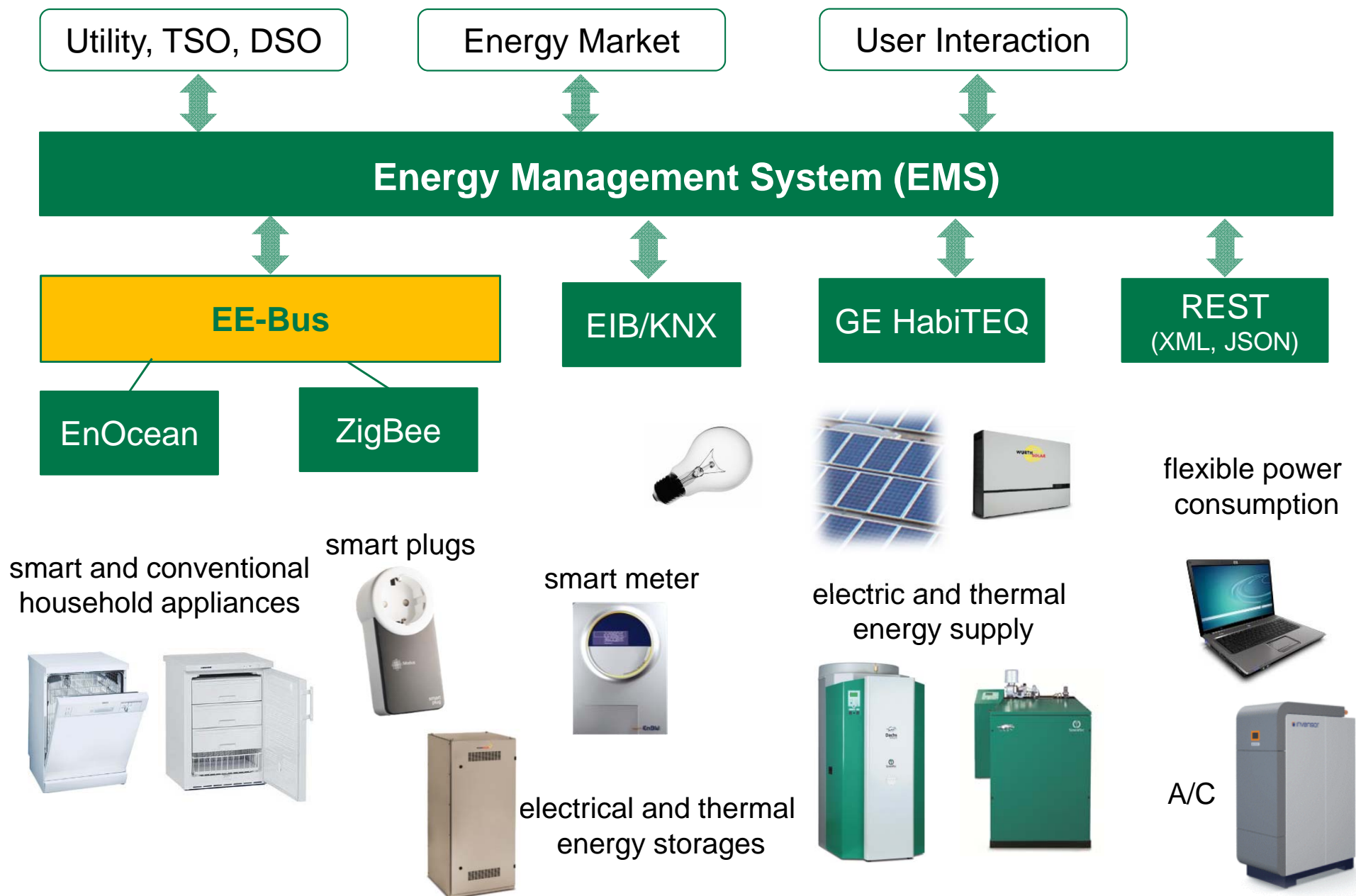
FZI House of Living Labs (HoLL)



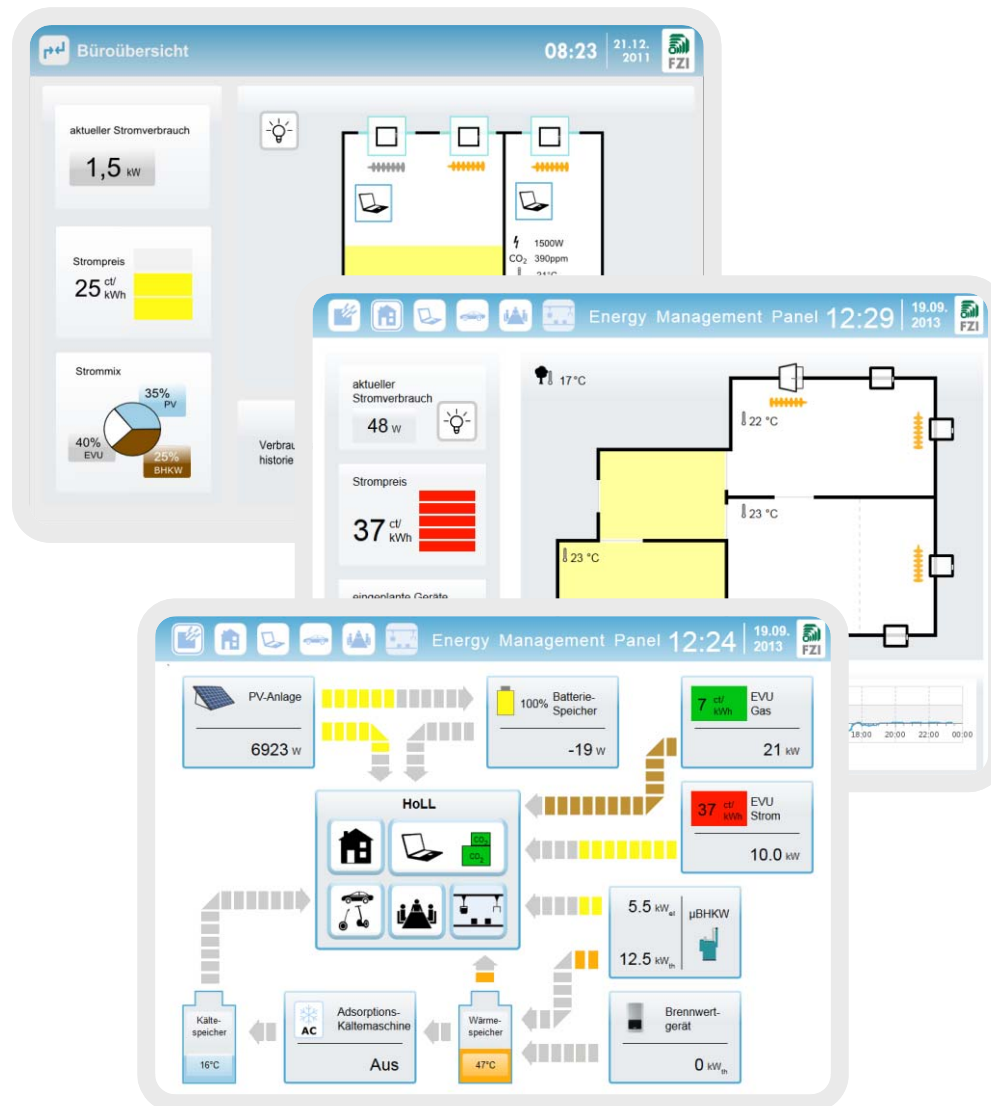
FZI House of Living Labs (HoLL)



Living Lab smartEnergy: Kommunikation und Schnittstellen

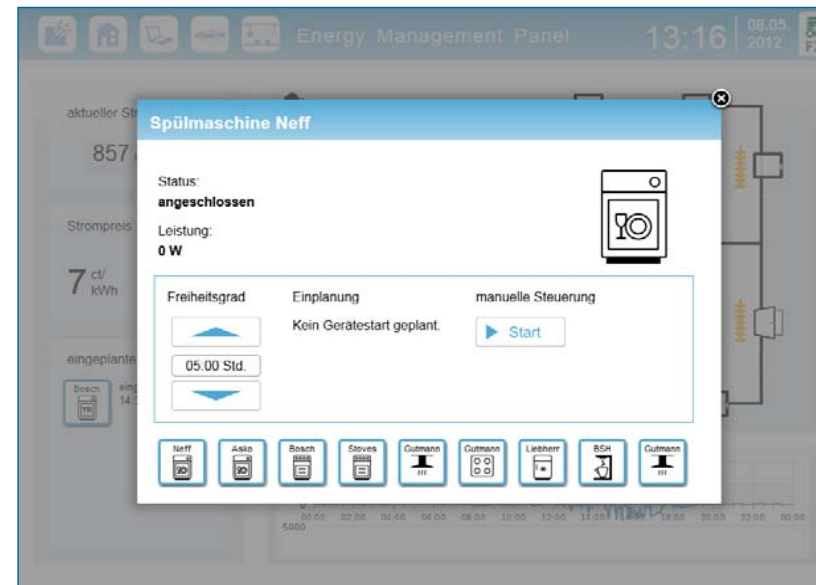
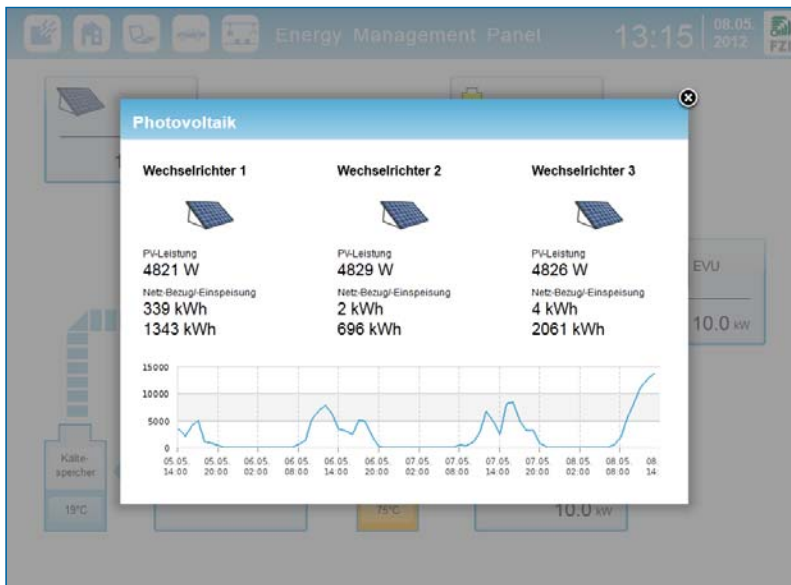
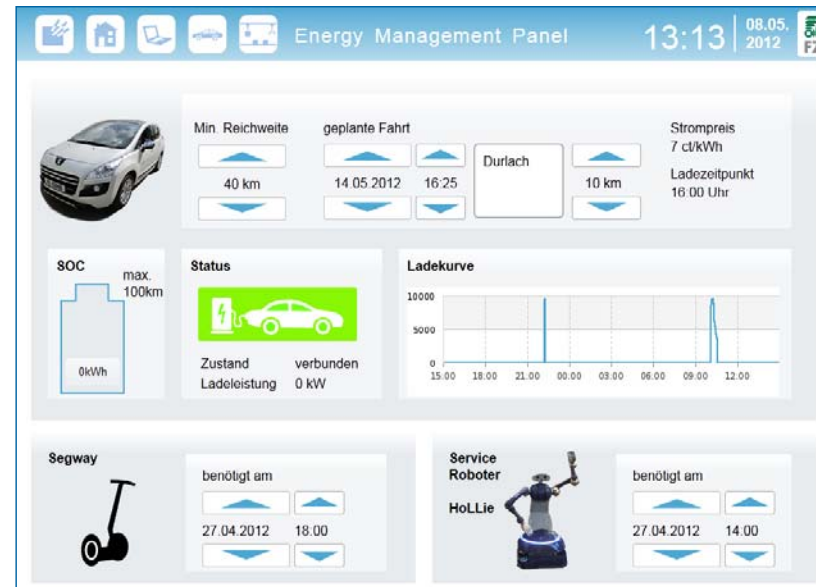
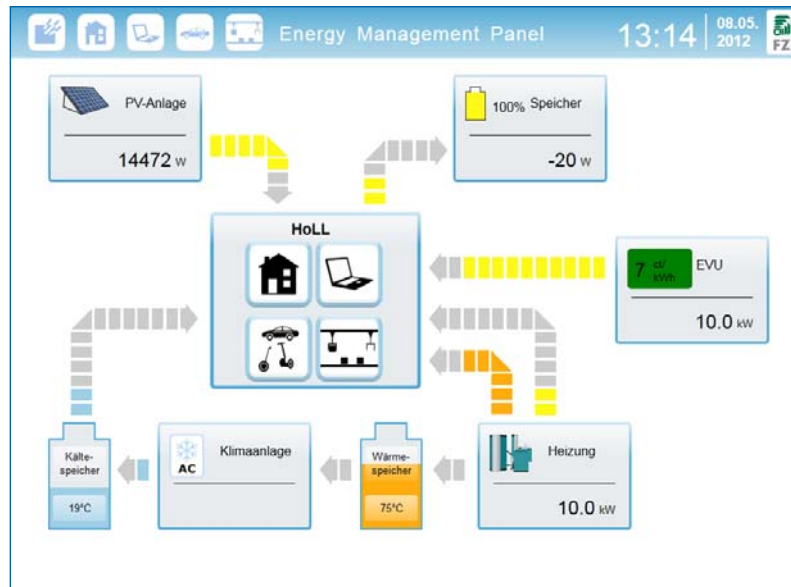


Energy Management Panel



- Echtzeit**visualisierung** der Energieflüsse im Gebäude
- Verbesserung der **Wahrnehmung** des eigenen Energieverbrauchs
- Information über den **aktuellen Zustand** der Energiekomponenten im Gebäude
- Erschließung und Management von **Nutzerpräferenzen** ("Freiheitsgrade")
- Optimierung des **Eigenverbrauchs** des erzeugten Stroms

Energy Management Panel (EMP) im HoLL



Elektrische Infrastruktur

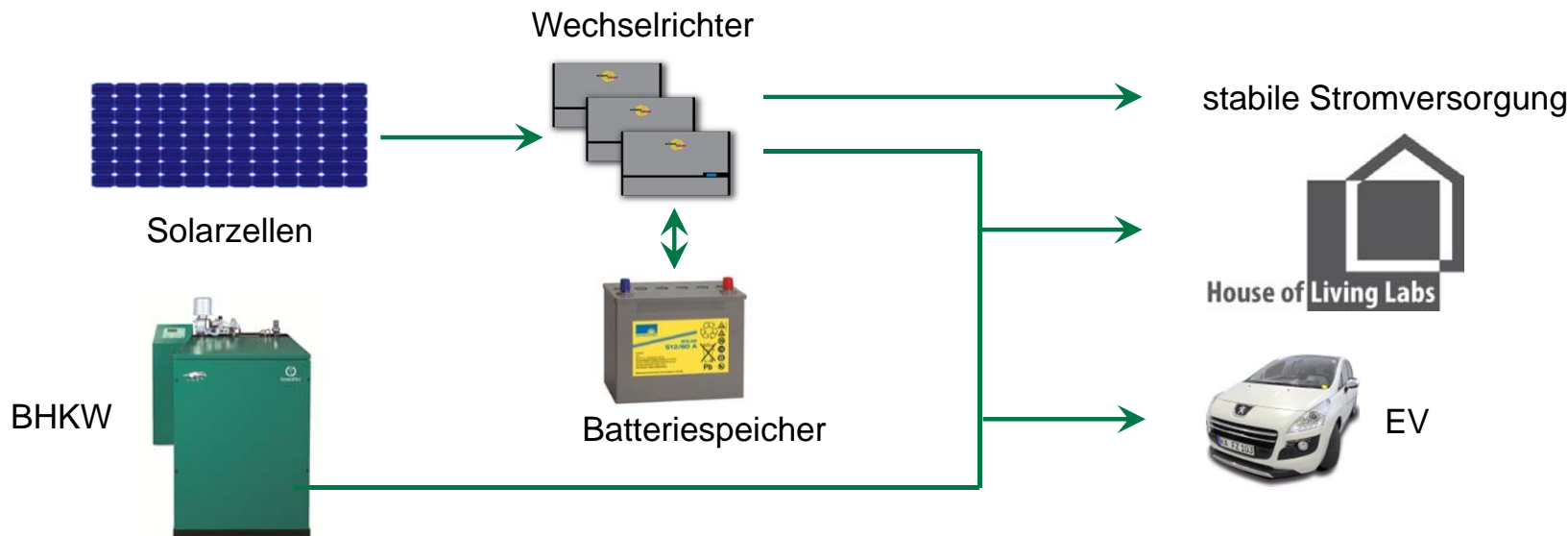
Elektrische Energieversorgung

- PV System (15 kW_p)
- BHKW (5.5 kW_{el})
- Wechselrichter (à 5.5 kW)

Elektrische Energiespeicherung

- Batteriespeichersystem (30 kWh)
- EV (30 kWh)

flexible Kombination von
elektrischer Energieversorgung,
-verbrauch und -speicherung



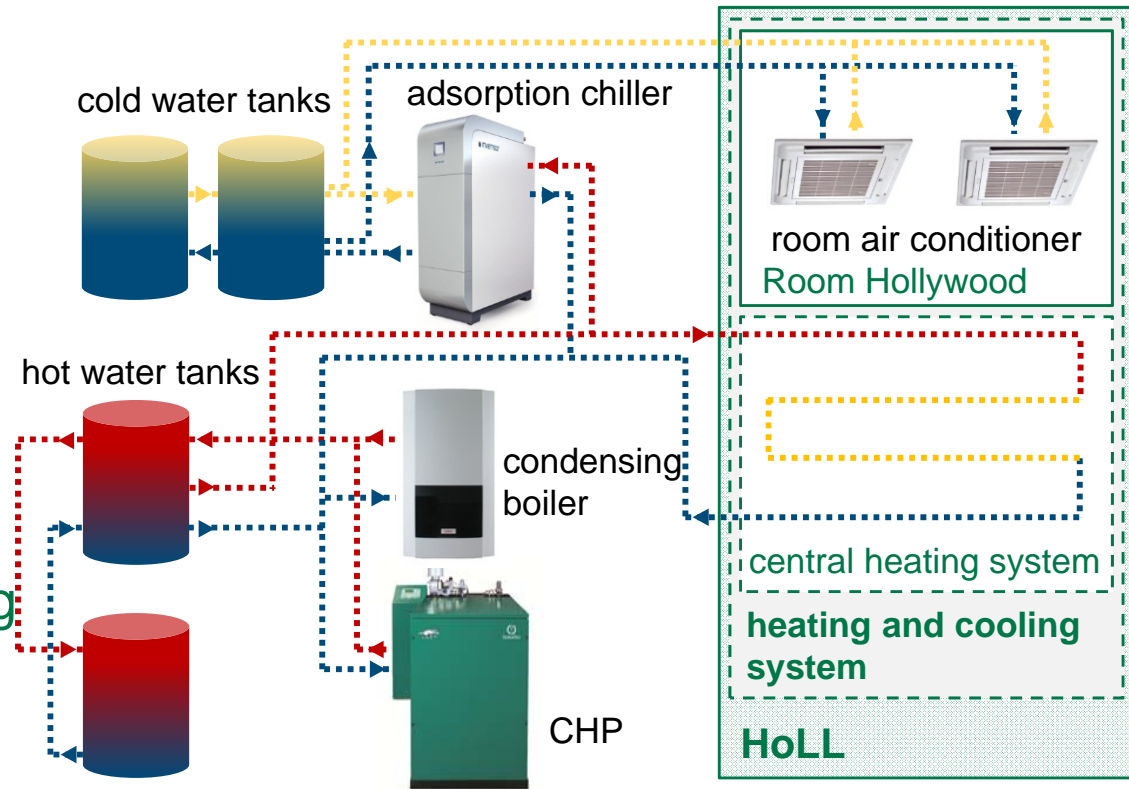
Thermische Infrastruktur

Thermische Energieversorgung

- Heizungssystem
 - BHKW ($12 \text{ kW}_{\text{th}}$)
 - Zusatzbrenner ($100 \text{ kW}_{\text{th}}$)
- Kälteanlage
 - Adsorptionskältegerät (9 kW_{th})

Thermische Energiespeicherung

- Heißwassertanks
- Kaltwassertanks

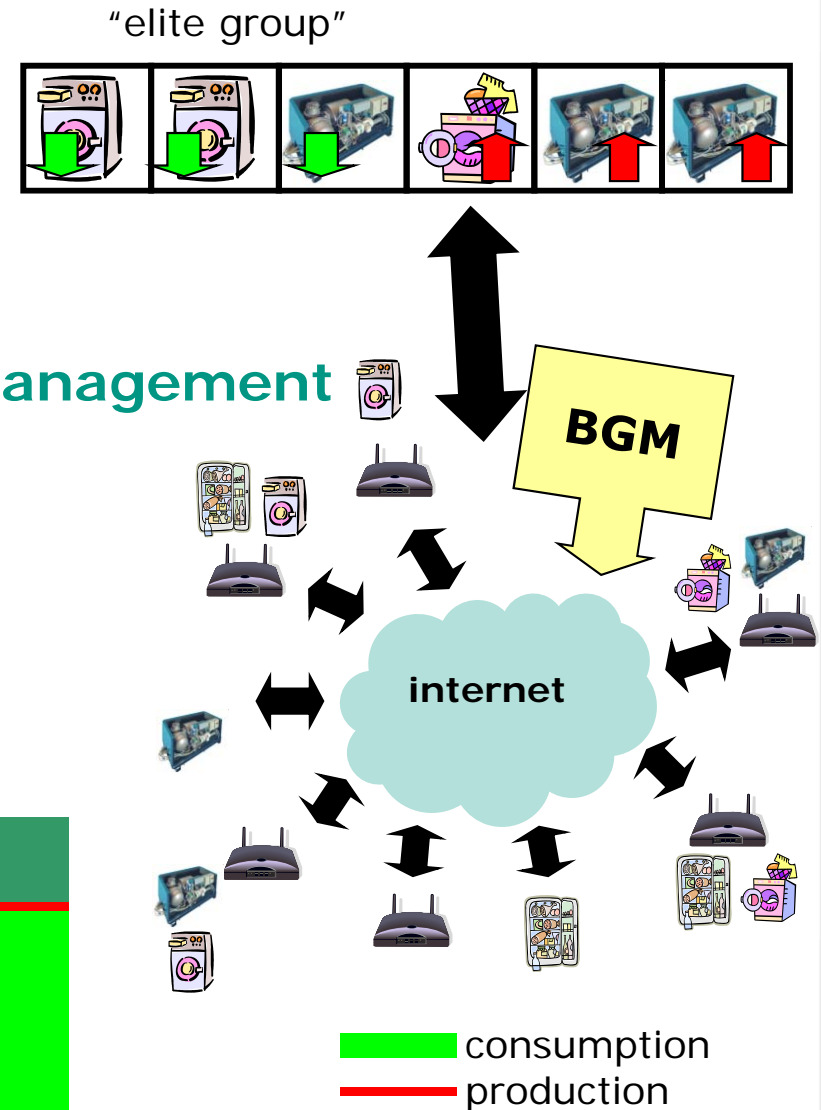
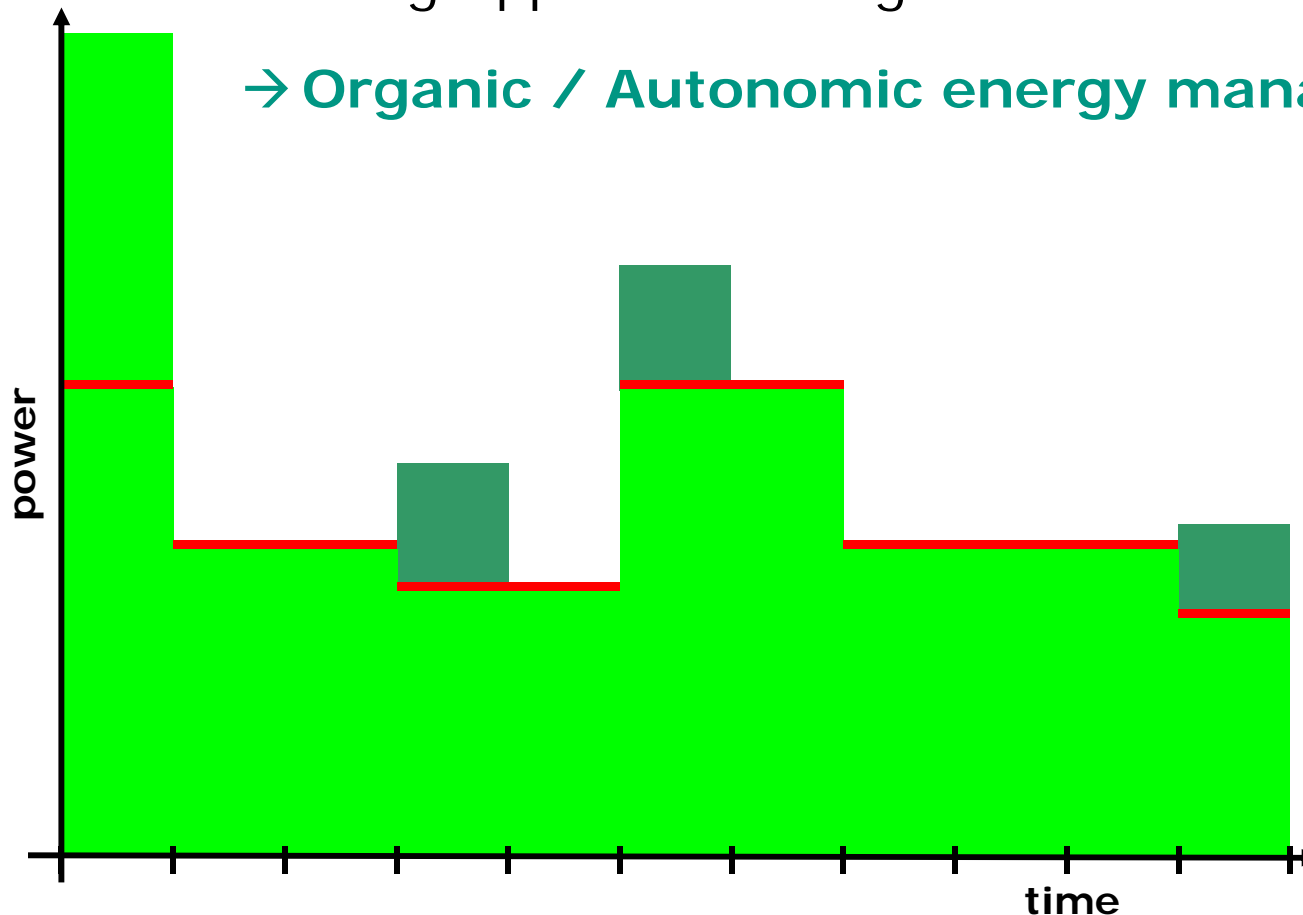


- Entkopplung von Versorgung und Nachfrage bezüglich Heizen und Kühlen
- Flexibilität der thermischen und elektrischen Energiesteuerung

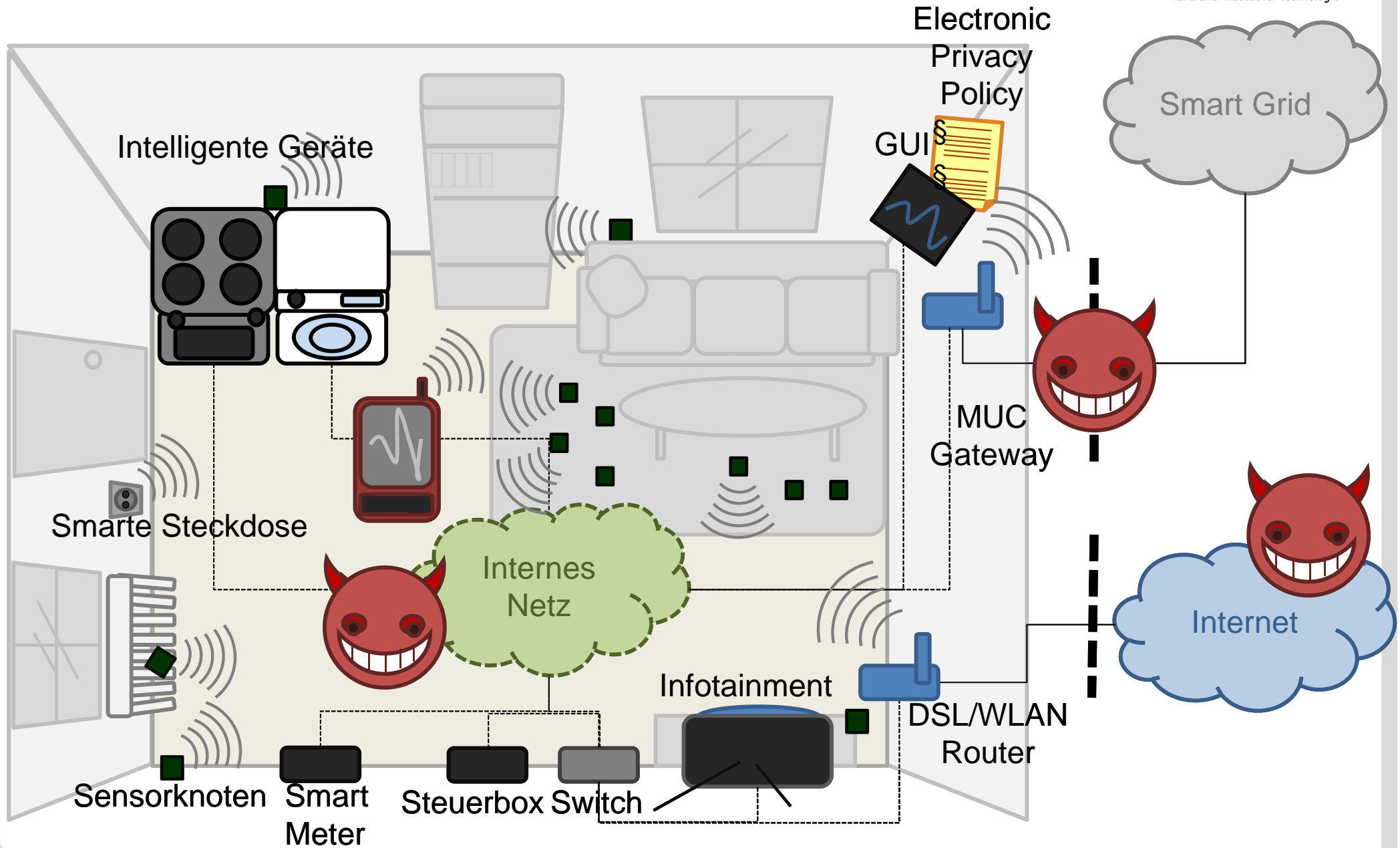
Gesteuert selbstorganisierendes Energiemanagement

- Verschiebe Lastabweichungen auf später
- Beachte Restriktionen der Geräte
- Nutze Elitegruppe für sofortige Reaktion

→ Organic / Autonomic energy management



Sicherheit im SmartHome der Zukunft



- **Neue Ausrichtung der Informatik** auf die speziellen Anforderungen an den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien in vernetzten Energiesystemen.
- **Effektive und effiziente Information** über den aktuellen Zustand der relevanten Komponenten in Transport- und Verteilnetzen (Dezentralität)
- Gestaltung von **Systemdienstleistungen** wie Blindleistungskompensation, Demand Response (Ausgleichsenergie), Lastverschiebung (decentralized demand and supply management)
- **Mensch-Maschine-Schnittstellen** zur Erschließung und Ausschöpfung des Potentials an Flexibilisierung der Nachfrage und zur Erhöhung der Akzeptanz
- **Verteilte Systemintelligenz** zur Unterstützung und Optimierung des Energiemanagements (lokal, regional, cloud; autonomic, organic,...)
- **Methoden und Architekturen** zur Erhöhung der Verlässlichkeit der Energieversorgung: Ausfallsicherheit, Schutz vor Angriffen („Cyber Security“), Vertrauenswürdigkeit,...

- Umbau des Energiesystems bringt zwangsläufig Wandel von zentralen zu dezentralen Strukturen.
 - Vielzahl von Herausforderungen nicht nur an Informatik und Energietechnik, auch an rechtliche, wirtschaftliche und soziale Rahmenbedingungen
 - Vielzahl von Möglichkeiten für neue Services und Geschäftsmodelle
 - Beiträge der Energieinformatik haben hohes Potential für Erhöhung der Verlässlichkeit und für Stabilisierung des Energiesystems, nicht nur im Smart Home, sondern in „Smart Locations“ (KMU, Produktion, Verwaltung,...)
 - Ziel: **Verbesserung von Effizienz, Flexibilität und Verlässlichkeit des Energiesystems durch intelligente Steuerung ohne Komfortverlust.**
- **Beiträge der Energieinformatik in sinnvoller Verbindung mit Energie- und Regelungstechnik werden entscheidend für das Gelingen der Energiewende!**

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Fragen??

Prof. Dr. Hartmut Schmeck

KIT Campus-Süd

Institut AIFB – Geb. 05.20

76133 Karlsruhe

hartmut.schmeck@kit.edu

www.aifb.kit.edu

www.computation.kit.edu

<http://meregiomobil.forschung.kit.edu>

www.fzi.de

KIT Campus-Nord

Institut für Angewandte Informatik

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Deutschlands Weg zu einem Internet der Energie



ICT FOR ELECTROMOBILITY





Aufbruch zu MeRegio Minimum Emission Regions

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

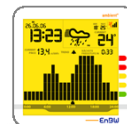


Forschungsthemen/ Szenarien



Energietechnik

- Intelligente Zähler
- Hybride Erzeugung
- Demand Side Management
- Verteilungsmanagement



Energiemärkte

- Dezentraler Handel
- Preisanreize an der Steckdose
- Premium Services
- Systemoptimierung



IKT

- Echtzeitmessung
- Sicherheit und Verlässlichkeit
- Systemsteuerung & Abrechnung
- Nichtabstreitbare Transaktionen

Modellegion mit ~ 1000 Teilnehmern (Freiamt + Göppingen)

5 Lehrstühle am KIT:

Energiewirtschaft, Informatik, Telematik, Management, Recht

Ziele

- Optimierte Stromerzeugung und -verbrauch vom Erzeuger bis zum Endverbraucher
- Intelligente Kombination neuer Erzeugungstechnik, DSM und IKT
 - Preis- und Steuersignale für effiziente Energiezuteilung
 - Kraftwärmekopplung
- MeRegio Zertifikat für Energiemanagement

Partner





Forschungsfrage / Szenario



[source: EnBW AG]

Methodik

- Computer Simulationen
- Feldtest mit Elektrofahrzeugen und ca. 300 Ladepunkten
- Demonstrations- und Forschungslabor

11 Lehrstühle des KIT: Elektrotechnik(2), Energiewirtschaft, Informatik (6), Management, Recht

Ziele

- Intelligente & effiziente Integration von Elektrofahrzeugen ins Elektrizitätsnetz
- Technologiebewertung und Umsetzbarkeit unter realen Bedingungen
- Direkte Integration in die MeRegio Pilotregion
- Kompetenzzentrum am KIT (Demo- und Forschungslabor)

Partner

