
STROM ERZEUGEN, SPEICHERN, NUTZEN

WOHNGEBÄUDE ENERGIEZELLE MIT PV & BHKW



Dr.-Ing. Bernhard Wille-Hausmann

Fraunhofer Institut für Solare
Energie Systeme ISE

Samstags-Forum Regio Freiburg

Freiburg, 6. Mai 2017

AGENDA

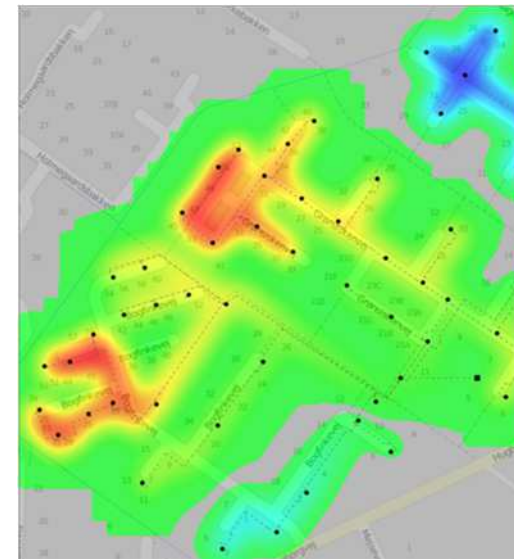
Fraunhofer ISE

Motivation

Energiezelle Haus

Haus im Netz und System

Umsetzung: Projekt CheapFlex



Die Fraunhofer-Gesellschaft

Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826)



© Deutsches Museum

Forscher

- Entdeckung der »Fraunhofer-Linien« im Sonnenspektrum

Erfinder

- Neue Bearbeitungsverfahren für Linsen

Unternehmer

- Leiter und Teilhaber einer Glashütte



© Fraunhofer-Gesellschaft



Die Fraunhofer-Gesellschaft Standorte in Deutschland

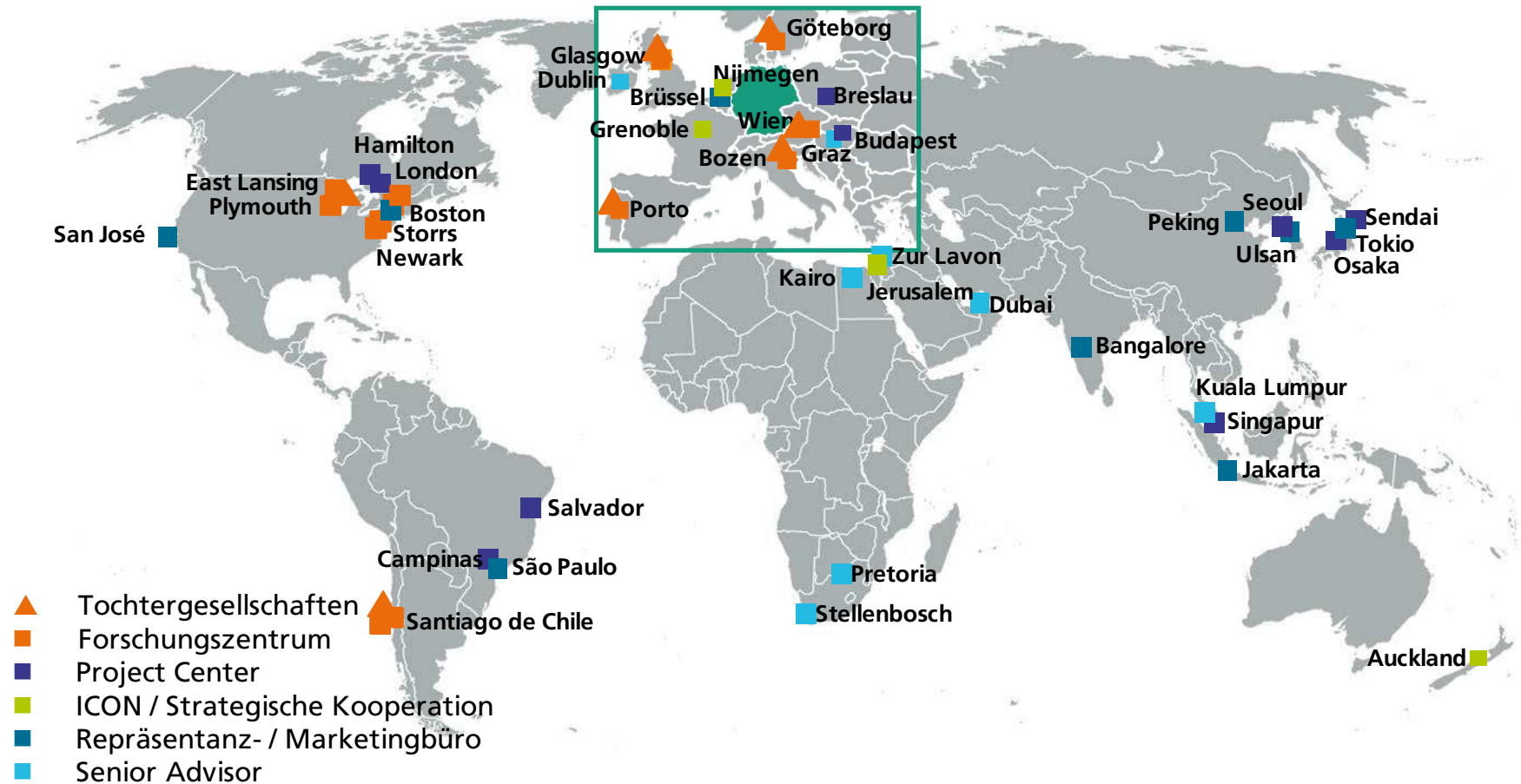
- 69 Institute und Forschungseinrichtungen
- 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

- Hauptstandorte
- Nebenstandorte
- ★ Zentrale



Die Fraunhofer Gesellschaft

Weltweit vernetzt



Fraunhofer ISE

Auf einem Blick



Fraunhofer ISE

Institutsleiter (kommissarisch):
Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Dr. Andreas Bett

Mitarbeiter: 1163

Budget (2016): 81,1 Mio. EUR
(vorläufig)

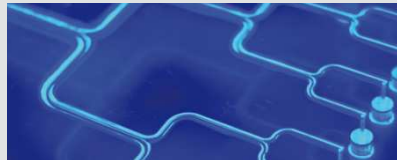
Gegründet: 1981



Photovoltaik



Solarthermie



Gebäudeenergie-technik



Wasserstoff-technologien



Energiesystem-technik

Fraunhofer ISE

Forschungsschwerpunkte

Energieeffizienz

Energieverteilung

Energiegewinnung

Energiespeicherung

Intersektorale Energiesysteme und Netzintegration

Expertise in Forschung, Planung und Dienstleistung

Netze

Netzstrukturanalysen, Zustandsschätzungen und Betriebssteuerung zur effizienten Integration von Erneuerbaren Energien

Energiemanagement

Optimierte elektrische und thermische Betriebsführung von Erzeugungsanlagen, Entwicklung modellbasierter Regelungsstrategien

Smart Grid Technologien

IKT Technologien für das zukünftige Energiesystem – zwischen Feldbus und Leitwarte

Elektrische Netze und Energiemanagement

Smart Grid Technologien

IEN

Quartiere und Städte

Energiesystemanalyse

SMART CITY

Quartiere und Städte

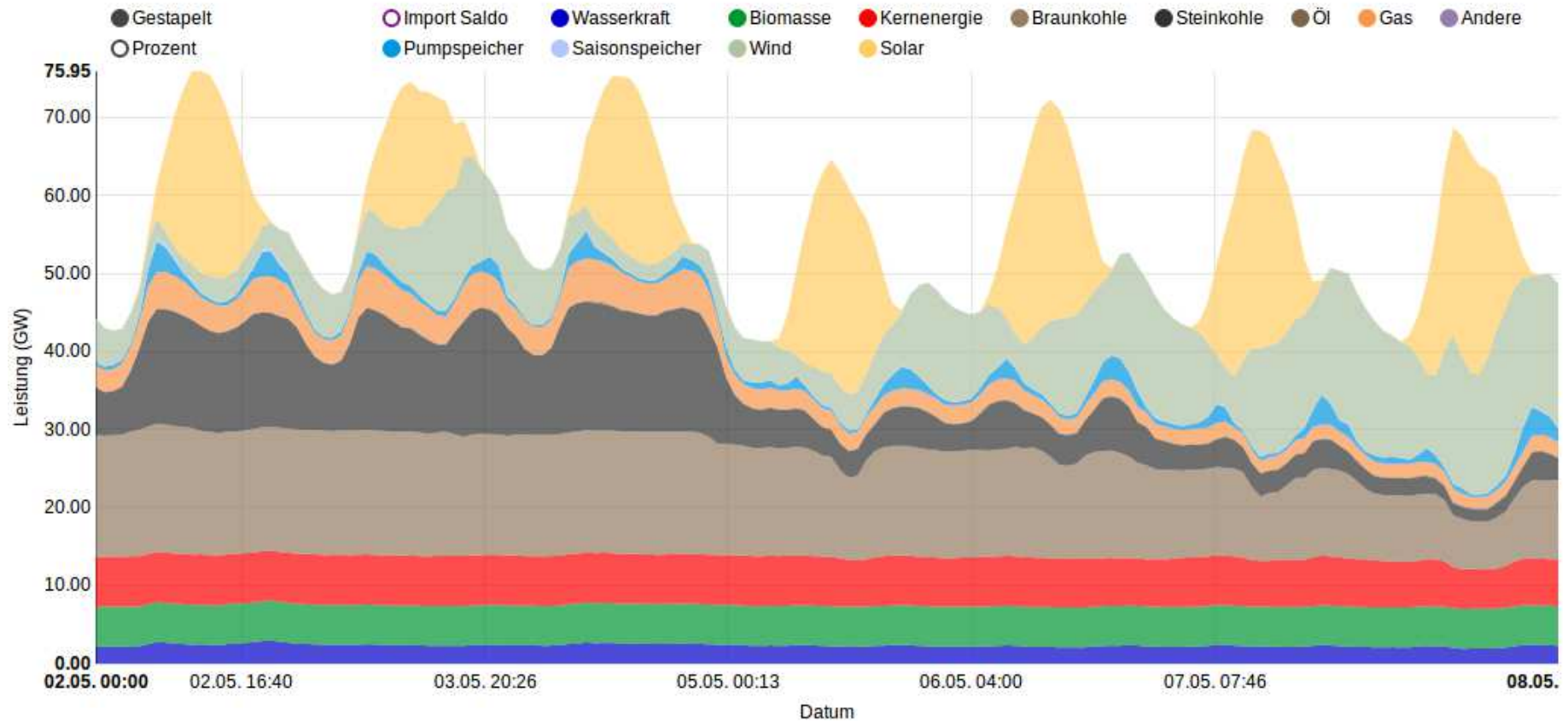
Identifizierung optimierter Energiesysteme für Städte & Regionen, Entwicklung von Transformations-Masterplänen für kommunale Energiesysteme

Energiesystemanalyse

Techno-ökonomische Bewertung von Energietechnologien, Marktanalysen und Geschäftsmodelle, Kraftwerkseinsatzplanung und Betriebsstrategien, Nationale und regionale Energieversorgungskonzepte

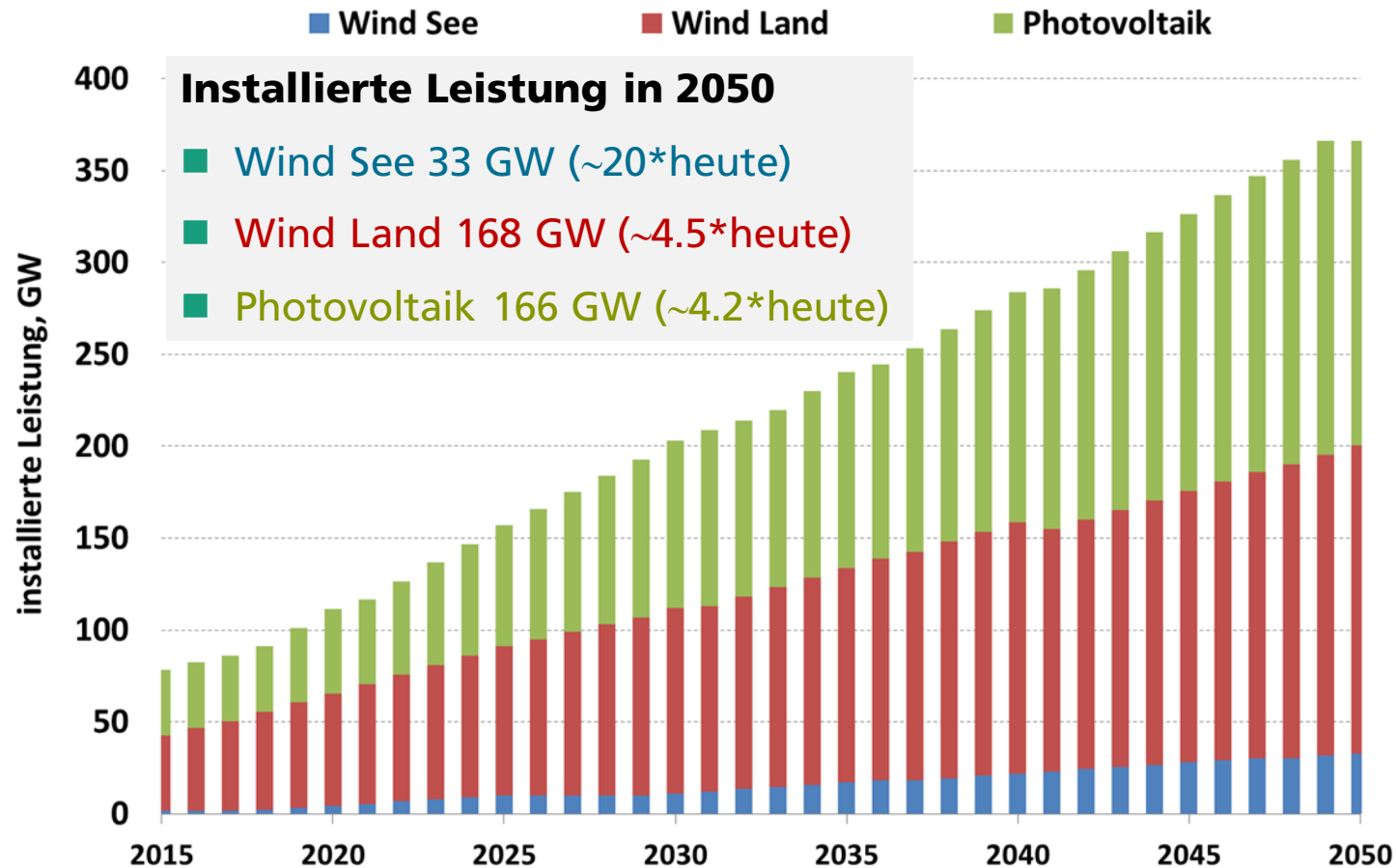
Stromproduktion Woche19 2016

Fraunhofer ISE Energy Charts

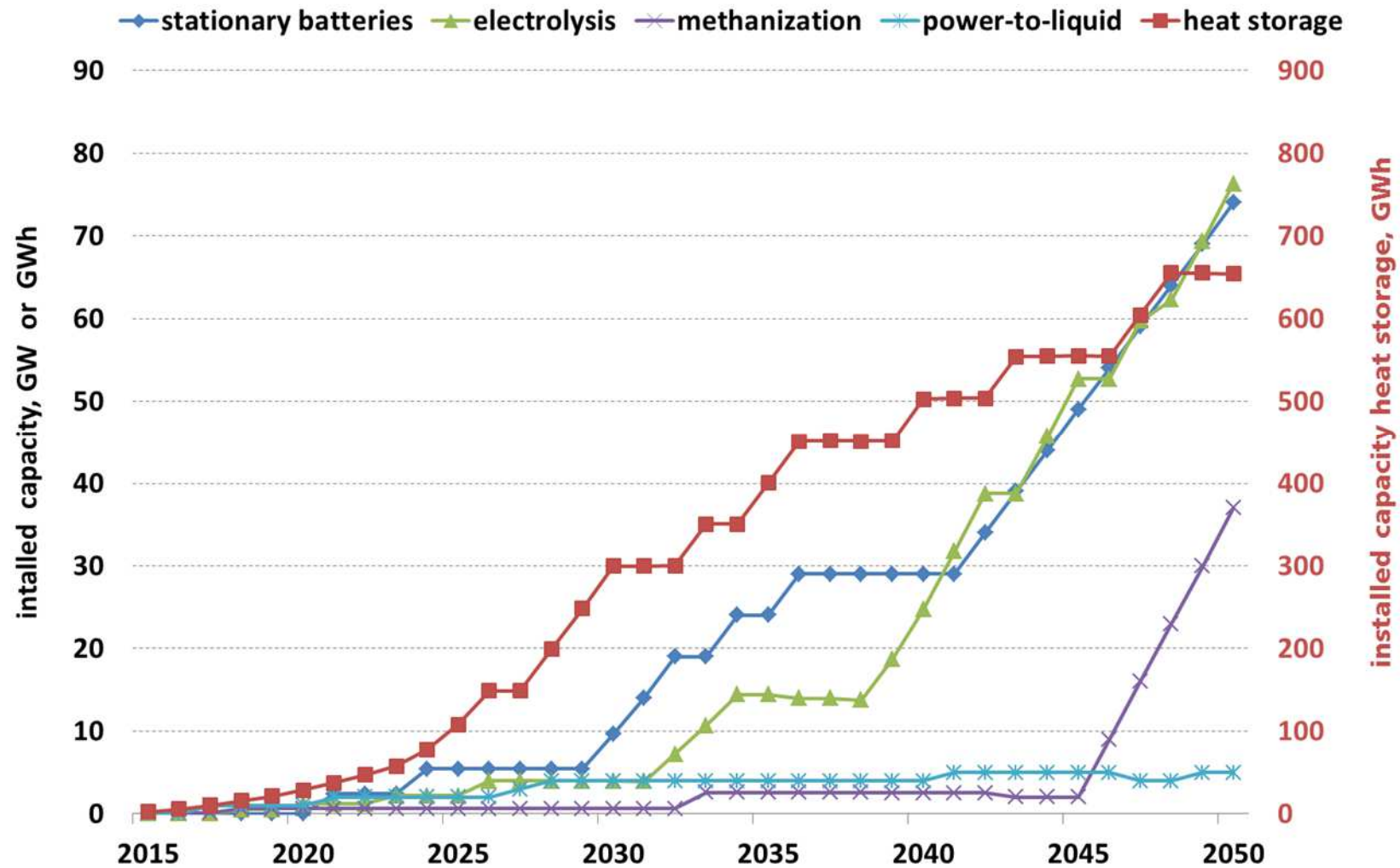


<https://energy-charts.de>

Entwicklung fluktuierende erneuerbare Energien – 85-%-Szenario



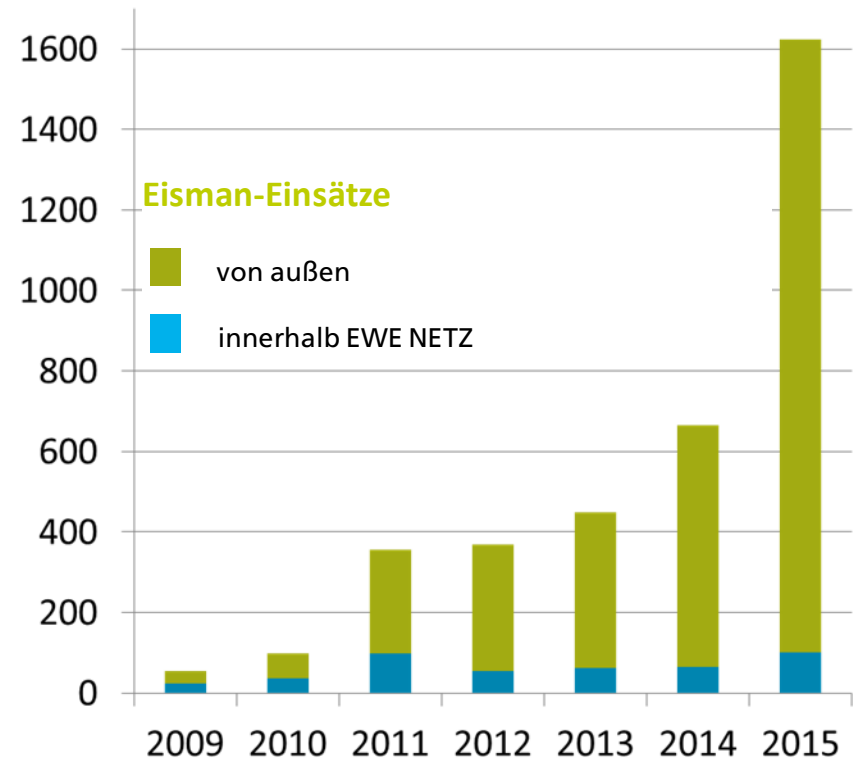
Storage and power-to-gas/fuel technologies



Externe Anforderungen für Einspeisemanagement

Starke Belastung der Netze

- Steigender Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien beeinflusst Netzbetrieb
- Einspeisemanagement wird immer wichtiger
- Dezentrale Erzeugung beeinflusst in hohem Maße die Netzauslegung

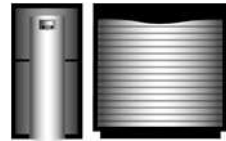
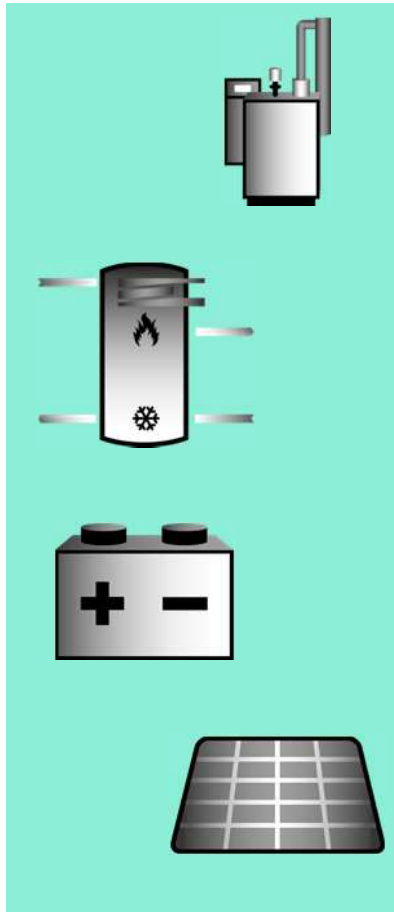


Quelle: EWE NETZ GmbH



Diese Energie sollte besser verwendet werden.

Welche Haustechnik?



Hausenergiesystem – ein Beispiel

BHKW, Batterie, PV



- $P_{el} = 1 \text{ kW}$
- $P_{th} = 2,5 \text{ kW}$



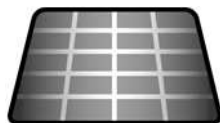
■ $Q = 8 \text{ MWh/a}$



■ $W = 5 \text{ kWh}$



■ $W = [0, 3, 7] \text{ kWh}$



■ $P = [0, 3, 6] \text{ kWp}$

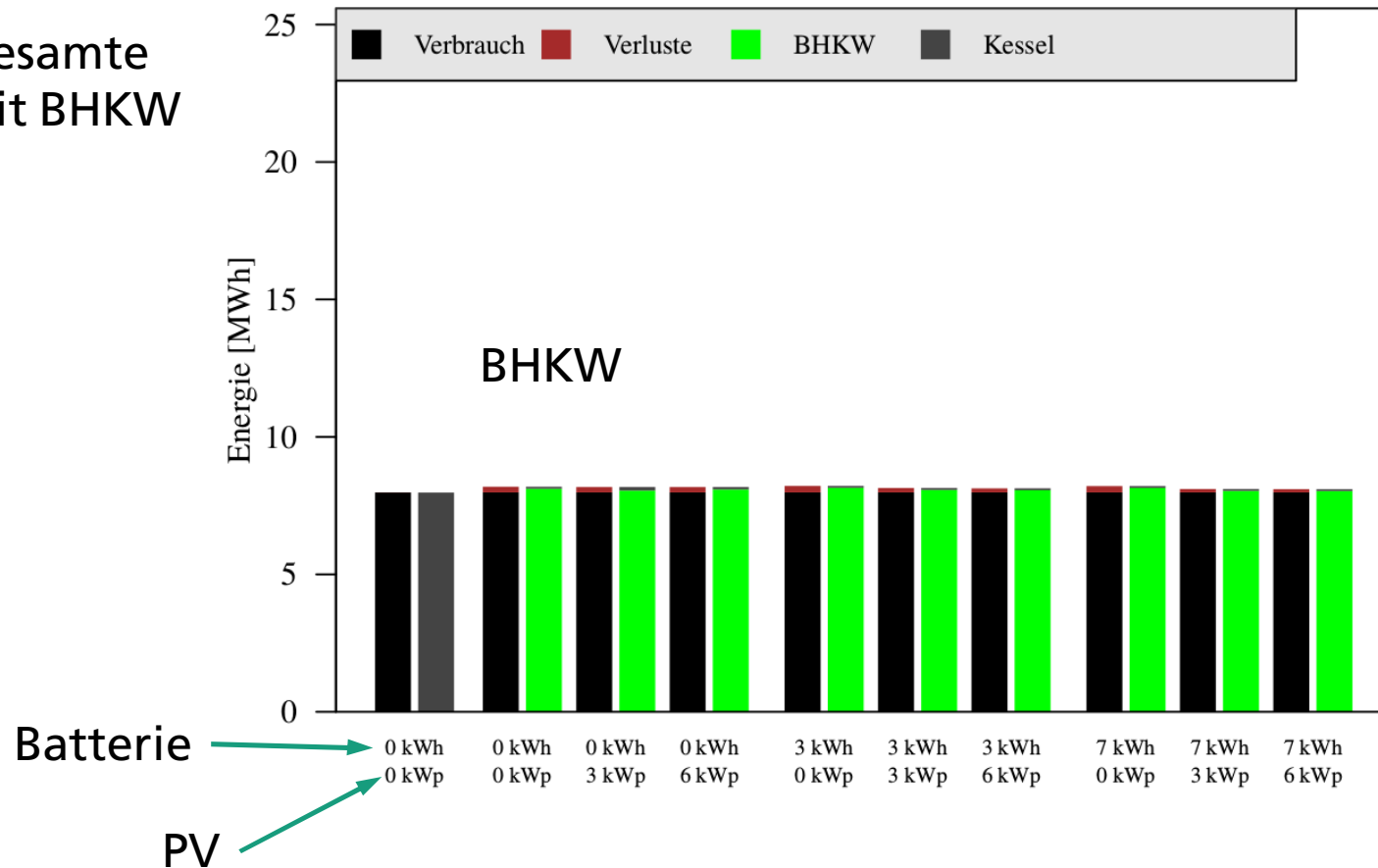
- Einspeisung EEG oder KWK-G
- PV: 12 ct/kWh
- KWK-Bonus: 5,11/ct/Kwh
- Gas: 6 ct/kWh
- Strom: 25 ct/kWh



Hausenergiesystem thermische Bilanz



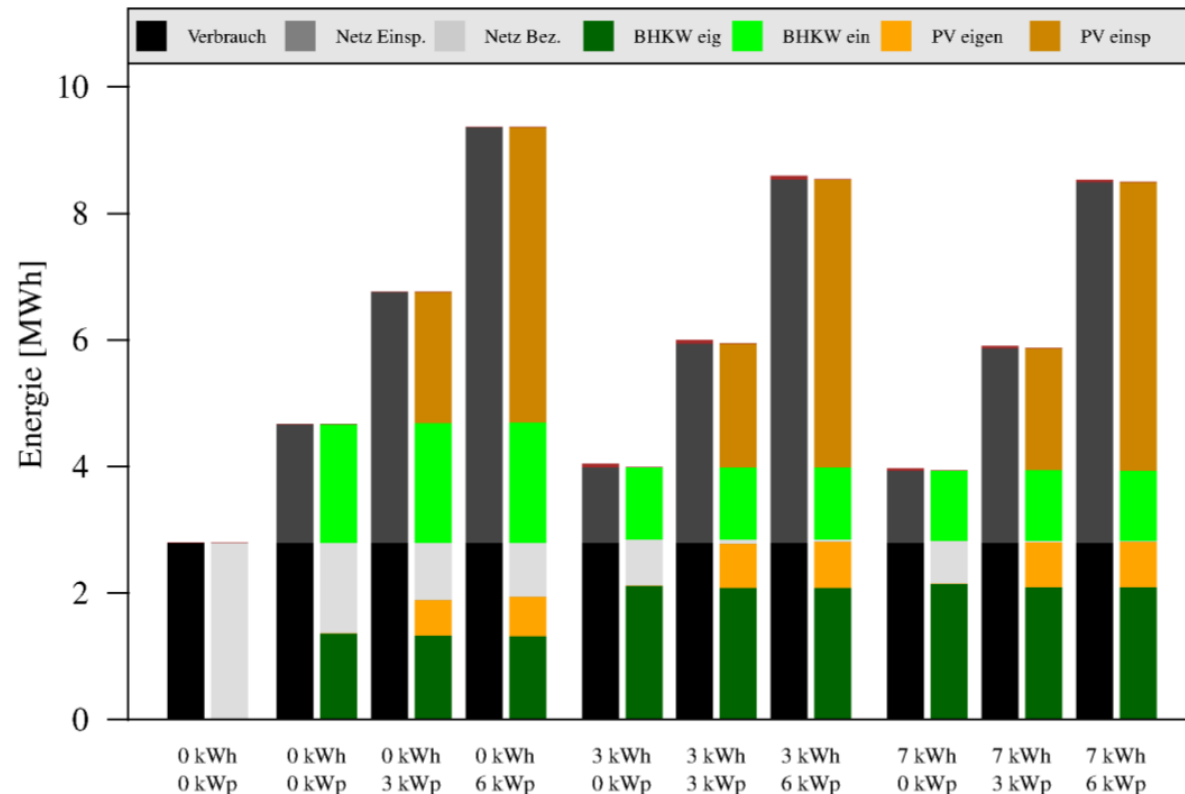
- Nahezu gesamte Wärme mit BHKW erzeugt



Hausenergiesystem elektrische Bilanz



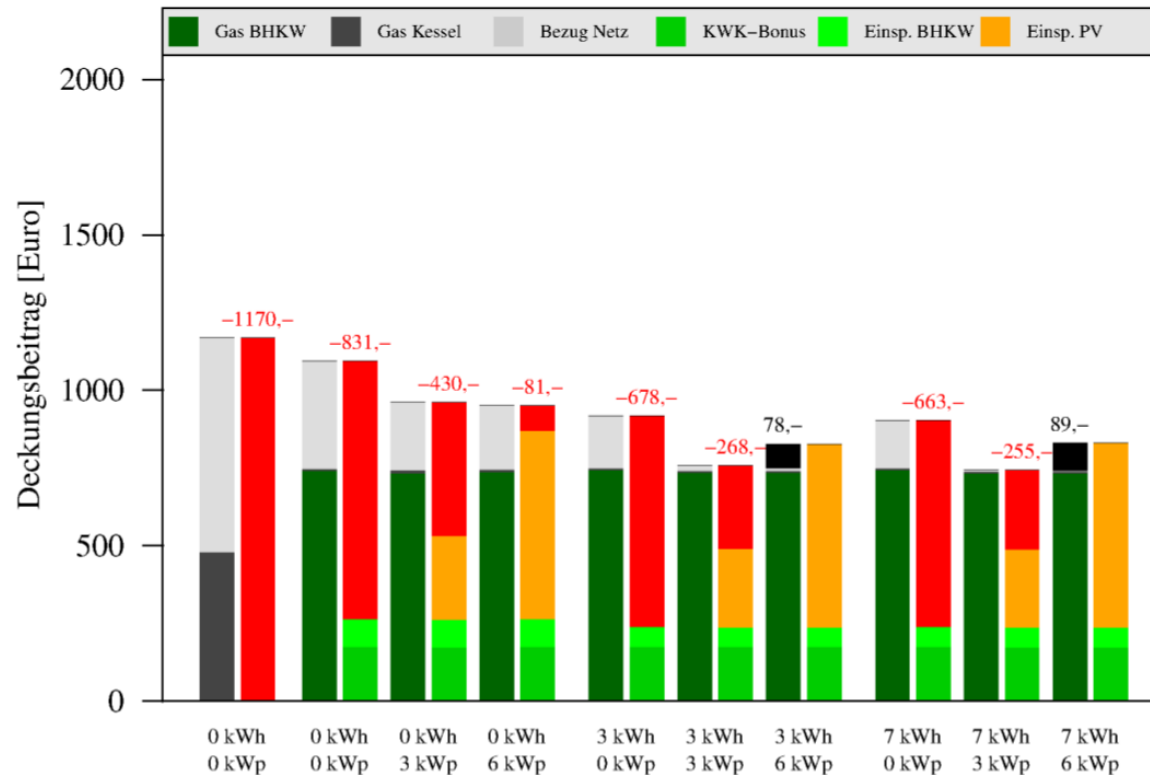
- BHKW-Eigenverbrauch vor PV-Eigenverbrauch
- Batterie führt zunächst zur Erhöhung des BHKW-Eigenanteils
- ab 3 kWh Batterie und 3 kWp PV wird eine komplette Versorgung mit lokal erzeugtem Strom möglich



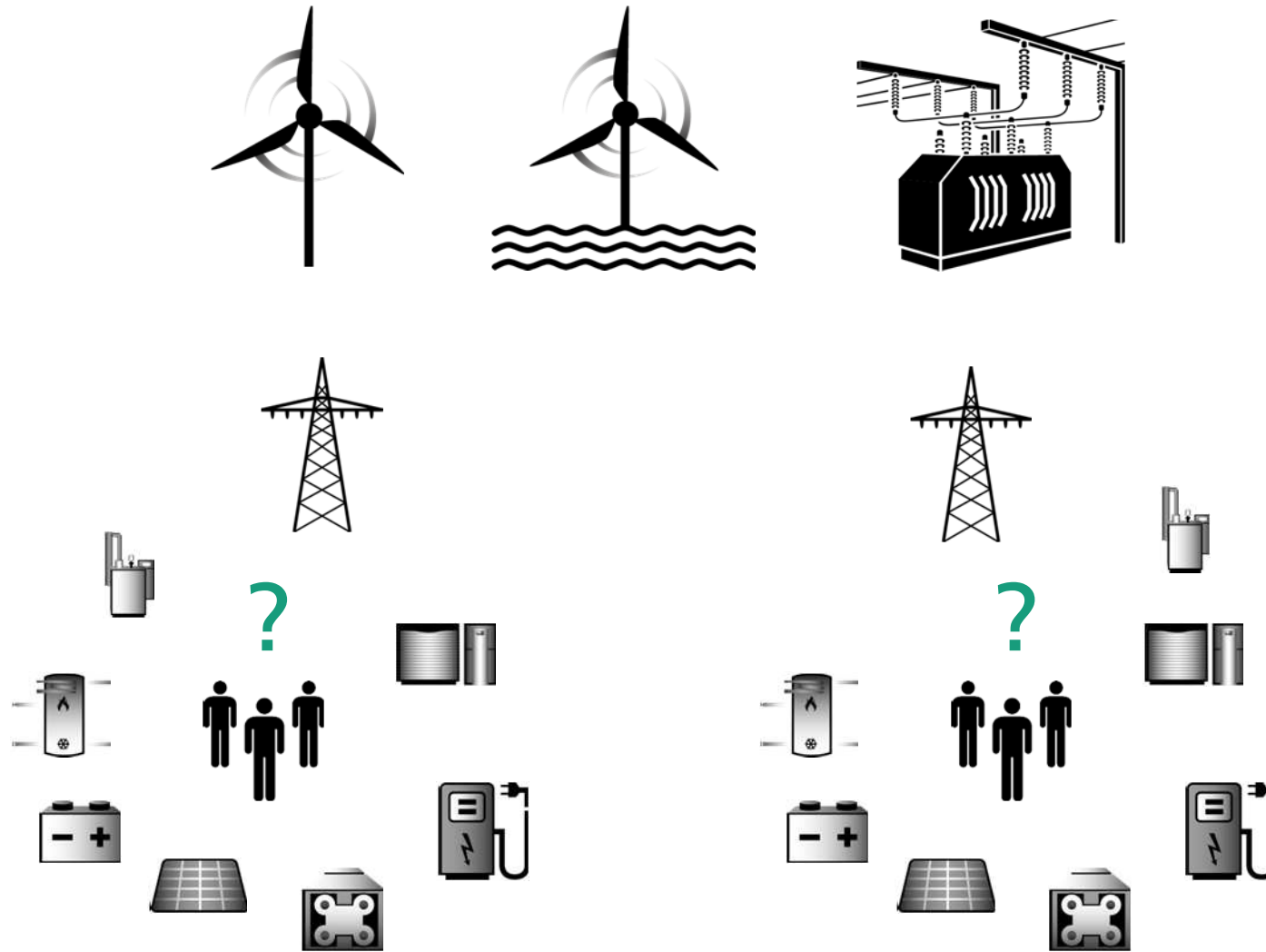
Hausenergiesystem Deckungsbeitrag



- Einbau von PV-Anlage reduziert Gesamtsystemkosten
- ab 3 kWh Batterie und 6 kWp entstehen ca. 100 Euro Einnahmen im Jahr



Netzdienlichkeit & Systemdienlichkeit



Systemdienlichkeit zukünftiger Stromnetze vom Synchrongenerator zur Leistungselektronik



Quelle: Siemens



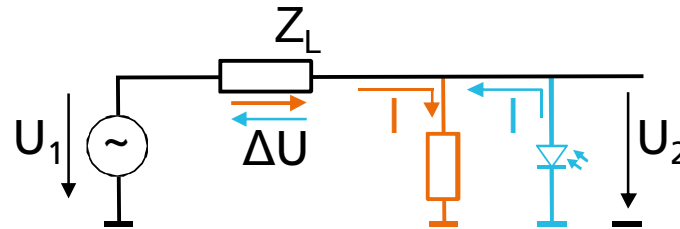
Quelle: GE Power Conversion

- Synchronmaschine:
 - Inhärent spannungsbildend
 - Momentanreserve aus Schwungmasse
 - Überlastfähig (KS-Strom \gg Nennstrom)

- Wechselrichter:
 - Frei programmierbares elektrisches Verhalten
 - Hochdynamisch regelbar
 - Nicht überstromfähig (KS-Strom = Nennstrom)

Herausforderung bei der Netzintegration

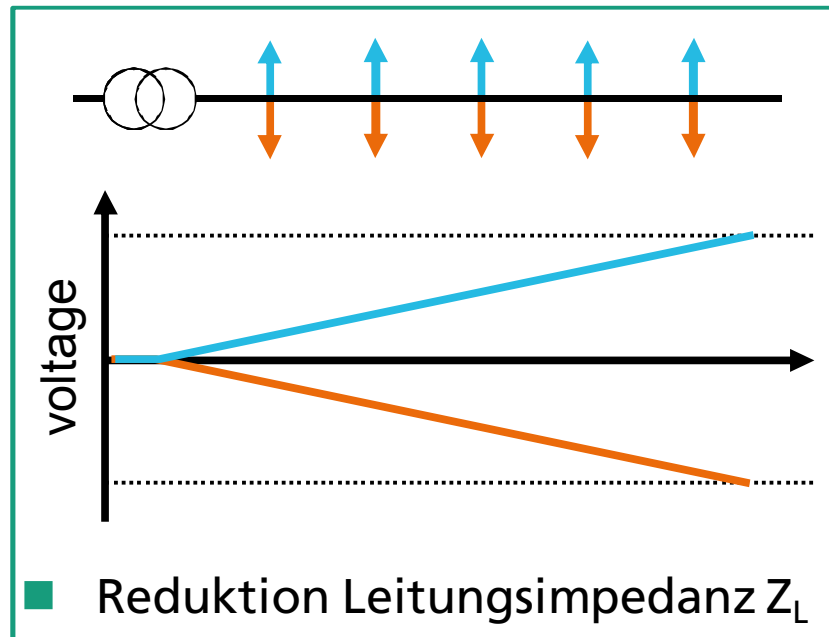
die klassische Lösung



$$U_2 = U_1 - Z_L I \rightarrow \text{Spannungsabfall}$$

$$U_2 = U_1 + Z_L I \rightarrow \text{Spannungsanstieg}$$

Spannungsbandsverletzungen

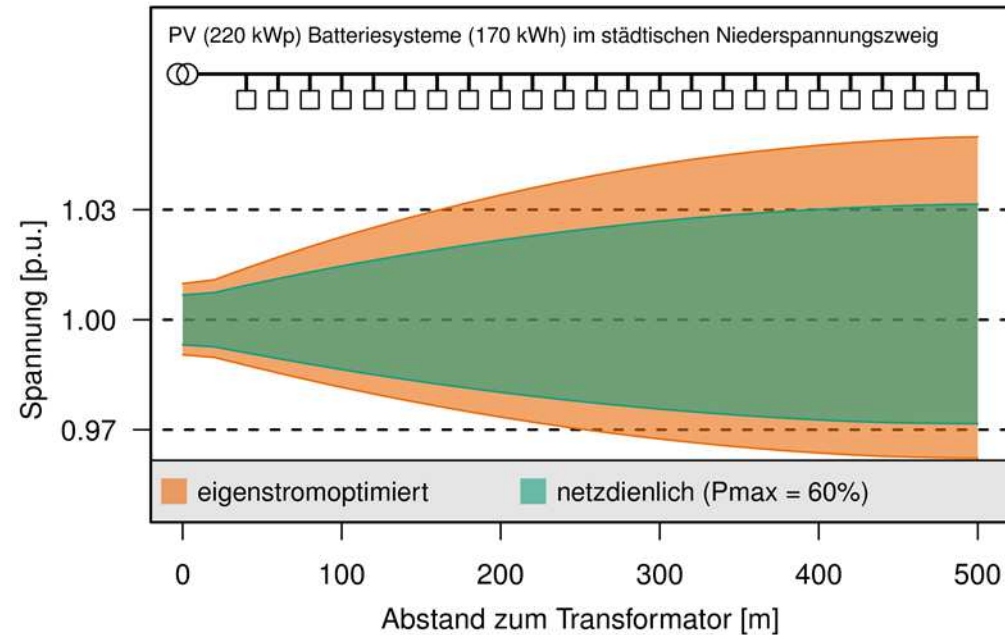
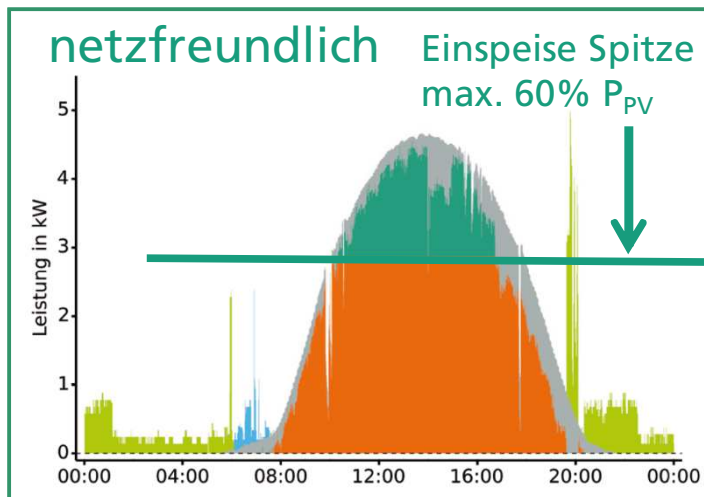
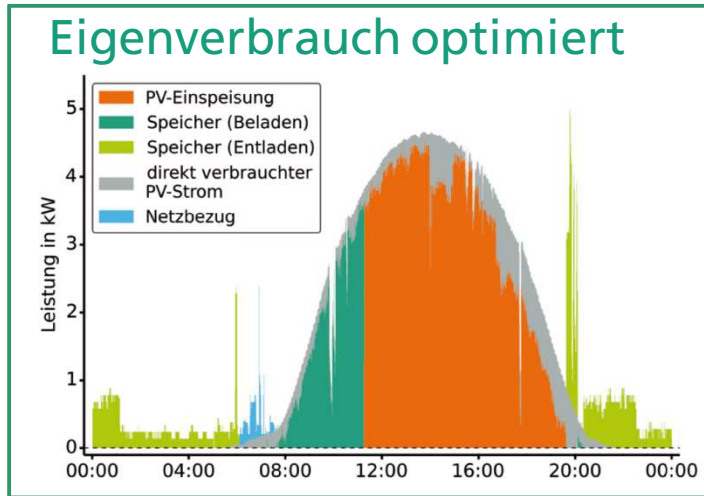


Thermische Überlastung



- Strom erwärmt Kabel
- Vergrößern Kabelquerschnitt

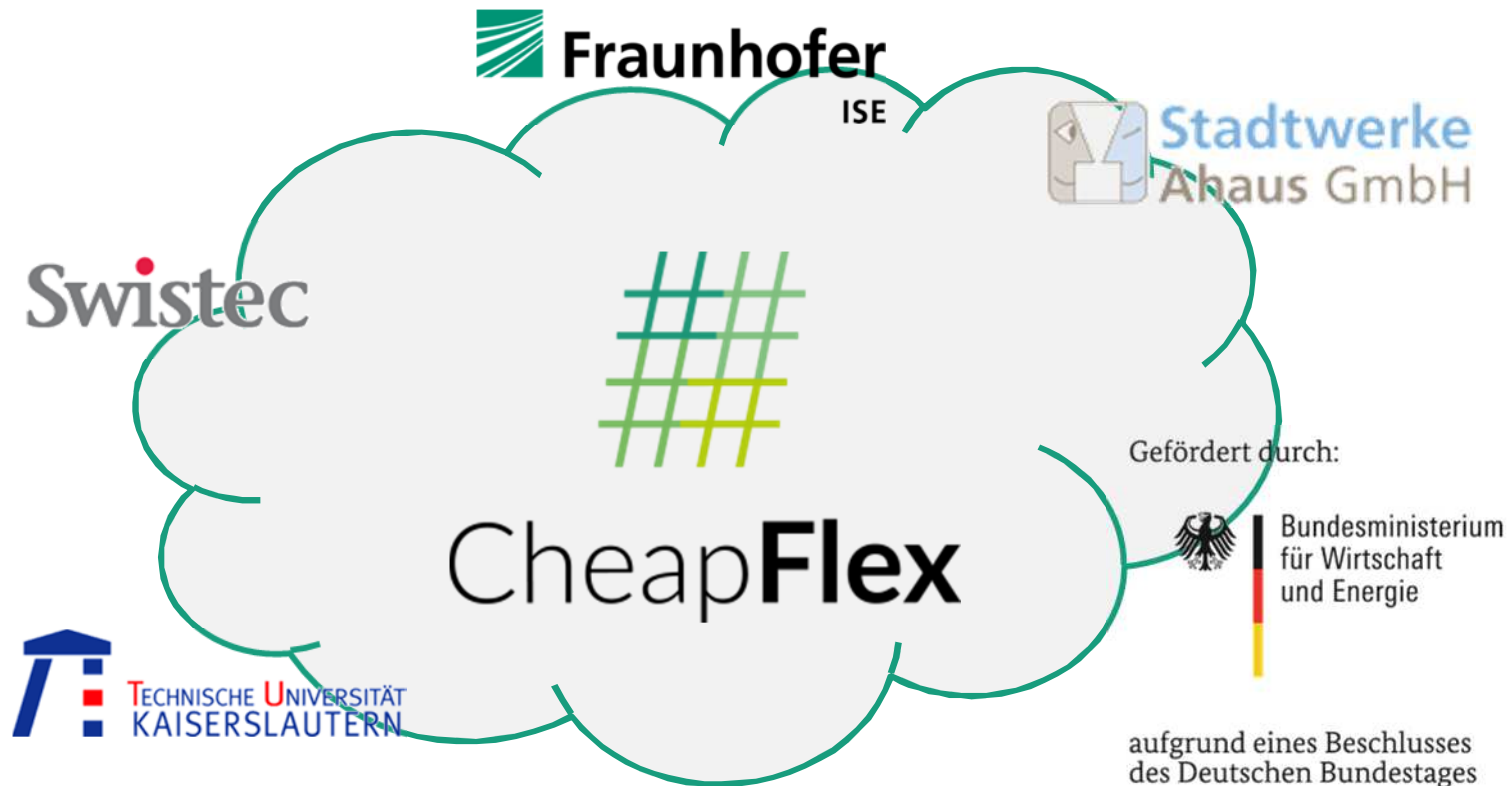
Netzfrequnderlicher Betrieb von PV-Batterie-Systemen



- Eigenverbrauchsoptimierung reduziert keine Einspeisespitzen
- Netzfrenderlicher Betrieb: bis zu 66% mehr PV installierbar

CheapFlex: Projektkonsortium

„Entwicklung eines kostengünstigen Smart Grid Kommunikationssystems auf Basis der Rundsteuertechnologie“

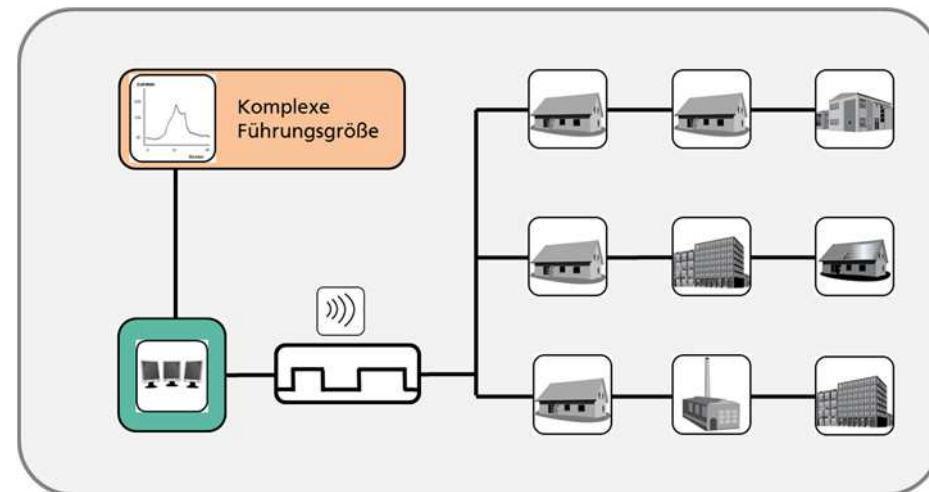


<http://forschung-stromnetze.info/projekte/guenstige-smart-grids-mit-rundsteuertechnologie/>

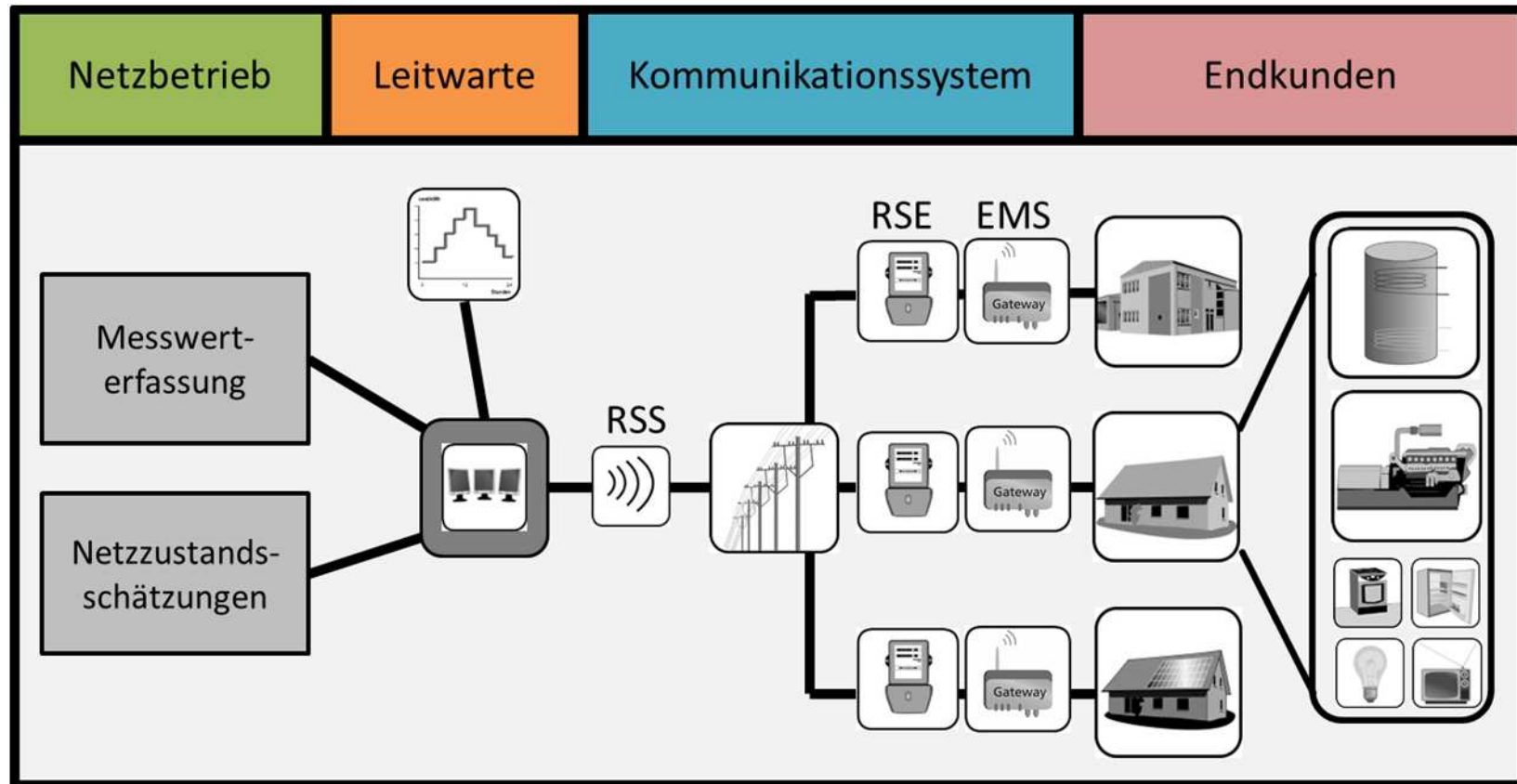
CheapFlex: Projektziele

- Entwicklung einer dynamischen Tarifstruktur
- Versand von Tarifinformationen über ein Broadcastsignal an einen Cluster von Anlagen zur individuellen Optimierung
- Versand von Sperrzeiten und direkten Steuersignalen für „kritischen Netzbetrieb“

Kernfunktionen der Smart Grid Idee kostengünstig und zeitnah umsetzen!



CheapFlex: Konzept



CheapFlex: Dynamische Tarife

Ziel

- Dynamischer Tarif für Endverbraucher und lokale Erzeuger

Anforderungen

- Tarifstruktur möglichst unkompliziert
 - Technische und regulatorische Umsetzung
 - Erhöhte Kundenakzeptanz*
- Feste Anzahl Stunden in HT und NT pro Tag
- Maximale Anzahl an Tarifumsprüngen pro Tag

*S. Buryk et al., Investigating preferences for dynamic electricity tariffs: The effect of environmental and system benefit disclosure, 2015

CheapFlex: Dynamische Tarife

Ziel

- Dynamischer Tarif für Endverbraucher und lokale Erzeuger

Anforderungen

- Tarifstruktur möglichst unkompliziert
 - Technische und regulatorische Umsetzung
 - Erhöhte Kundenakzeptanz*
- Feste Anzahl Stunden in HT und NT pro Tag
- Maximale Anzahl an Tarifumsprüngen pro Tag

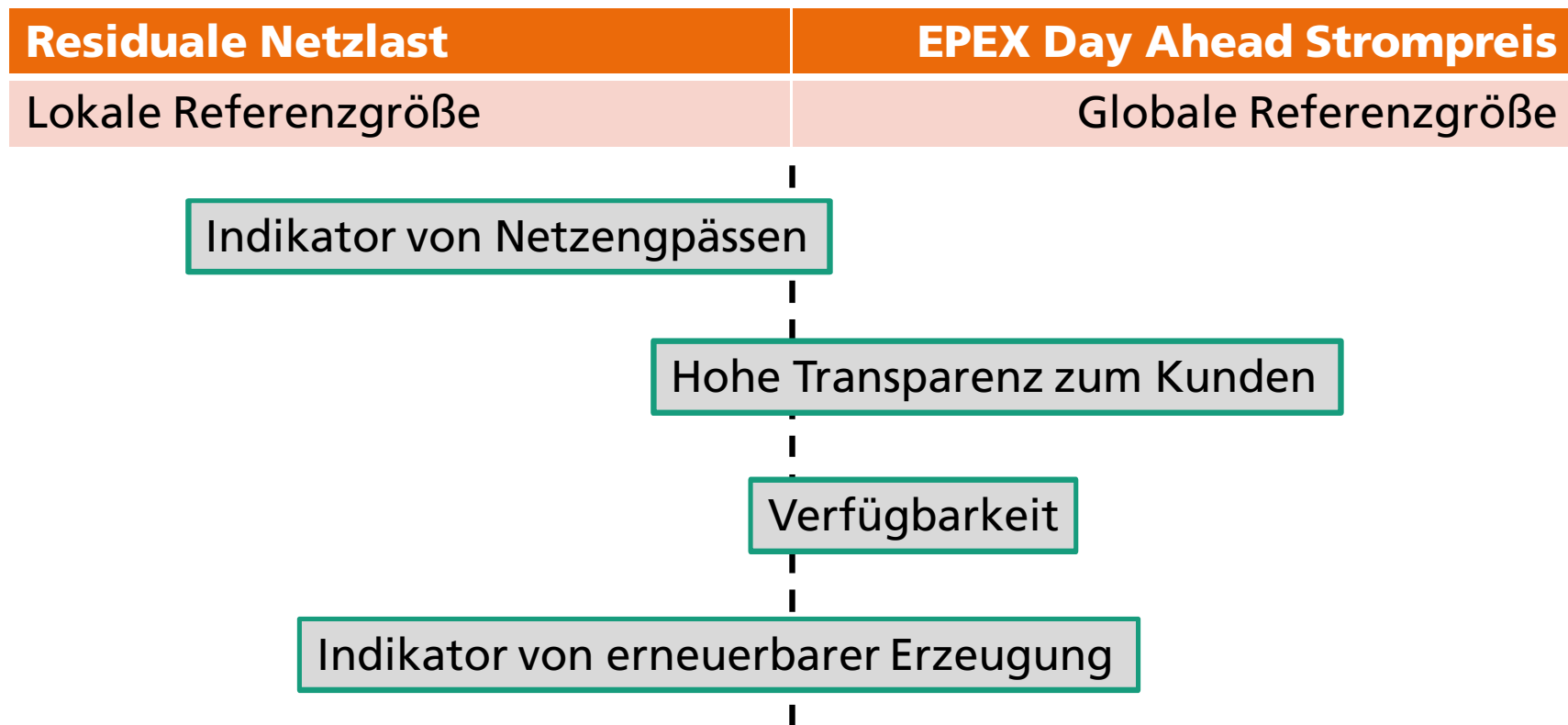
Formulierung in lineares
Optimierungsproblem

$$\max (X(0) + \sum_{h=1}^{24} \mathbf{REF}(h) \cdot X(h))$$

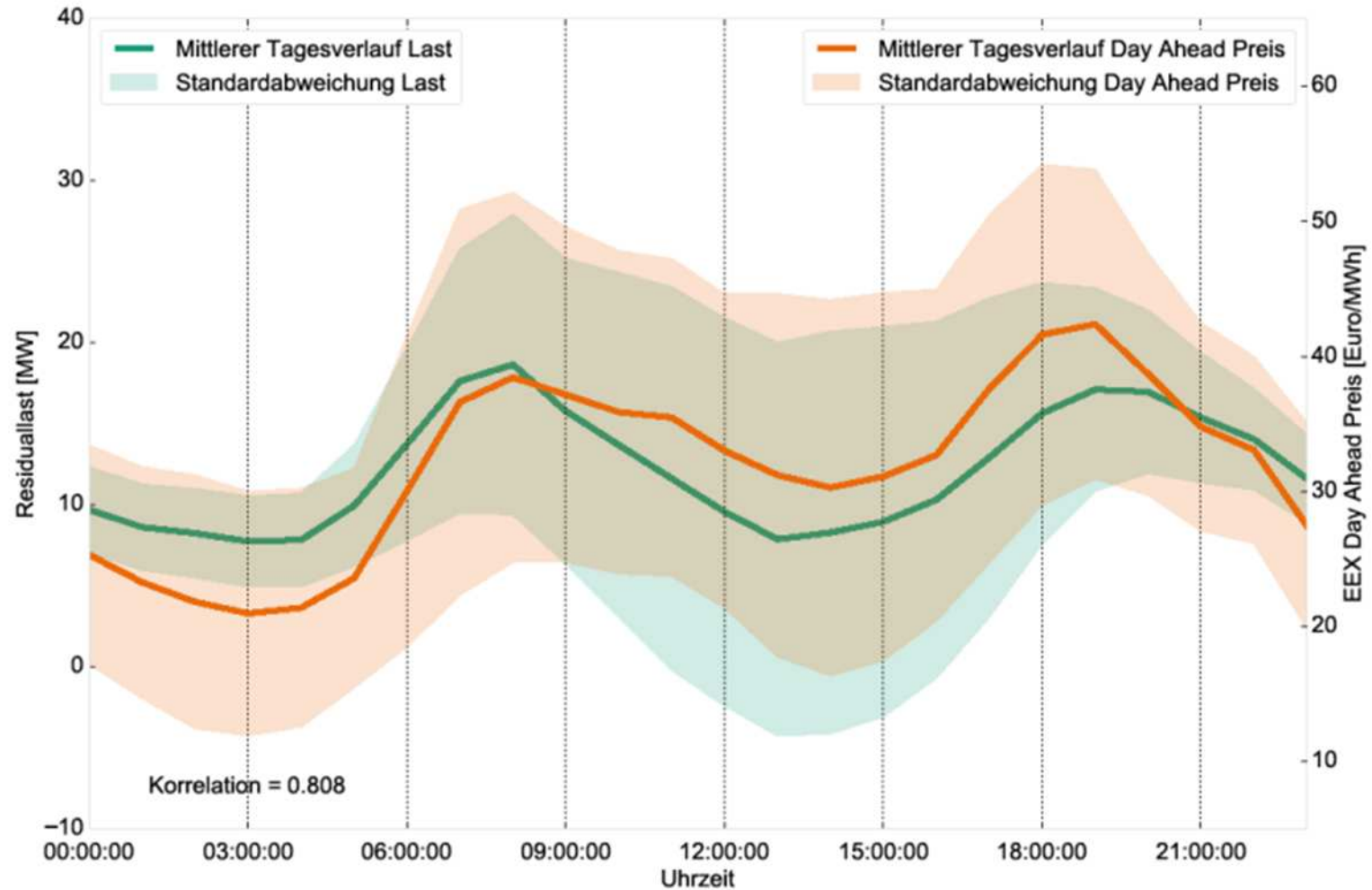
*S. Buryk et al., Investigating preferences for dynamic electricity tariffs: The effect of environmental and system benefit disclosure, 2015

CheapFlex: Dynamische Tarife

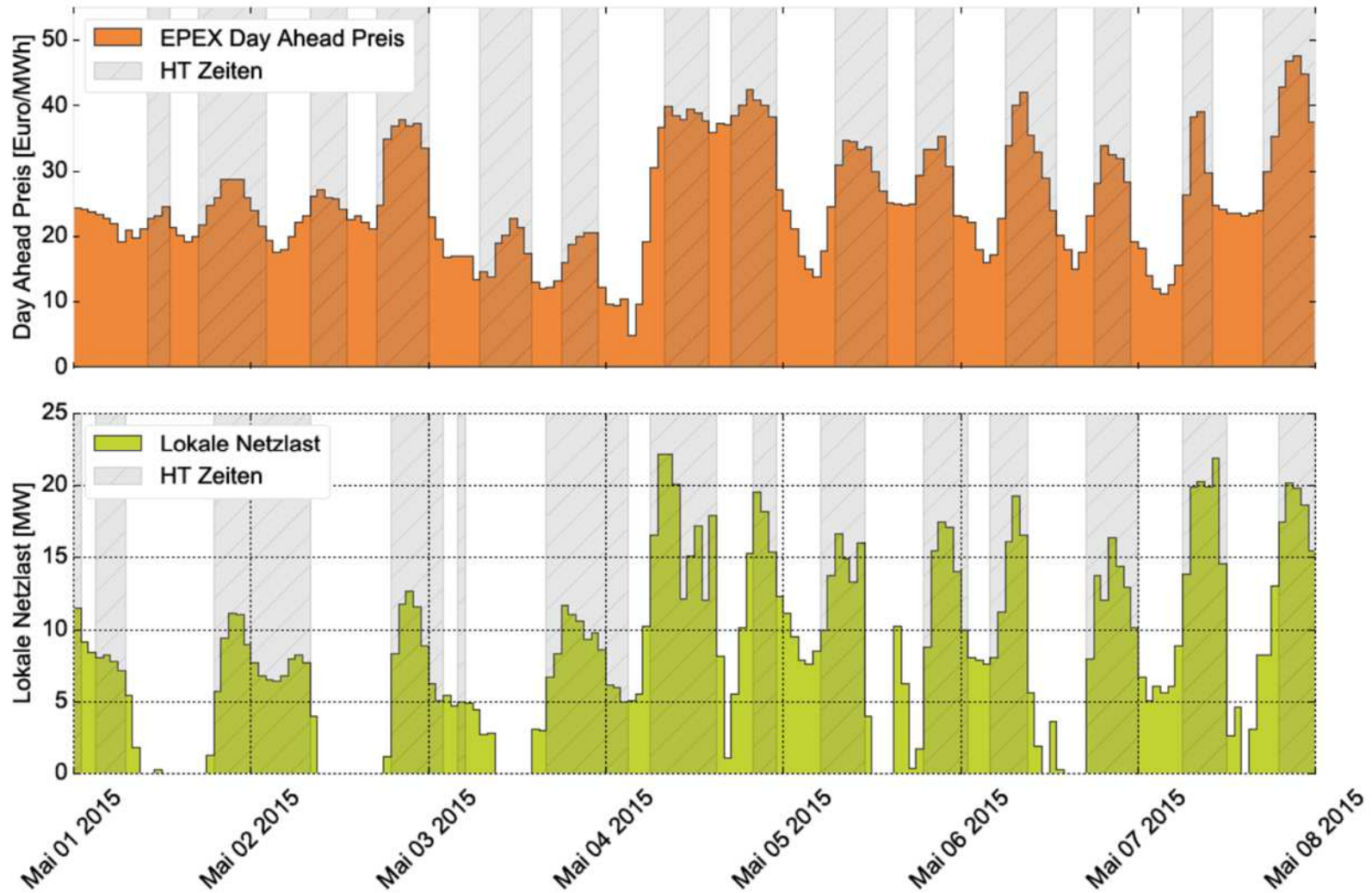
Mögliche Referenzsignale



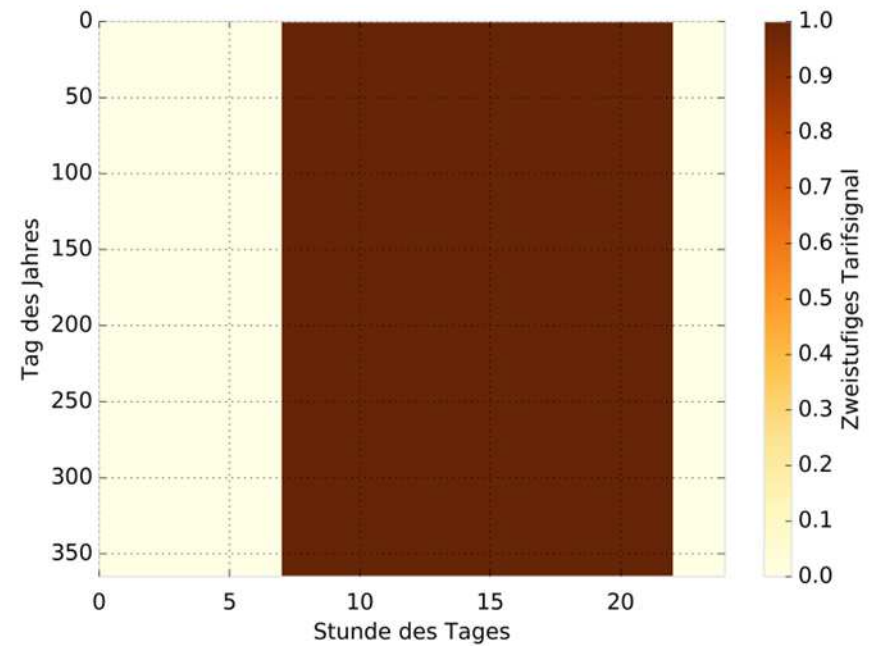
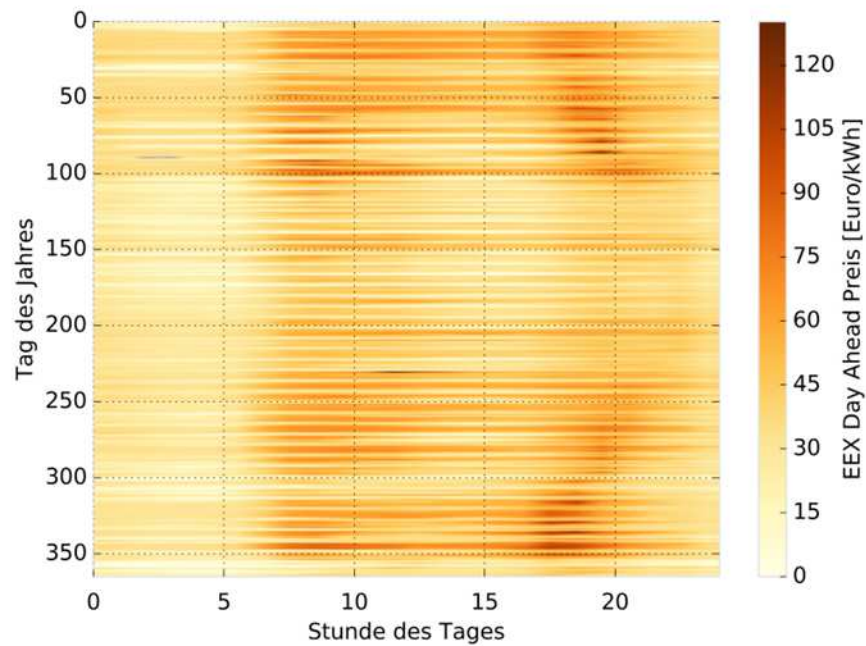
CheapFlex: Dynamische Tarife



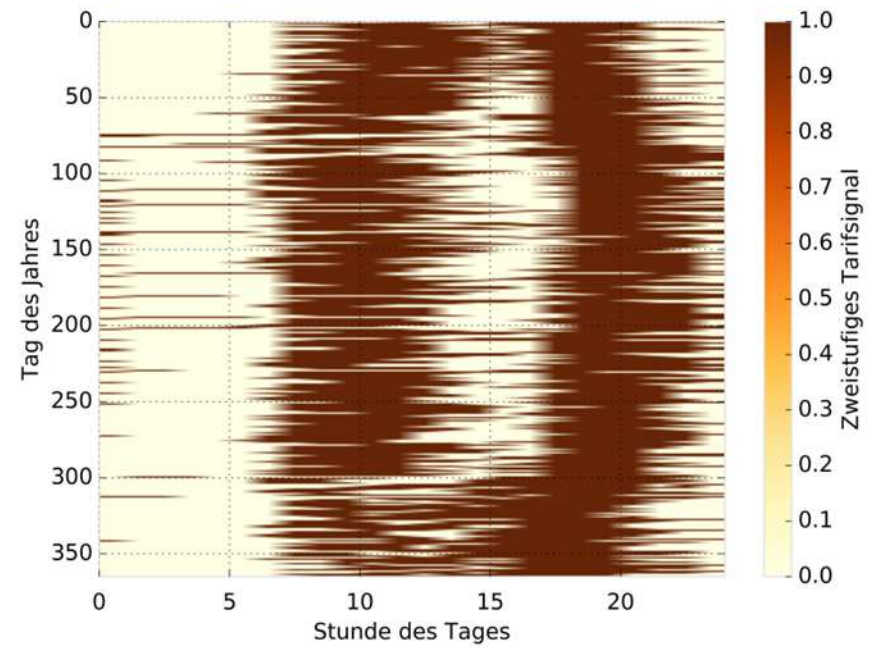
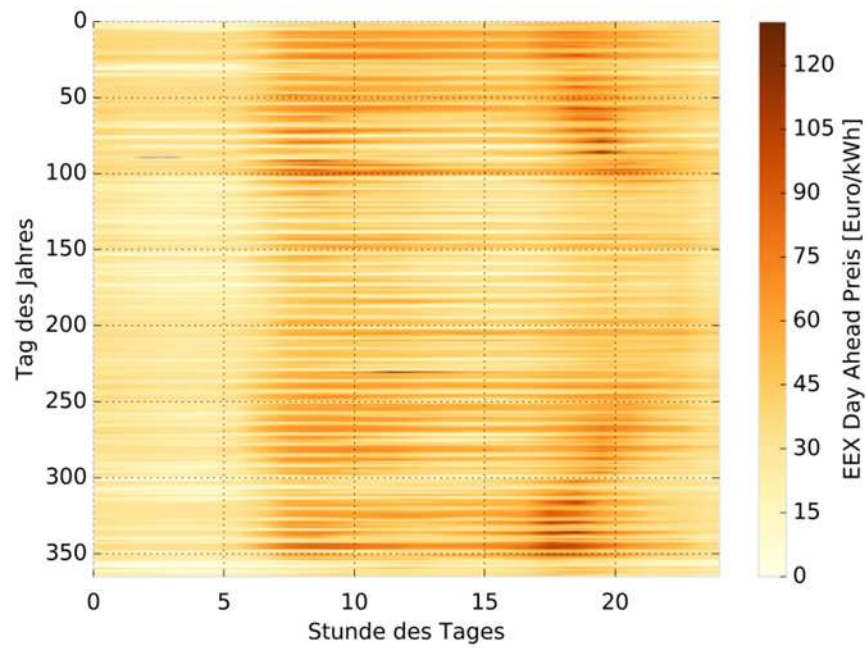
CheapFlex: Dynamische Tarife



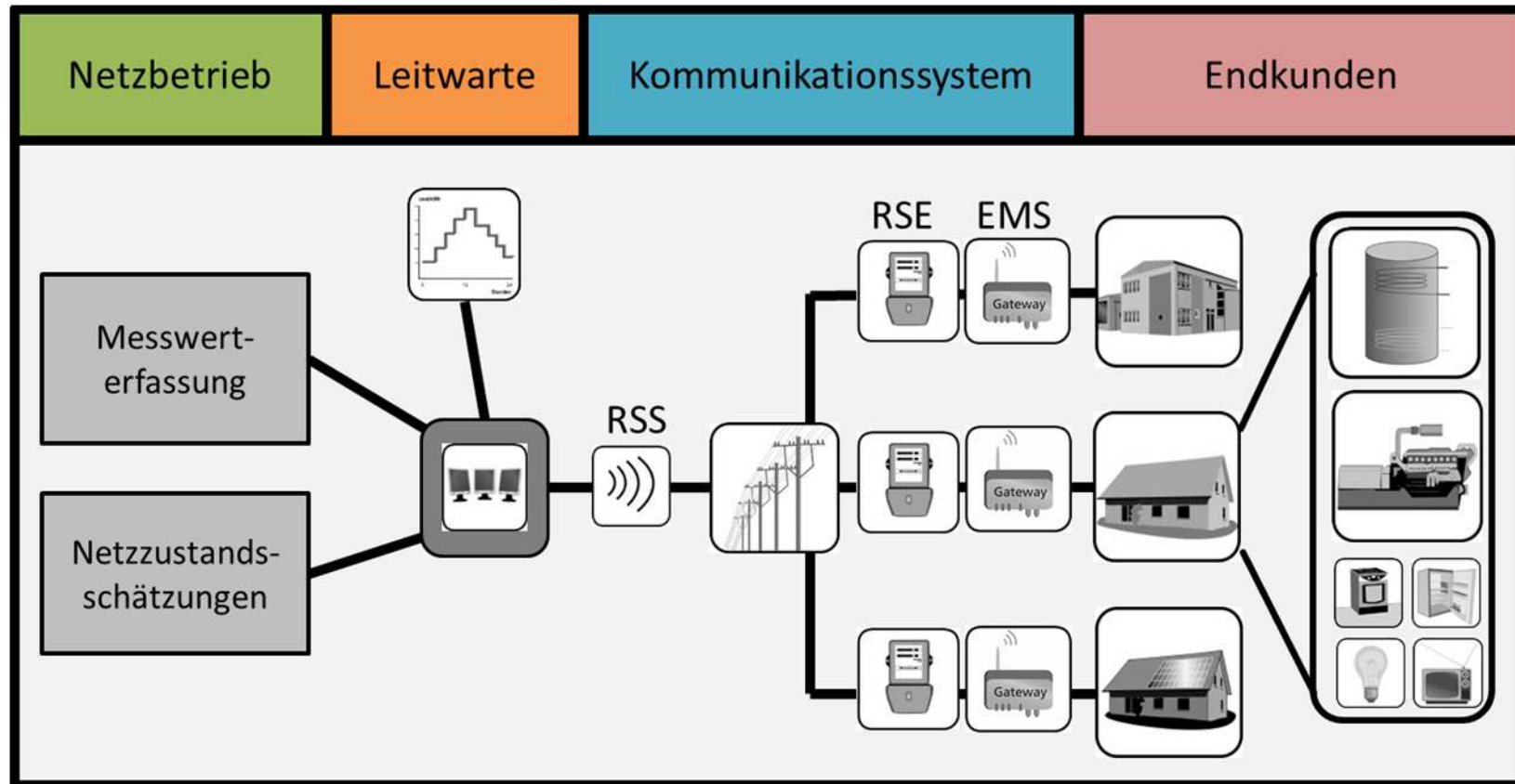
CheapFlex: Dynamische Tarife



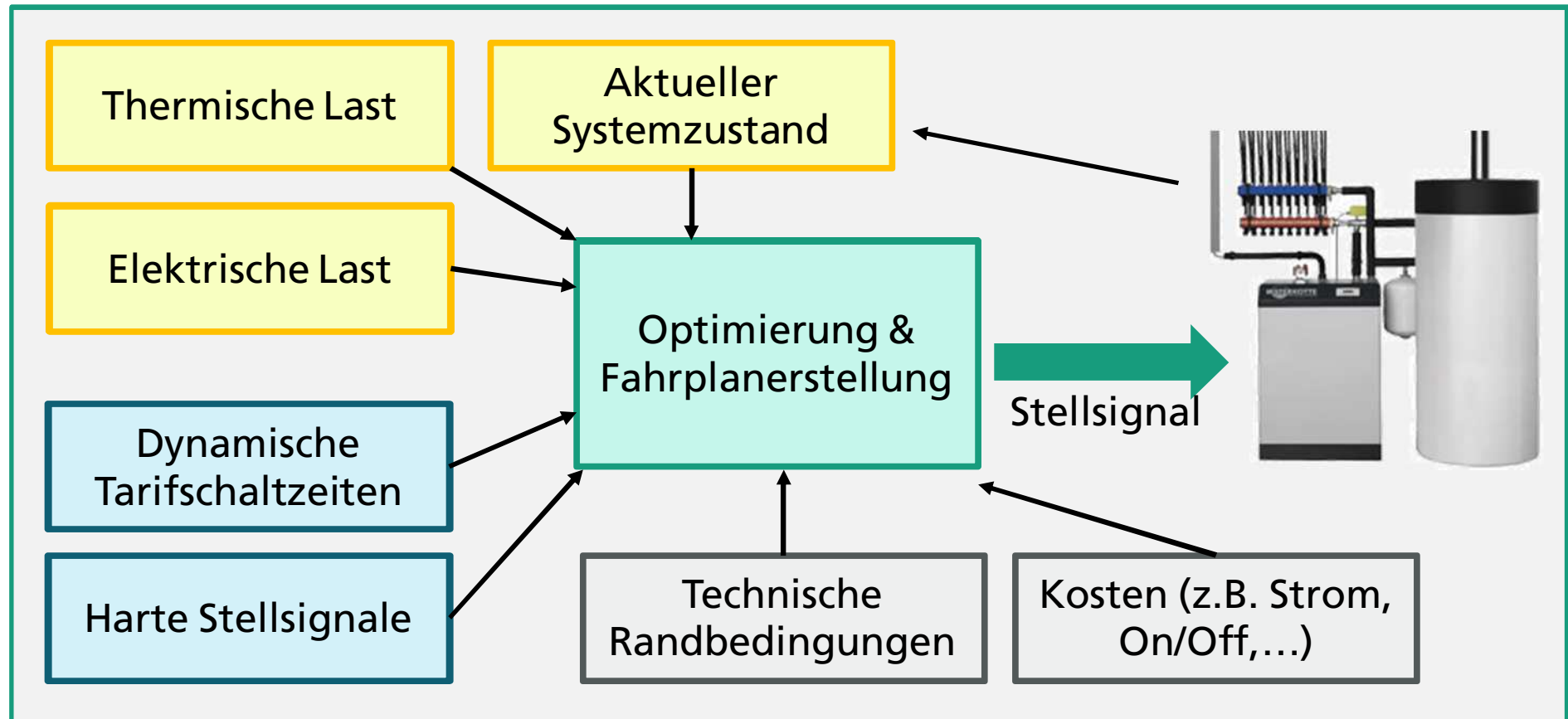
CheapFlex: Dynamische Tarife



CheapFlex: Konzept



CheapFlex: Regelung mit optimierter Fahrplanerstellung




Messwert

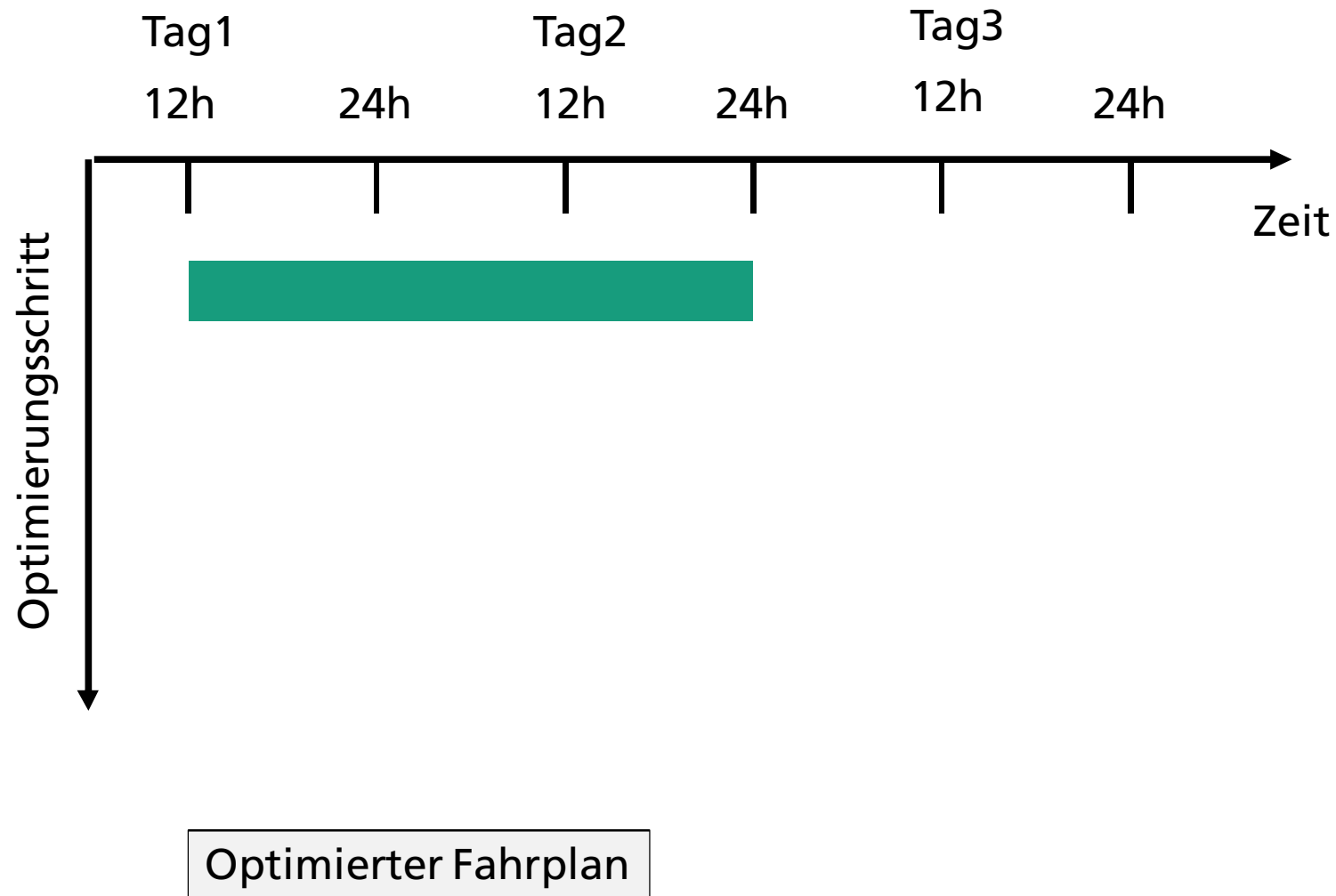
Externe Daten

Rahmenparameter

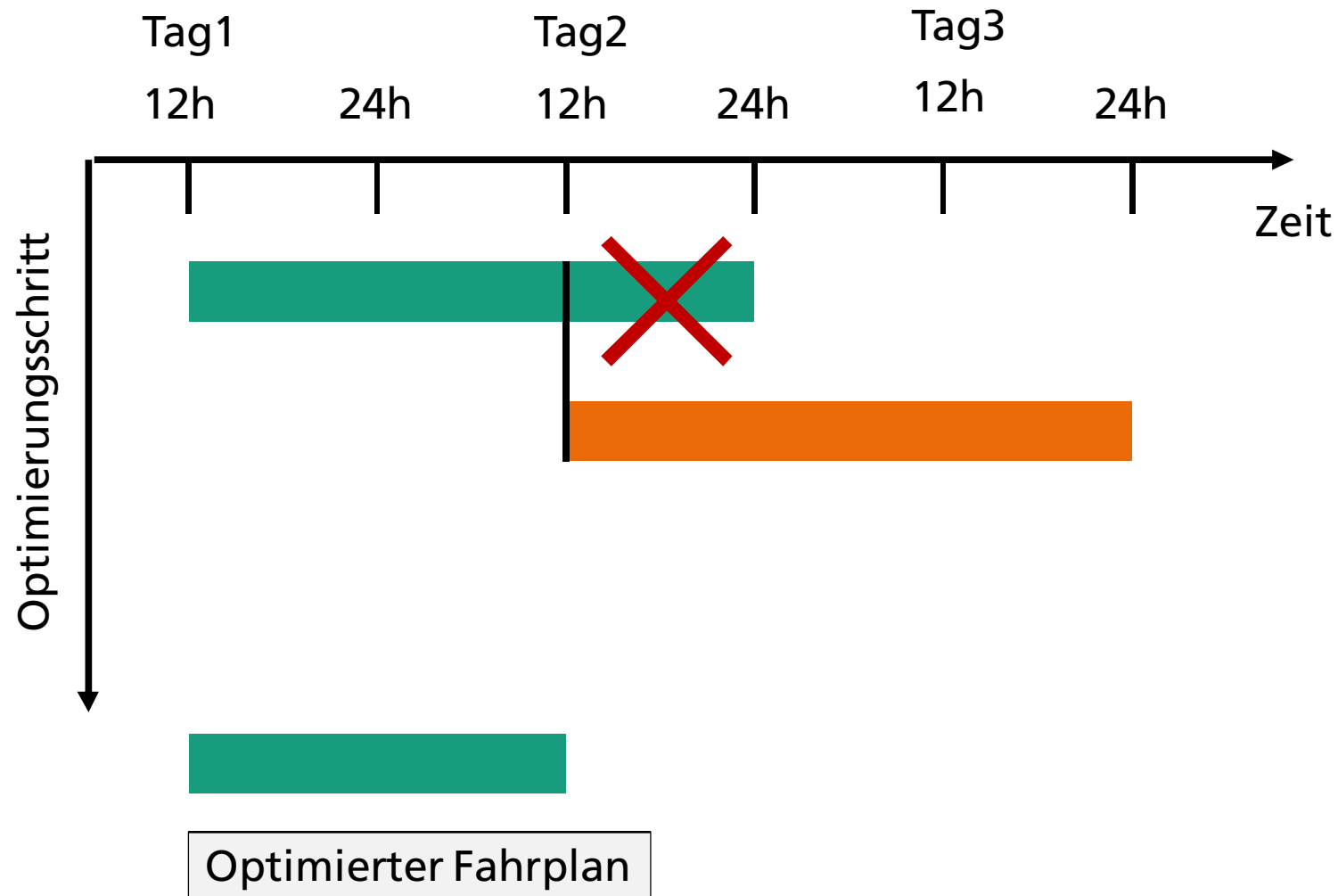
CheapFlex: Regelung mit optimierter Fahrplanerstellung

	Signal	Beschreibung	Restriktion
1	Off	WP wird ausgeschaltet	Mindest-Laufzeit (6 Minuten)
2	Standard	Konventioneller WP-Betrieb	-
3	On	WP wird angeschaltet / Heizungsspeicher-Hysterese wird um 2,5° erhöht	Mindest-Stillstandszeit (3 Minuten)
4a	Superheat (HP)	WP wird angeschaltet / Heizungsspeicher wird bis zur Maximaltemperatur von 60 °C geheizt	Mindest-Stillstandszeit (3 Minuten)
4b	Superheat (HP+BH)	WP und Zusatzheizung werden angeschaltet / Heizungsspeicher wird bis zur Maximaltemperatur von 60 °C geheizt	Mindest-Stillstandszeit (3 Minuten)

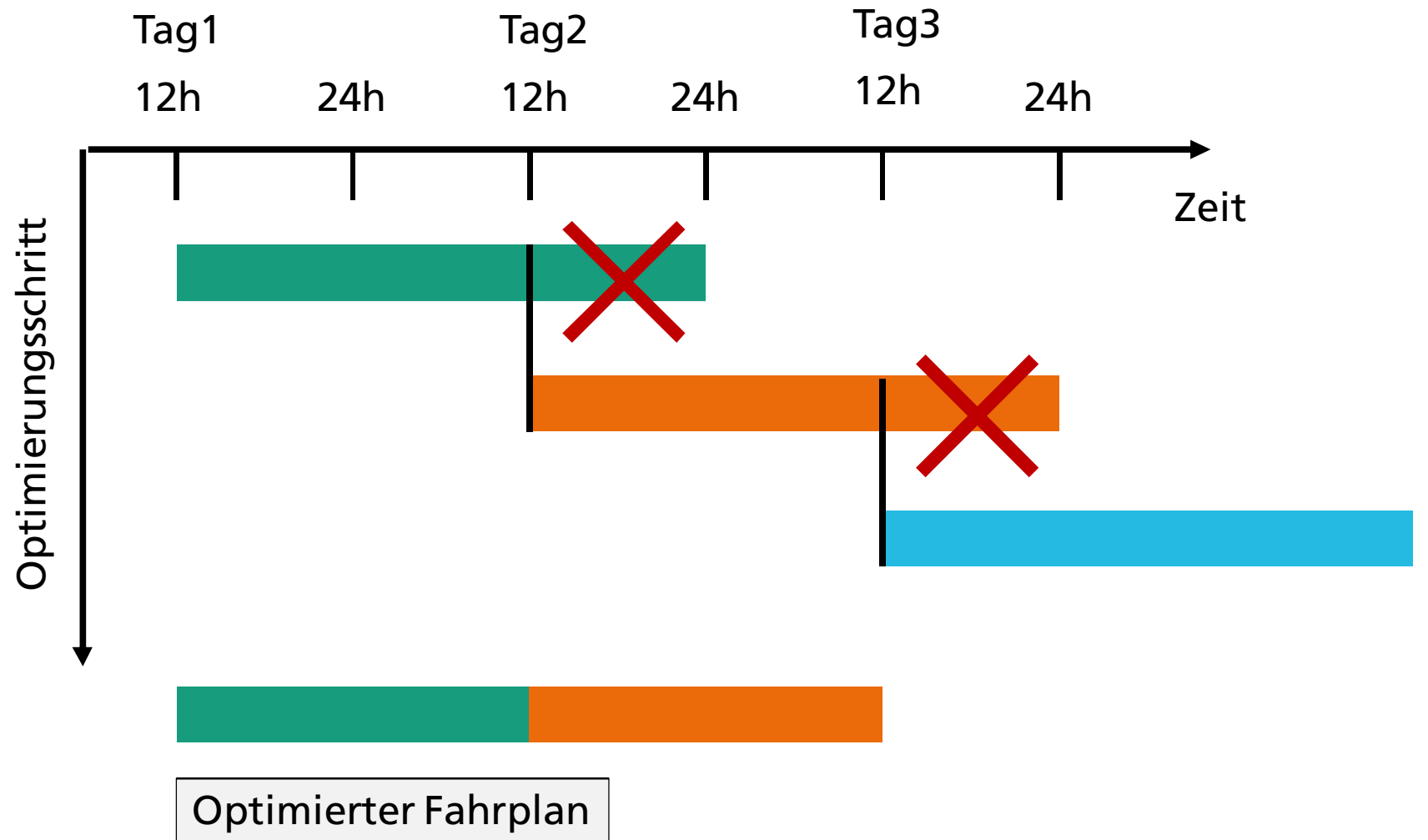
CheapFlex: Optimierung mit rollierendem Horizont



CheapFlex: Optimierung mit rollierendem Horizont



CheapFlex: Optimierung mit rollierendem Horizont



CheapFlex: Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Vorstellung des Konzepts in CheapFlex
- Dynamischer 2-Stufen Tarif
 - Vorbild: Traditionelle HT/NT Tarife
 - Dynamisierte Schaltzeiten
 - Basis: Komplexe Referenzgröße (Day Ahead Strombörsenpreis / Residuale Last)
- Einblick in Regelungsstrategien auf Basis der Tarife

Ausblick:

- Simulation WP, Flottensimulationen, mehrstufige Tarife
- Untersuchungen der Korrelation Residuallast - Day Ahead Preis
- Feldtest in Ahaus: WP, BHKW, Nachtspeicherheizungen, PV- und Lastkunden



Cheap**Flex**

Schlussfolgerungen

- Wandel in der Energieversorgung
 - Dezentrale Erzeugung
 - Speicher
 - Energiemanagement dezentral wird lukrativ
 - heute: systemdienliches (oder zumindest nicht schädliches) Verhalten
 - zukünftig: Systembildend

- Brauchen wir wirklich die vollständige Smart Grid Vernetzung?



Zertifikatsprogramm

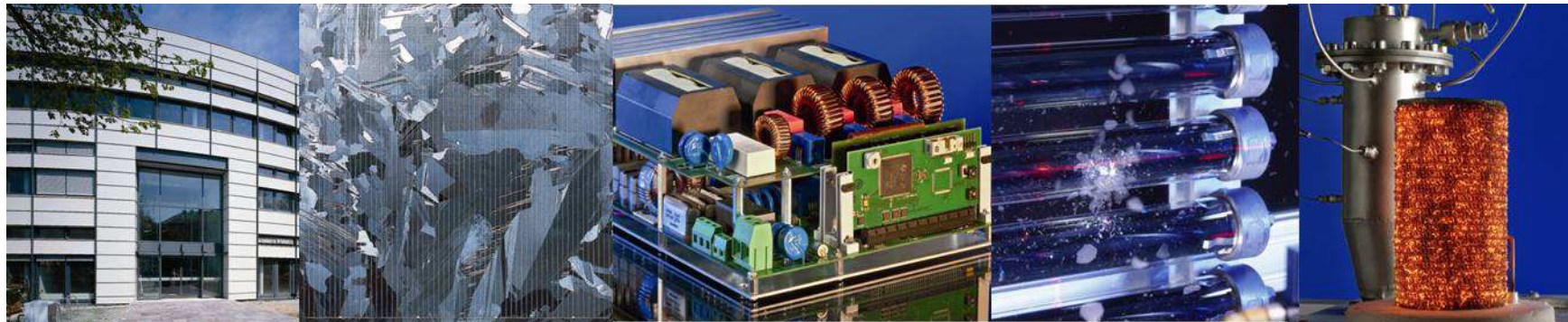
Certificate of Advanced Studies CAS

»Intelligente Energienetze«



<http://s.fhg.de/NLt>

CAS »Intelligente Energienetze«  in wissenschaftlicher Kooperation mit:  	
Kursformat	Zertifikatsprogramm SWISSUNI :: Certificate of Advanced studies CAS
Dauer	6 Monate
Sprache	Deutsch
Themen	i.a. das Stromnetz mit seinen Komponenten zur Übertragung und Verteilung, intelligente Gestaltung von Energienetzen (Smart Grids), Aufbau der Stromversorgungssysteme, Komponenten für die grid control, Netzberechnungen, Spannungsregelung und -regulierung
Lehrkonzept	online-basierten Selbstlernphasen, regelmäßigen Online-Meetings und Präsenzterminen am Fraunhofer ISE, kontinuierliche Betreuung durch Experten und Forscher des Fraunhofer ISE
Gebühren	Die aktuellen Gebühren finden Sie auf unserer Website



Fraunhofer Institut für Solare Energie Systeme ISE

Dr.-Ing. Bernhard Wille-Haussmann

www.ise.fraunhofer.de

bernhard.wille-haussmann@ise.fraunhofer.de

