

Smart Grids: Bisherige Forschungsergebnisse und zukünftige Herausforderungen

Prof. Wolf Fichtner, Dr. Patrick Jochem, Dr. Valentin Bertsch

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Lehrstuhl für Energiewirtschaft

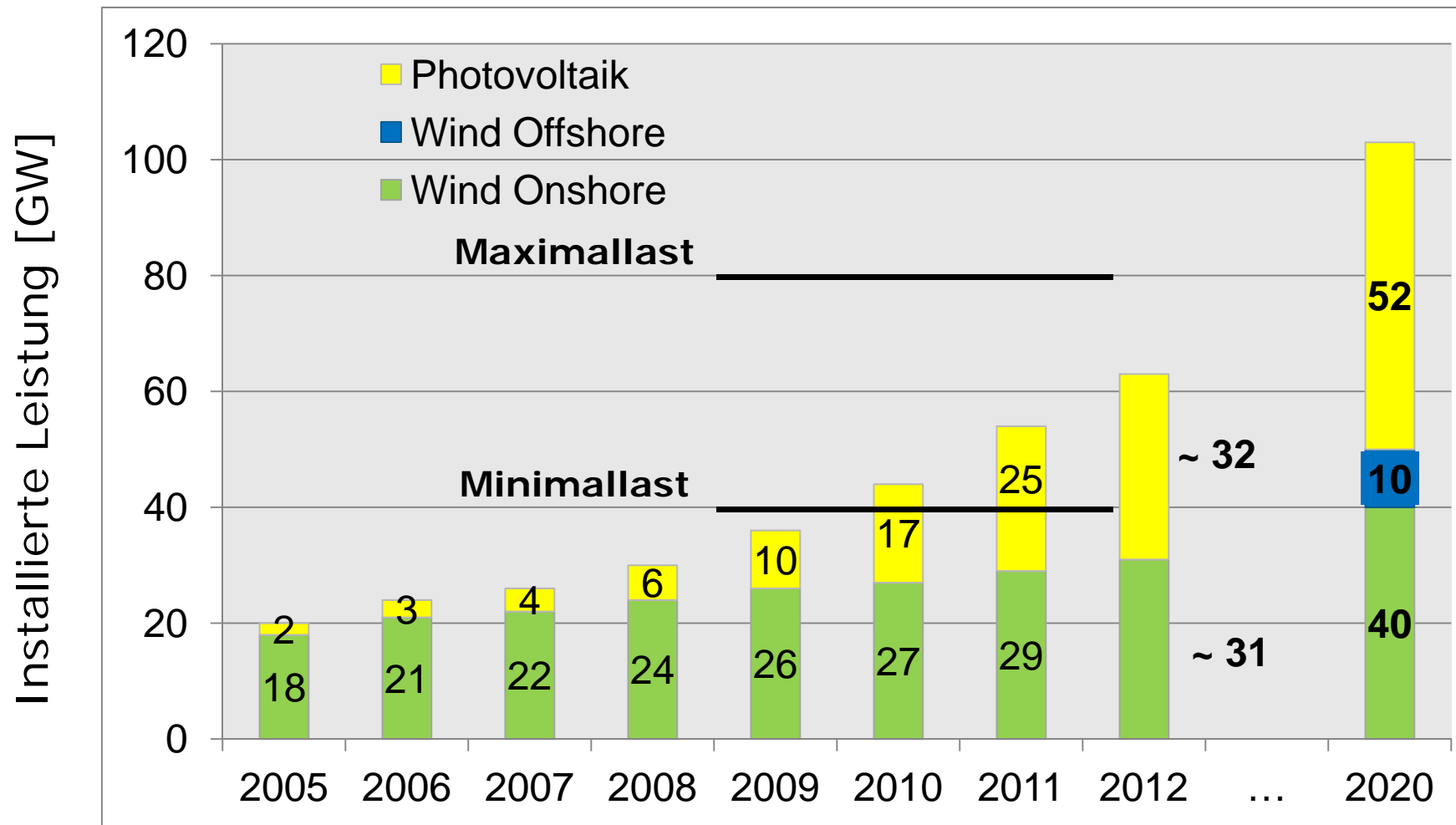
mit Beiträgen von Prof. T. Leibfried, IEH, und Prof. H. Schmeck, AIFB



Gliederung

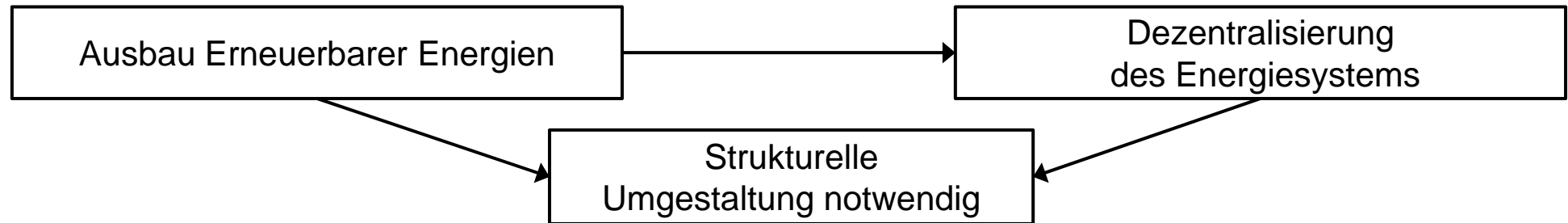
- 1) Motivation
- 2) Bisherige Forschungsergebnisse
- 3) Zukünftige Herausforderungen
- 4) Zusammenfassung

Photovoltaik und Windenergie in Deutschland



Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2012

Derzeitige Herausforderungen in der Energiebranche

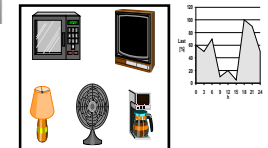
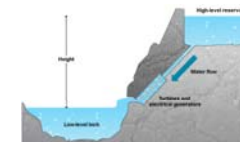


Herausforderungen (Auswahl)

- Regionale Ungleichgewichte zwischen Erzeugung und Verbrauch
- Umkehr der “klassischen” Energieflussrichtung in Verteilnetzen durch dezentrale Erzeugung
- Wachsende Zahl von kleineren Akteuren im Markt
- Übergeordnetes Ziel: Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit

Handlungsoptionen (Auswahl)

- Netzausbau
 - Erhöhte Stromimporte und –exporte
 - Erhöhte Aufnahme in Verteilnetzen
- Zubau flexibler Kraftwerke
- Speichertechnologien
- Nachfragemanagement (Demand Side Management (DSM))



Smart Grid: ...Vernetzung von intelligenten Erzeugern, Speichern, Verbrauchern, Netzbetriebsmitteln ...

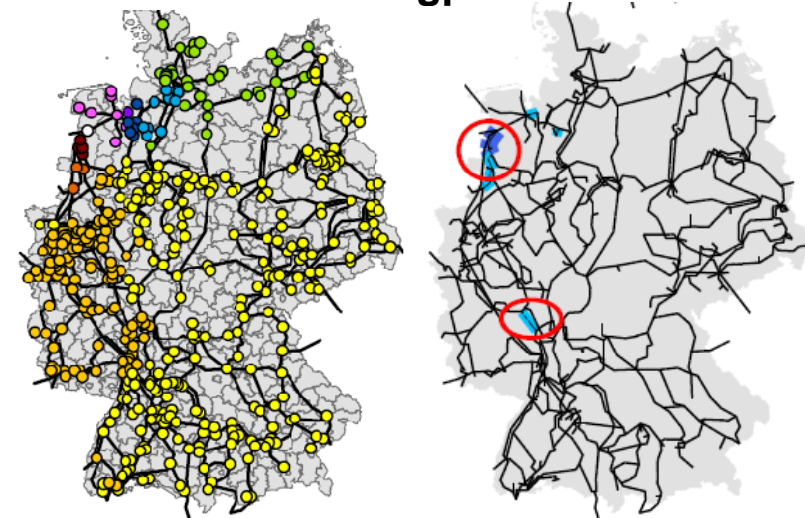
Gliederung

- 1) Motivation
- 2) Bisherige Forschungsergebnisse
- 3) Zukünftige Herausforderungen
- 4) Zusammenfassung

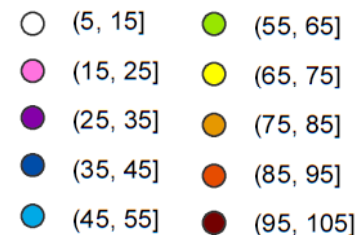
Ausgewählte Forschungsergebnisse: Übertragungsnetze

- Bottom-up Energiesystemmodell
 - Nodal Pricing Ansatz mit DC-Ansatz
- Modellierung des Übertragungsnetzes
 - Ca. 260 Kraftwerksblöcke > 100 MW zu Netzknotenpunkten
 - Ca. 1600 Anlagen < 100 MW kumuliert zu Landkreisen
 - Erneuerbare sind Landkreisen zugeordnet
 - Ca. 1300 Leitungen (220 kV und 380 kV)
- Zunehmend Netzengpässe (vor allem N-S)
 - Netzausbau
 - Netzengpassmanagement

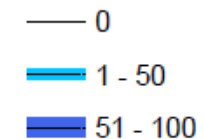
Durchschnittliche Knotenpreise und Engpässe



[EUR/MWh]



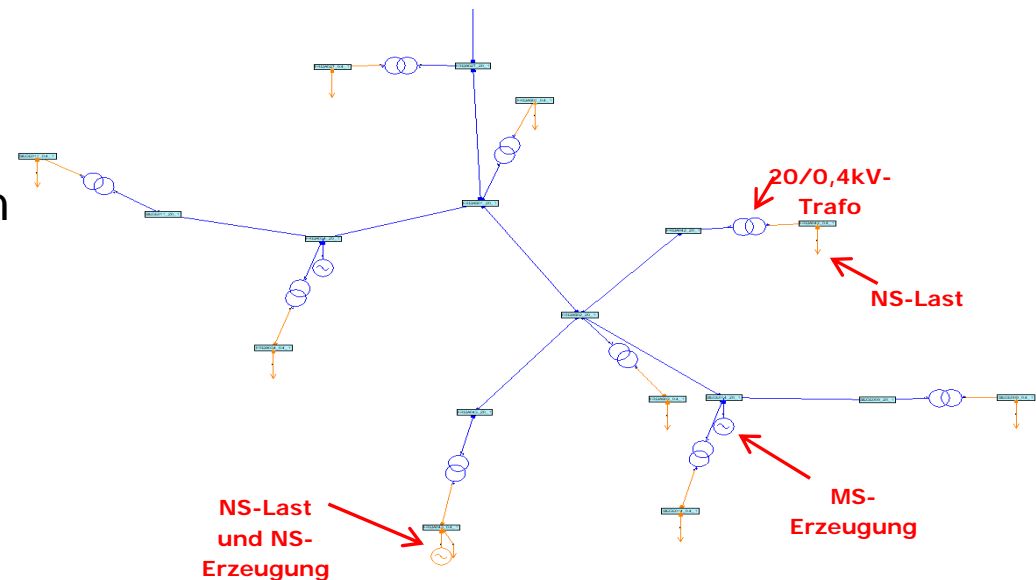
Anteil der Zeitslots mit Engpässen [%]



[Eßer-Frey 2012]

Ausgewählte Forschungsergebnisse: Verteilnetze

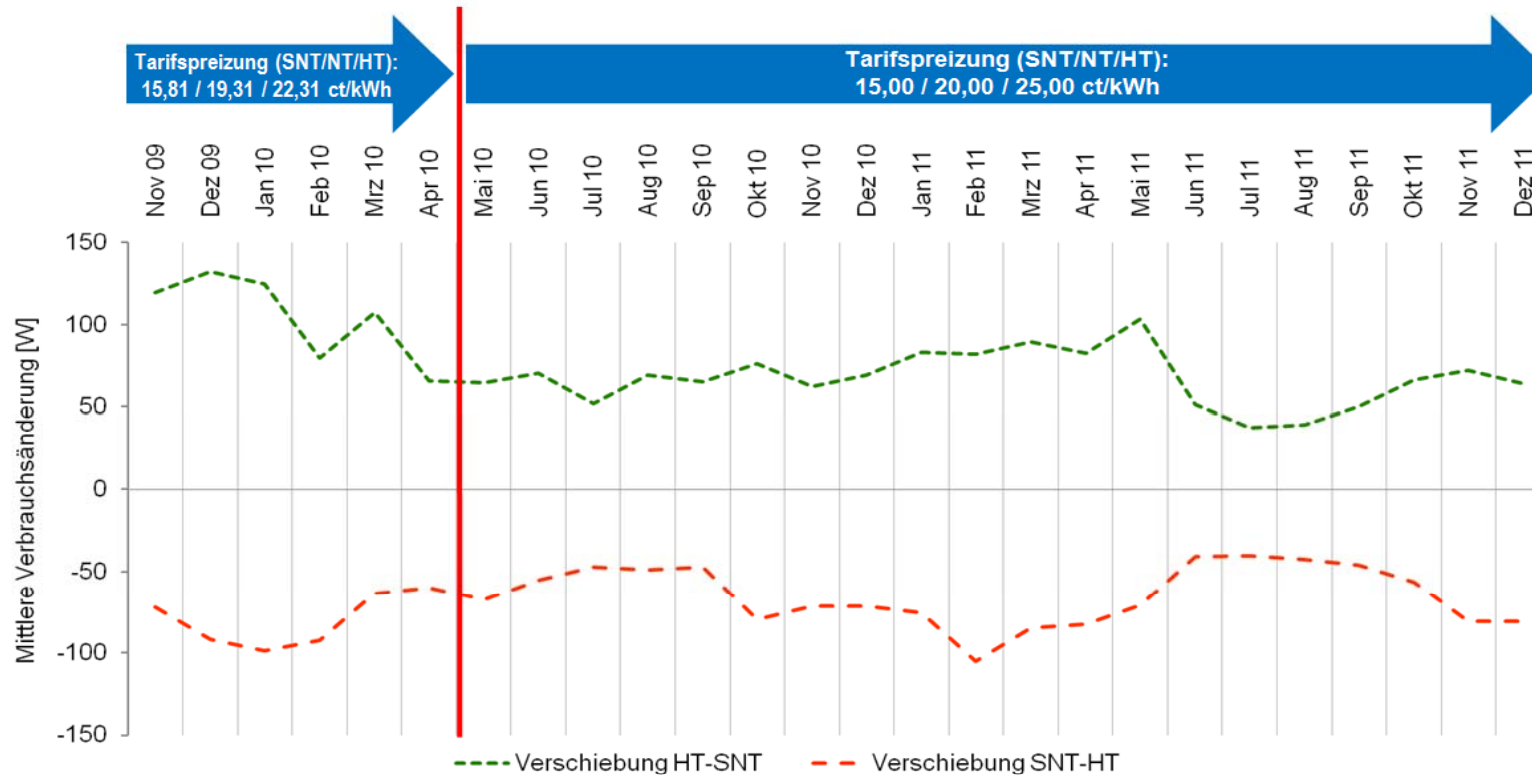
- Abbildung von Verteilnetzen in Modellregionen mit allen Betriebsmitteln wie Leitungen und Transformatoren inklusive dezentraler Erzeugungsanlagen
 - Relativ hohe Einspeisedichte
 - Überschaubares Netz
- Analyse aktueller Lastflüsse
- Aufnahmegrenzen in ländlichen Gebieten
 - Überlastung von Komponenten
 - Probleme mit Spannungshaltung
- Aufzeigen von Lösungsansätzen
 - Leitungsverstärkungen / Leitungsneubau
 - Integration dezentraler Speicher
 - Innovative Betriebsführungsstrategien: Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren
 - Demand Side Management
 - ...



[Nolden et al. 2012]

Ausgewählte Forschungsergebnisse: Nachfragereaktionen im Feldtest

Mittlere Verbrauchsänderungen der MeRegio-Testkunden in Abhängigkeit vom Tarifwechsel

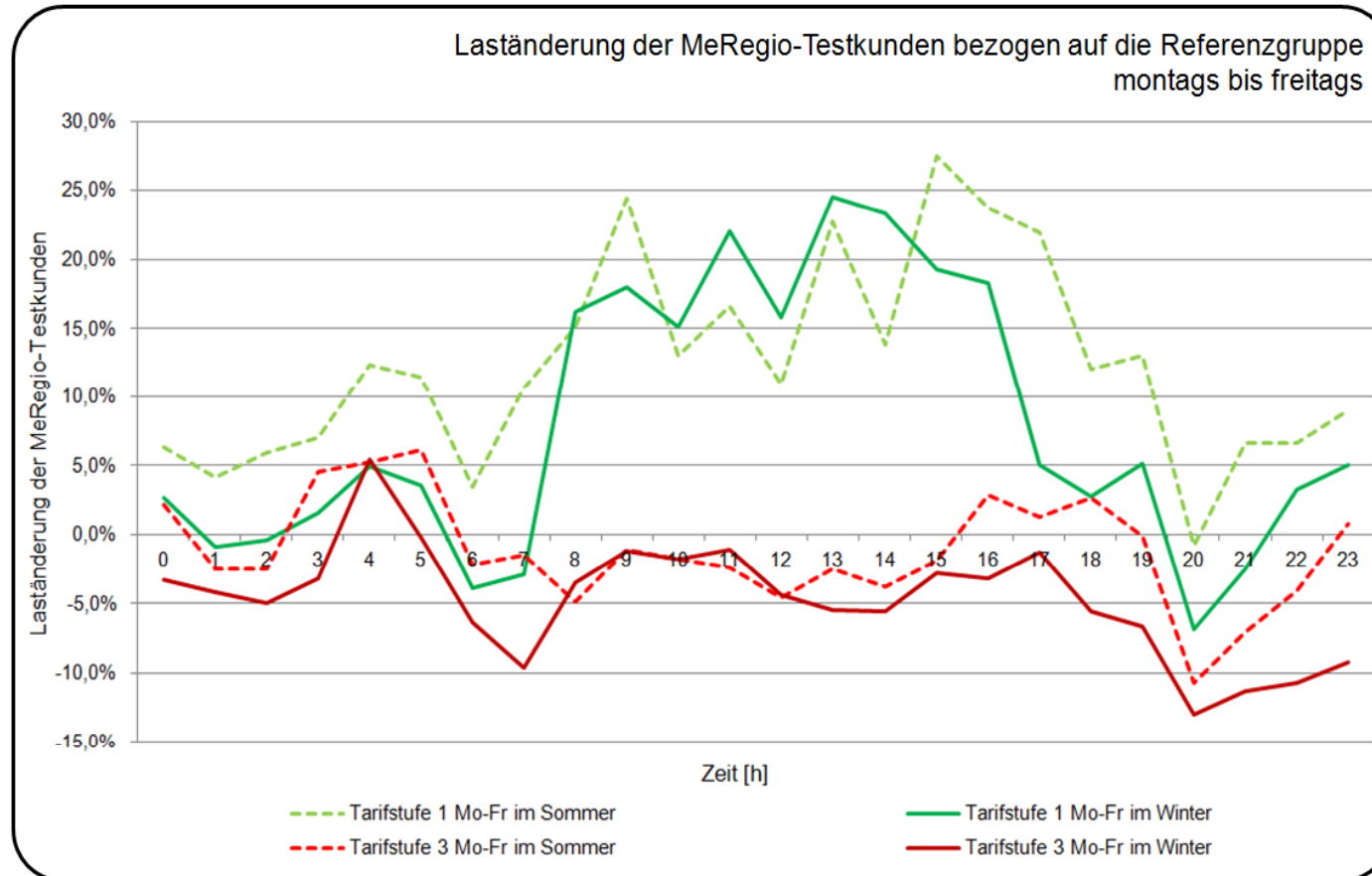


Durchschnittlicher Jahresnormverbrauch der Testkunden: 4851 kWh

[Hillemacher et al. 2012]

- Trotz manueller Reaktionen auf Preissignale: Geringe Sättigungseffekte

Ausgewählte Forschungsergebnisse: Nachfragereaktionen im Feldtest

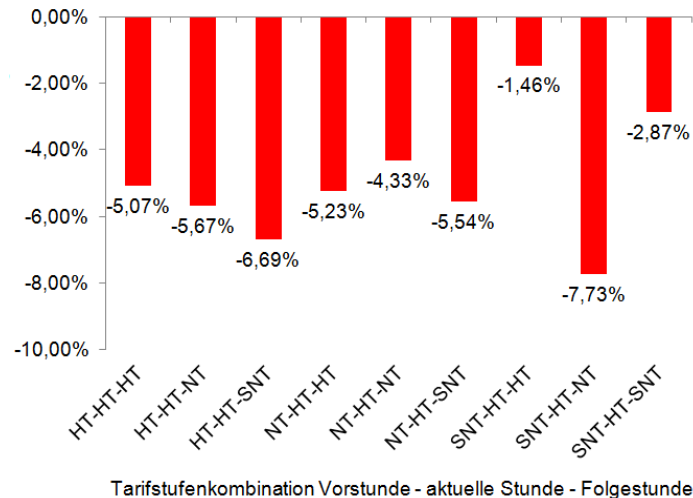
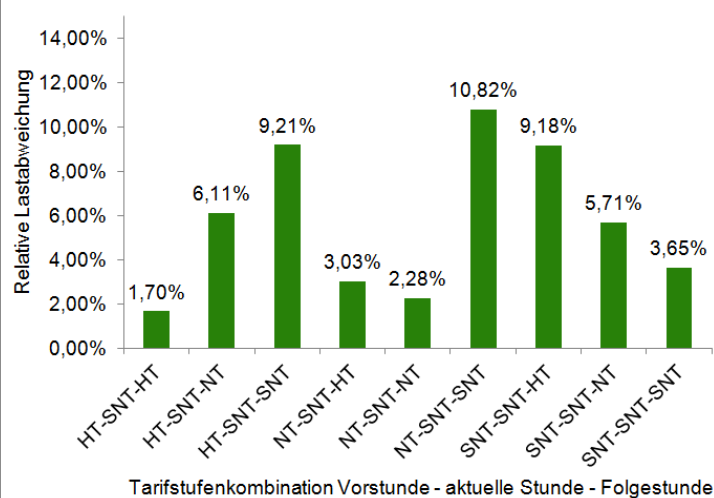


[Hillemacher et al. 2012]

- Der Verbrauch steigt in Stunden mit günstigen Tarifen (grüne Linien) und sinkt in Stunden mit teuren Tarifen (rote Linien)
- Lastreduktion: In den frühen Morgenstunden und in den Abendstunden
- Laststeigerung: In den späten Morgenstunden und am frühen Nachmittag

Ausgewählte Forschungsergebnisse: Nachfragereaktionen im Feldtest

Relative Laständerung der MeRegio-Testkunden bezogen auf die Referenzgruppe in Abhängigkeit von der Tarifstufenkombination



Legende:

HT: Hochpreis

NT: Niedrigpreis

SNT: Superniedrigpreis

[Hillemacher et al. 2012]

- Ein rotes Preissignal zeigt einen sofortigen Effekt
- Ein grünes Signal nur wenn mindestens für zwei Stunden
 - Offenbar ist eine Stunde des günstigen Tarifs zu wenig für die zu verlagernde Anwendung

Ausgewählte Forschungsergebnisse: Nachfragereaktionen im Feldtest

- Abhängigkeiten der Preiselastizitäten der Stromnachfrage
 - Tarif
 - Dauer des Tarifs
 - Tarife in benachbarten Stunden (davor und danach)
 - Tag
 - Tageszeit
 - Grad der Intelligenz der Geräte
 - ...

Ausgewählte Forschungsergebnisse: Verhalten im Demonstrationslabor Energy Smart Home auf dem KIT-Campus

- Verknüpfung von Erzeugern, intelligenten Verbrauchern und (mobilen) Speichern
 - Intelligente Haushaltsgeräte
 - können Zustand kommunizieren
 - können auf Steuerung reagieren
 - Elektrofahrzeuge
 - als mobiler Speicher an Haus angeschlossen
 - Dezentrale Erzeuger
 - PCM Decke
 - Nutzerschnittstellen zur Interaktion
- Plattform für Tests, Simulationen, Messungen und Befragungen
- Praxisnahe Erprobung durch Wohnphasen mit Test-Bewohnern

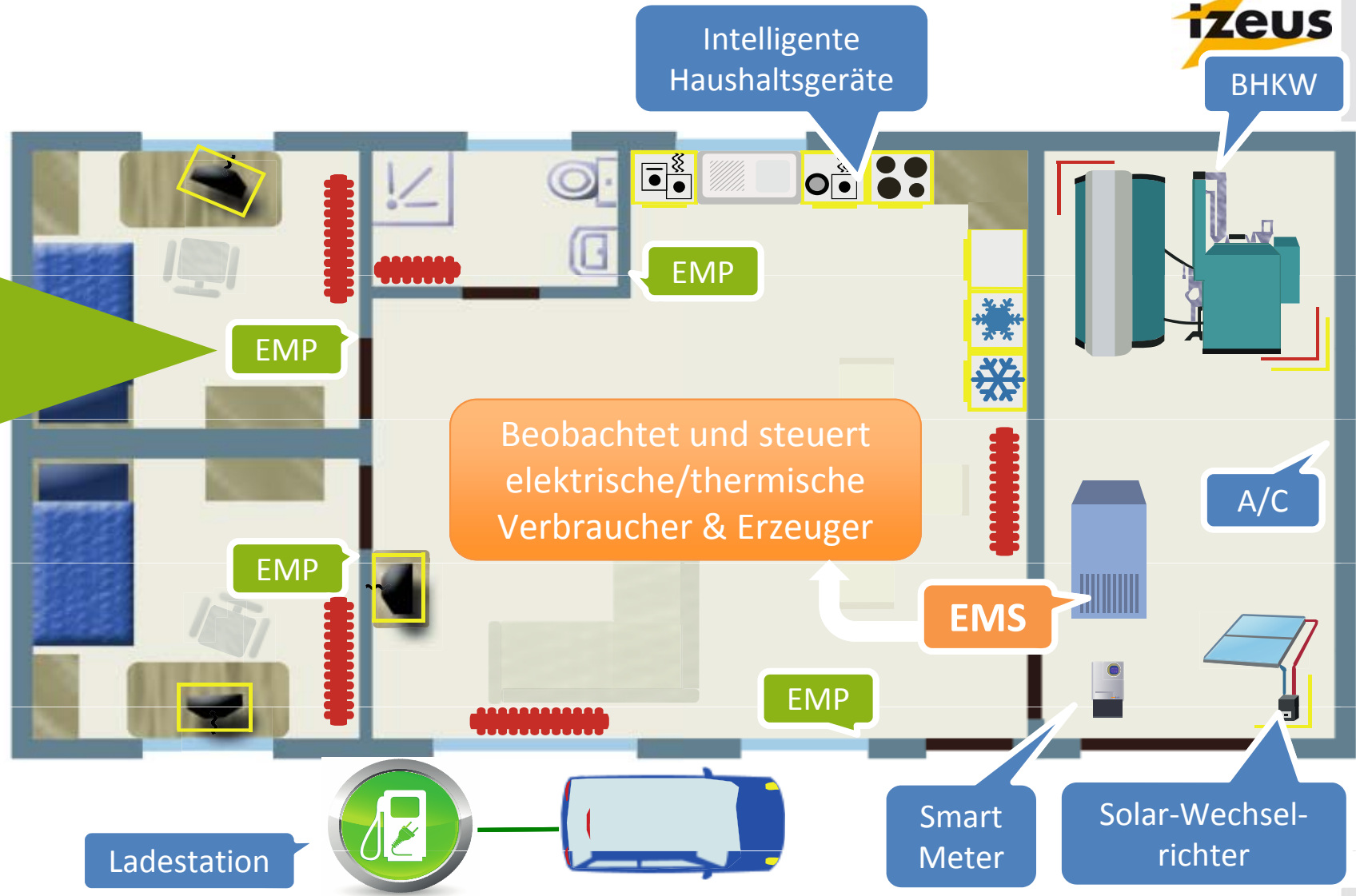


Ausgewählte Forschungsergebnisse: Verhalten im Energy Smart Home

Energy Management Panel (EMP)

Visualisierung der Energienutzung

Erschließung der Freiheitsgrade der Bewohner



Ausgewählte Forschungsergebnisse: Verhalten im Energy Smart Home



Transparente Information über Energieverbrauch

Spielräume für Lastmanagement

Energiedaten MeRegio Mobil 21.02.2011 - 16:30 Uhr

Wohnung

Küche → Trockner

Gerätetyp:	Trockner	
Status:	Programmiert	
verbleibende Laufzeit:	0:53h	
Programm:	Baumwolle	
Trocknungsstufe:	Normal	
Leistung:	0 W	

ein Freiheitsgrad: 04:30 Std. Automatischer Start um 18:00 Uhr.

Erzeuger & Auto

Ausgewählte Forschungsergebnisse: Verhalten im Energy Smart Home

- Feedback zum Haushaltsverbrauch
 - für den Nutzer interessant (Transparenz)
 - Komplexität auch Hemmnis
- Dynamische Tarife
 - aktivieren Bereitschaft zur Lastverlagerung
 - Lastverschiebung nur bei Spülmaschine, Waschmaschine und Trockner
 - Tarifdesign spielt wesentliche Rolle (wenige Preisstufen erhöhen Akzeptanz)
 - Alltagsroutine und Technik sind teils Barriere
 - Hohe Erwartungen an jährliche Ersparnis durch variable Strompreise (~150 €)
- Automatisiertes Lastmanagement
 - erleichtert Lastverlagerungen im Alltag
 - für Ladesäulen (E-Kfz) wünschenswert

„Am Wochenende hatten wir Zeit und konnten die Geräte zu den günstigen Zeitpunkten laufen lassen. Nur Sonntag Abend fing der grüne Preis erst nach 19:00 an und wir konnten nicht so lang warten, da wir Besuch zum Abendessen hatten. Mal sehen, wie es unter der Woche wird, aber ich bezweifle, dass ich mir vor 6:00 einen Kaffee kochen werde, nur weil es dann günstig ist.“ (B3)

[Paetz et al. 2012]

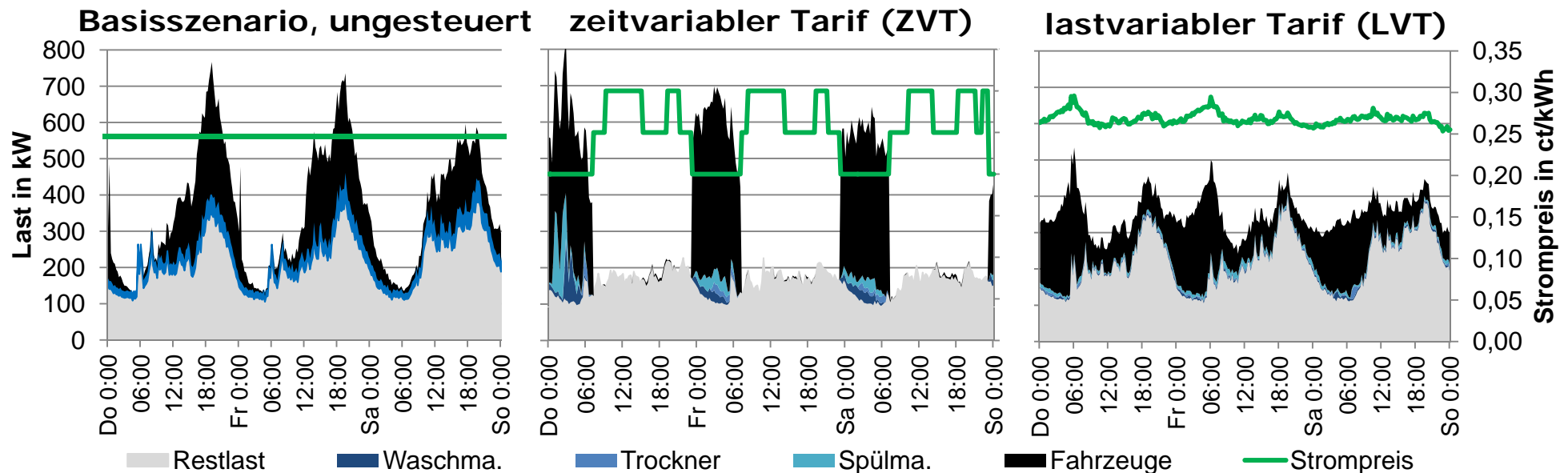
Ausgewählte Forschungsergebnisse: Lastverschiebepotenziale durch Elektromobilität und intelligente Haushaltsgeräte

■ Modellgestützte Analyse

- Minimierung der Haushalts-Stromkosten
- Wohnviertel mit 500 Haushalten
- Elektrofahrzeuge (85% Verbreitung)
- lastverschiebbare Haushaltsgeräte

■ Erkenntnisse

- Im optimalen Fall bewirken dynamische Tarife eine Lastverschiebung in
- preisgünstige Zonen (ZVT)
- lastschwache Zeiten (LVT)



[Kaschub et al. 2012]

Gliederung

- 1) Motivation
- 2) Bisherige Forschungsergebnisse
- 3) Zukünftige Herausforderungen
- 4) Zusammenfassung

Elektrotechnische Sichtweise Zukünftige Herausforderungen

- Gewährleistung der Systemstabilität
 - Bei weniger rotierenden Massen
- Dezentrale Verfahren zur Systemführung
 - Auswirkungen auf die Systemstabilität
- Monitoring des Verteilnetzes
 - Zustandsschätzung
 - Benötigte Durchdringung mit Meßtechnik
- Systemdienstleistungen im Verteilnetz
 - Regelleistungsbereitstellung
 - Blindleistungsbereitstellung durch Speicher, Umrichter, etc.
- Betrieb regelbarer Ortsnetztransformatoren
- ...



Informationstechnische Sichtweise

Zukünftige Herausforderungen

- Kommunikationsinfrastruktur und Kommunikationssoftware
- Management von Massendaten
- Datenschutz, Informationssicherheit, Verlässlichkeit des Energieinformationsnetzes
- Interoperabilität verschiedener Smart-Grid-Technologien
- Neue Methoden für das zukünftige (dezentrale) Energiemanagement
 - Multi-Agentensysteme,...
- Zentrale versus dezentrale Informationsverarbeitung
- ...



Energiewirtschaftliche Sichtweise Zukünftige Herausforderungen

■ Nutzung von Lastflexibilitäten

- Akzeptanz von Technologien und Tarifmodellen
- Bestimmung von Preiselastizitäten der Stromnachfrage
- Erschließung von Lastflexibilitäten und Potenzialbestimmung
 - Insbesondere in industriellen Prozessen (neue Geschäftsmodelle)
 - Berücksichtigung anderer Energieträger/Netze



■ Dezentrale Erzeugung

- Prognoseverfahren für dezentrale Erzeugung und dezentrale Lasten
- Analyse dezentraler Energiesysteme und deren Interdependenzen mit zentralem Markt/System



■ Marktdesign

- Märkte weiter „flexibilisieren“
- Aufteilung bestehender Lasten (Netzvorhaltung etc.)
- Zukünftige Rollenverteilung im Energiesystem und (neue) Geschäftsmodelle
 - Bündelungsfunktion zur Anbindung von Endkunden

■ ...

Zusammenfassung

- Massiver Umbruch in der Elektrizitätswirtschaft hat bereits begonnen
- Bereits heute regelmäßig Netzengepässe im Übertragungsnetz
- Aufnahmegrenzen von Verteilnetzen in ländlichen Gebieten teilweise erreicht
- Feldtest: Deutliche Nachfragereaktionen trotz manueller Gerätesteuerung
 - Vielfältige Abhängigkeiten der Nachfragereaktionen
- Verhaltenswissenschaftliche Analysen unterstreichen Bedeutung des Tarifdesigns, der Nutzerfreundlichkeit der Ausstattung sowie der Kommunikation
- Modellgestützte Analysen zeigen Bedeutung des Lademanagements von Elektrofahrzeugen
- Vielfältige Herausforderungen
 - Elektrotechnik, u.a. hinsichtlich Zustandsschätzung im Verteilnetz
 - Informationstechnik, u.a. hinsichtlich Datenschutz, Sicherheit, Verlässlichkeit
 - Energiewirtschaft, u.a. hinsichtlich Lastflexibilitäten bspw. in der Industrie