

SOLAR

Smart Grid ohne Lastgangmessung Allensbach - Radolfzell

bereit für
100%
ERNEUERBARE



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Renewables
Grid Initiative

AWARD GOOD PRACTICE
OF THE YEAR

Projektergebnisse



Agenda

13.30 Uhr Begrüßung, Vorstellung des Projektes

13.40 Uhr Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

14.10 Uhr Der Virtuelle Demonstrator: Realistische Systemuntersuchungen in Sekundengenauigkeit

Kurze Pause

14.30 Uhr Quartierstrom und Messstellenbetrieb, Bericht aus der Praxis

14.50 Uhr Intelligente Steuerung von Geräten in der Praxis

15.20 Uhr Die weltweit erste Wärmepumpe, die direkt auf Preissignale reagiert

Kurze Pause

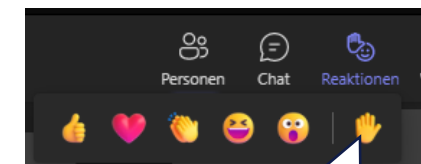
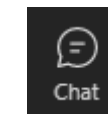
15.30 Uhr „Smart Grids, kann man das essen?“ - Feedback der Nutzer

15.40 Uhr Die nächsten Schritte: Das intelligente Stromsystem

16.00 Uhr Moderierte Diskussion: Fragen und Antworten

16.30 Uhr Ende der Veranstaltung

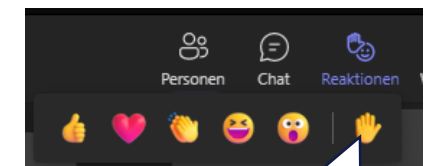
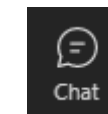
Bitte stellen Sie Fragen zwischendurch im Chat oder Aktivieren Sie die Handmeldung, wenn Sie persönlich eine Frage stellen wollen.



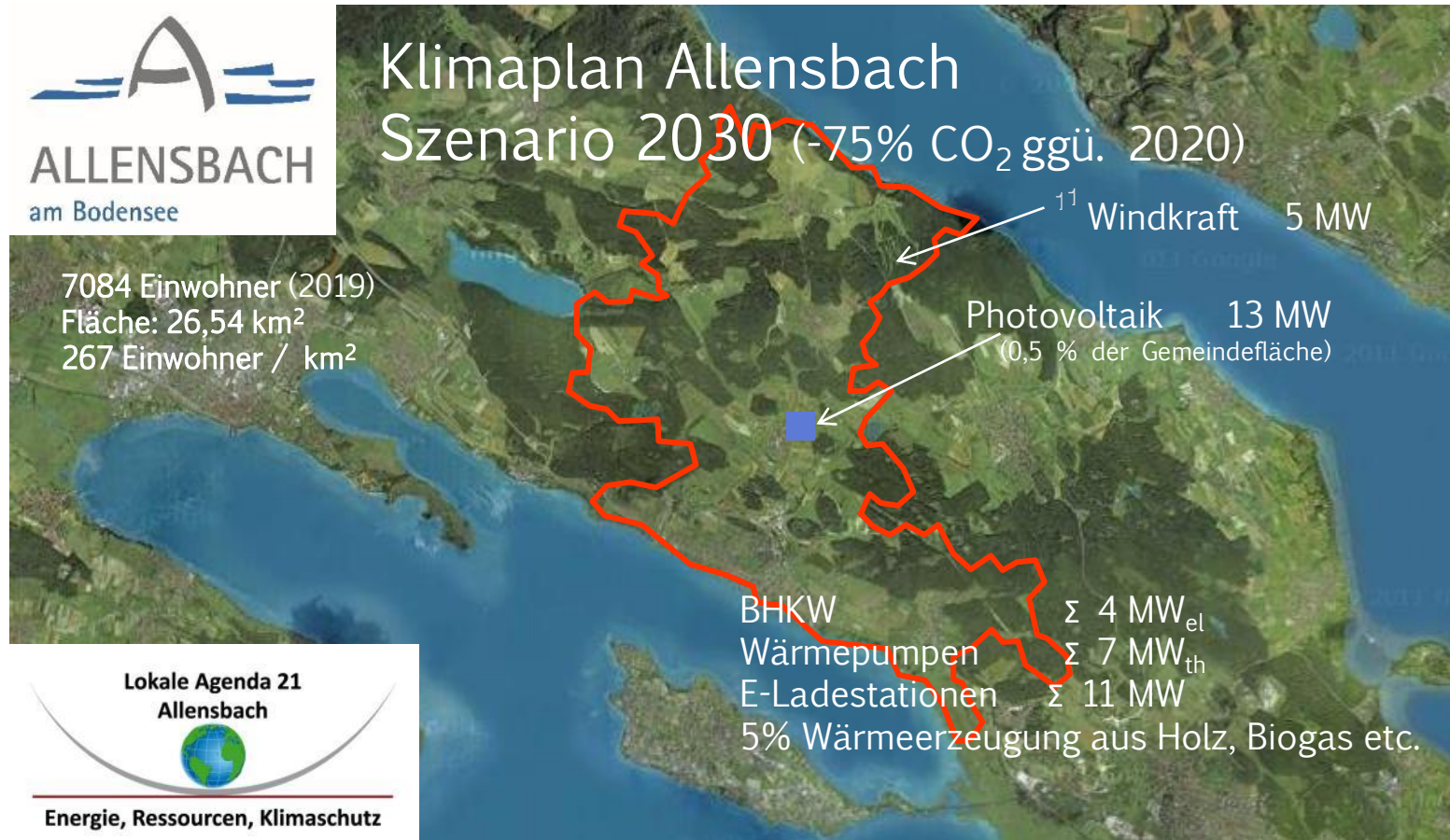
Agenda

- 13.30 Uhr Begrüßung, Vorstellung des Projektes
- 13.40 Uhr Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse**
- 14.10 Uhr Der Virtuelle Demonstrator: Realistische Systemuntersuchungen in Sekundengenauigkeit
- Kurze Pause
- 14.30 Uhr Quartierstrom und Messstellenbetrieb, Bericht aus der Praxis
- 14.50 Uhr Intelligente Steuerung von Geräten in der Praxis
- 15.20 Uhr Die weltweit erste Wärmepumpe, die direkt auf Preissignale reagiert
- Kurze Pause
- 15.30 Uhr „Smart Grids, kann man das essen?“ - Feedback der Nutzer
- 15.40 Uhr Die nächsten Schritte: Das intelligente Stromsystem
- 16.00 Uhr Moderierte Diskussion: Fragen und Antworten** →
- 16.30 Uhr Ende der Veranstaltung

Bitte stellen Sie Fragen zwischendurch im Chat oder Aktivieren Sie die Handmeldung, wenn Sie persönlich eine Frage stellen wollen.



Der Ausgangspunkt: Die Energiewende am Beispiel von Allensbach



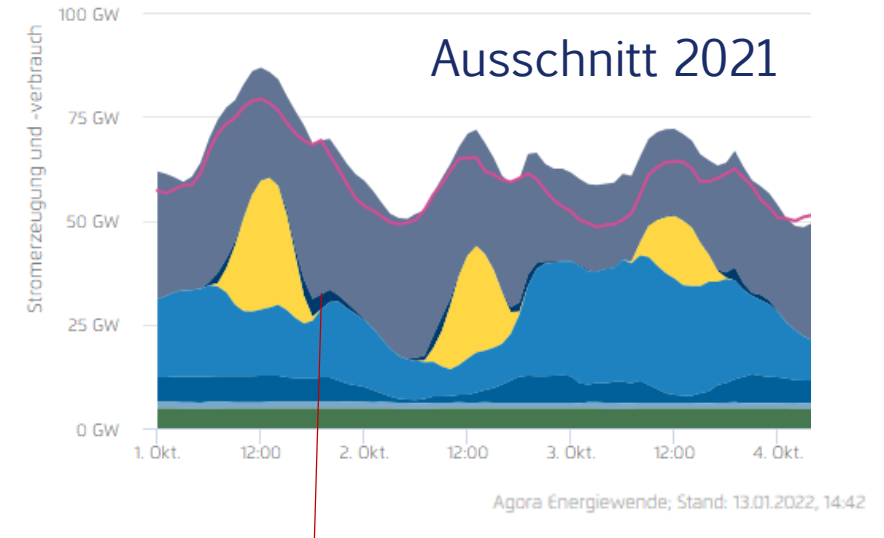
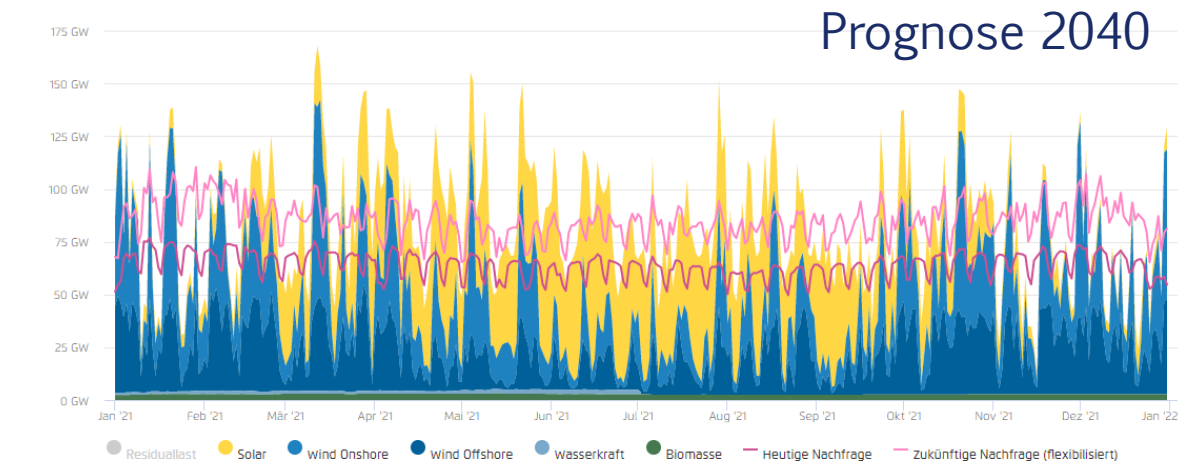
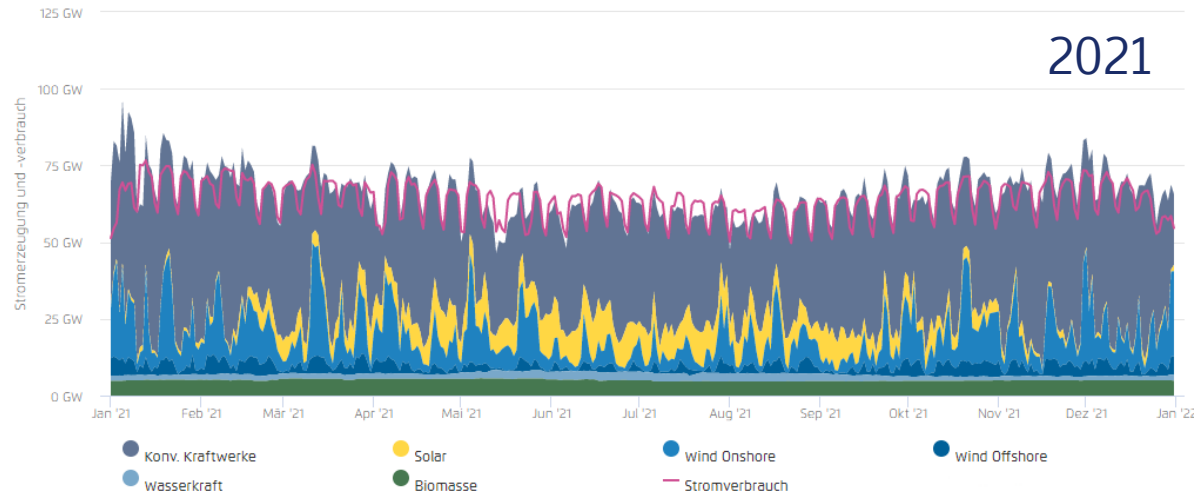
Preisverleihung 2010
„Klimaneutrale Kommune“



C/Sells 2020
„Partizipationszelle“

Stromerzeugung Deutschland 2021/2040

Das Speicherproblem der Energiewende

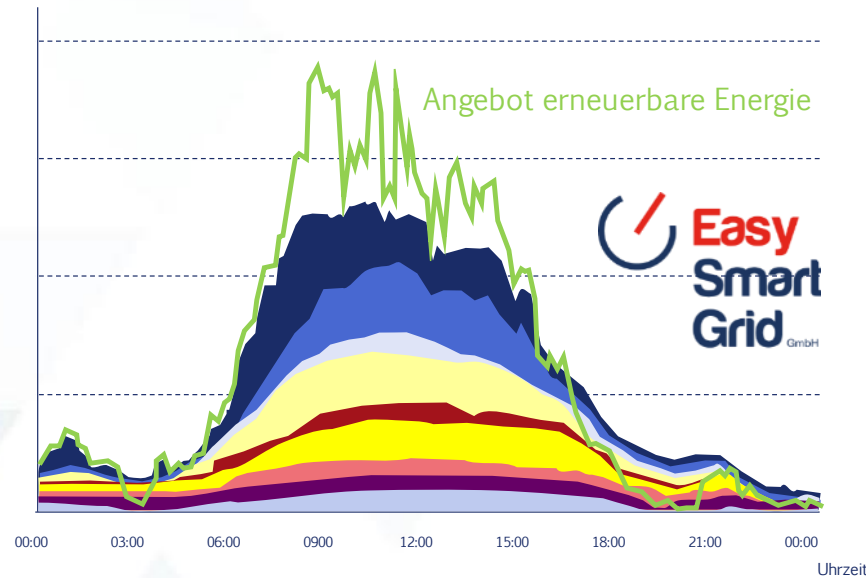
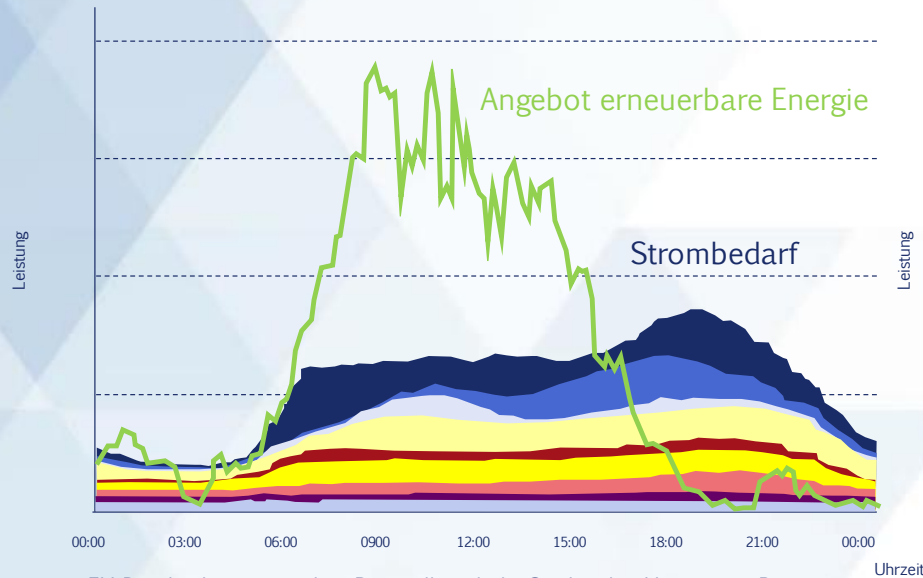


Die pro Jahr gespeicherte Energie der Pumpspeicherkraftwerke (ca. 8 TWh) ist fast vernachlässigbar, obwohl sie ca. 2000 (!) mal größer ist als die aktuelle Speicherung durch Batterien (ca. 3 GWh).

Gute Nachricht:
Wind und Sonne ergänzen sich über das Jahr

Elektrogeräte als „virtuelle Batterien“

Beispiel zur Veranschaulichung



- Wasserehitzer
- Klima/Lüftung
- Ofen und Herd
- Trockner
- Waschmaschine
- Umwälzpumpe
- Geschirrspüler
- Kühlschrank
- Gefrierschrank

EU-Durchschnitt typischer Beispielhaushalt, Studie der Universität Bonn
https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/smart-a_synergy_potential_of_smart_appliances.pdf

Sektorkopplung für mehr Effizienz – und für mehr „virtuelle Batterien“



Elektrogeräte und Anlagen

- Lastverschiebung als „virtuelle Batterie“
- Regelleistung möglich



Wärmepumpen

- Energiespeicherung über Wärme
- 4 x effizienter als Gas-Brennwert



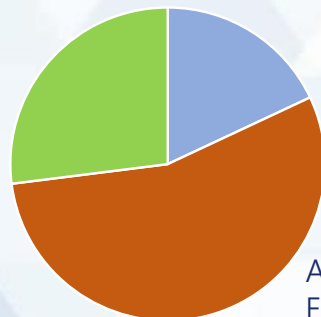
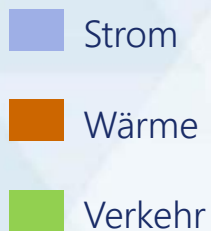
BHKW und Brennstoffzellen

- Strom- und wärmegeführt
- Effiziente Wärmenutzung
- Hohe Vorlauftemperaturen



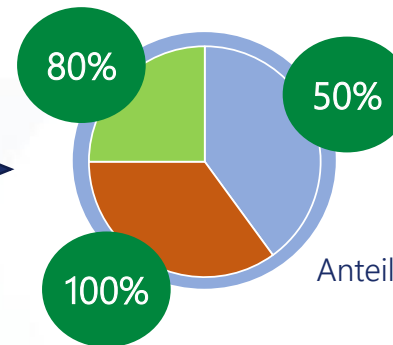
Elektrofahrzeuge

- 75% weniger Energieverbrauch als Benzin oder Diesel
- Smartes Laden - „virtuelle“ Batterie



Anteile aktuell am Energieverbrauch

Effizienzgewinne bei Wärme und Verkehr



Anteile im elektrifizierten Szenario

Flexibilitätspotential in Summe fast 80%

(80% des zukünftigen Strombedarfs kann über „virtuelle Batterien“ verschoben werden)

Demonstrations-Liegenschaft in Allensbach „Dübelhölzle“ Fertigstellung 2021



Vertragspartner Förderprojekt



assoziierte Partner

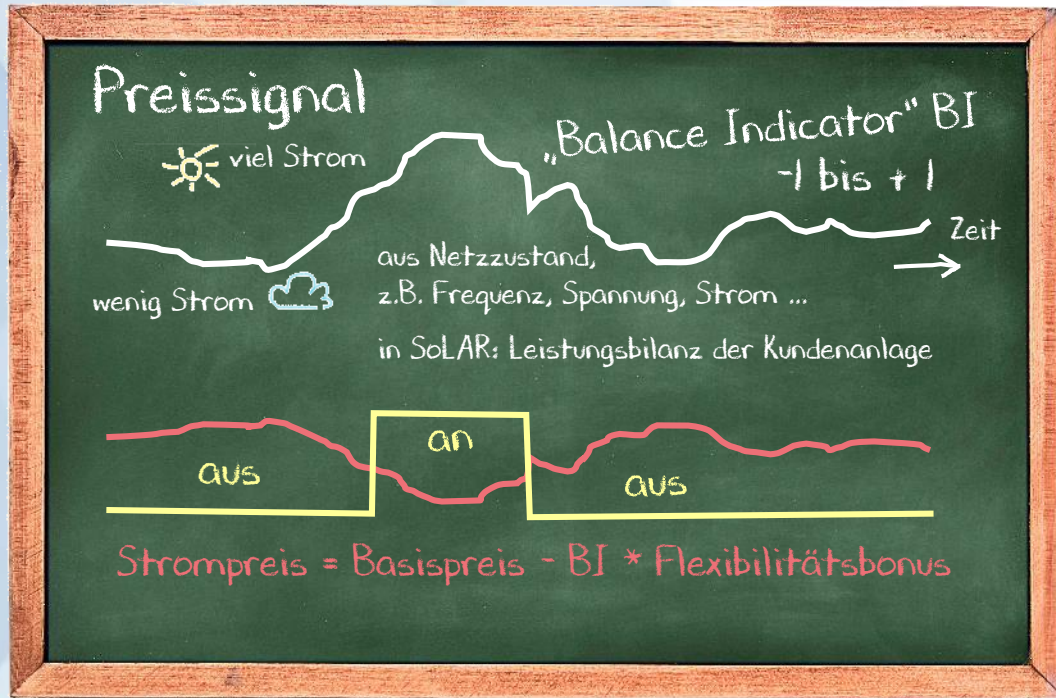


unterstützende Partner



Demonstrationsprojekt SoLAR

Echtzeitmarkt mit Preisen aus dem Netzzustand



Alle Geräte
reagieren individuell
auf das Preissignal



BI

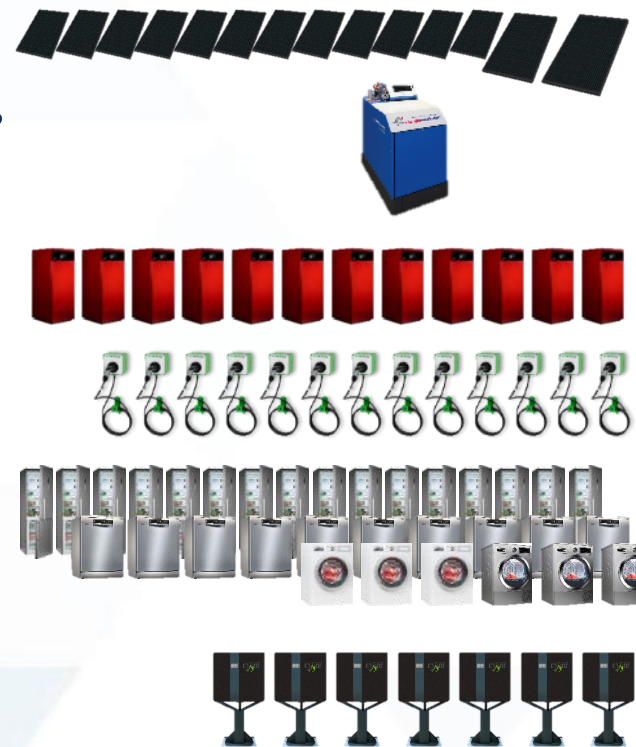
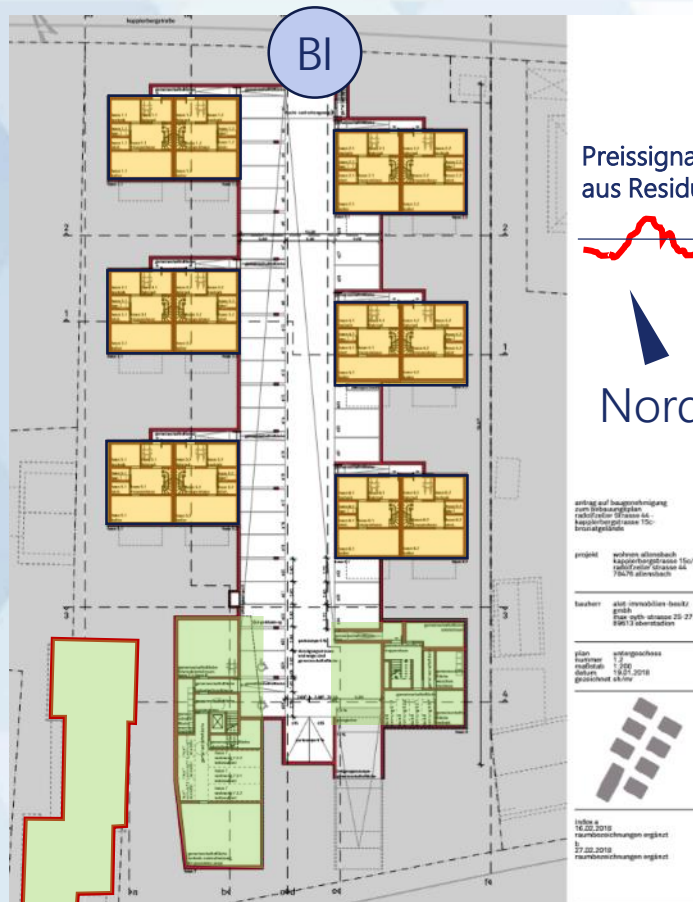


ggf. BI von extern →

Kein Datenschutzproblem!

Netz- und Marktgleichgewicht werden gleichzeitig ermittelt

Demonstrations-Liegenschaft Grundriss, flexible Geräte



62 flexible Geräte in der finalen Ausbaustufe der Realdemonstration

- 9 Häuser mit 25 Wohneinheiten
- KfW 40 Dämmung (Neubauten)
- 14 PV-Anlagen (Σ 88 kW_p)
- 12 Wärmepumpen 5 kW_{th} (Grundwasser)
- 1 BHKW 21 kW_{el}, 46 kW_{th}
- Ladestationen für Elektrofahrzeuge
- Batteriespeicher (DHH, KfW 40+)
- flexible Haushaltsgeräte für 25 Wohneinheiten (z.B. Waschmaschine, Geschirrspüler, Trockner, Kühlschrank, Gefrierschrank)

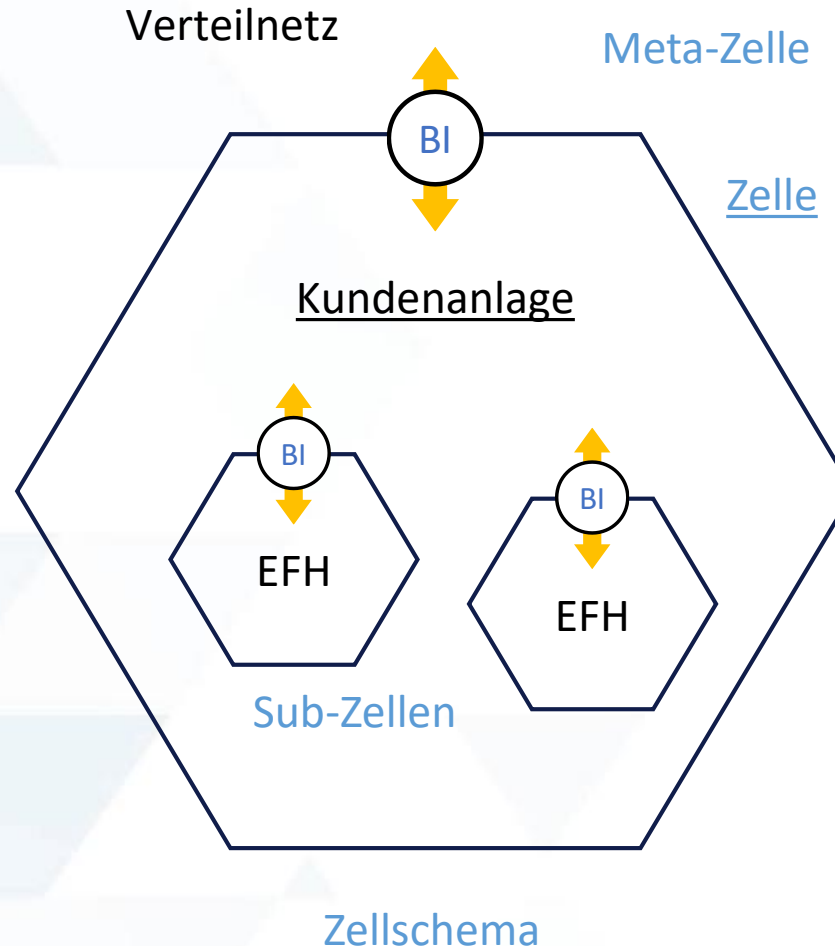
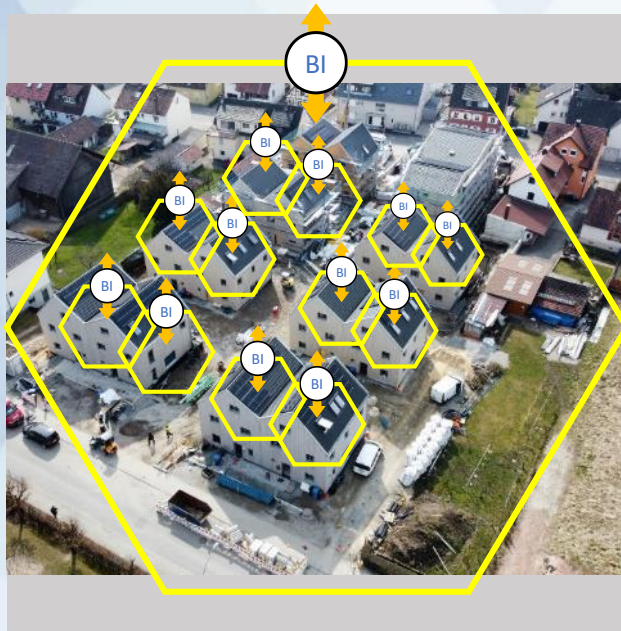
Potential: über 130 flexible Geräte

Geschäftsmodell: Quartierstrom

Forschung: Echtzeittarif

Netzzellen in der Demonstration

Kundenanlage und Einfamilienhäuser als Netzzellen



Verteilnetz (Meta-Zelle)



BI aus Leistungsbilanz zwischen Verteilnetz und Kundenanlage
 Ziel: max. Eigenversorgung
 Basis: EEG Mieterstrom

Kundenanlage (Zelle)



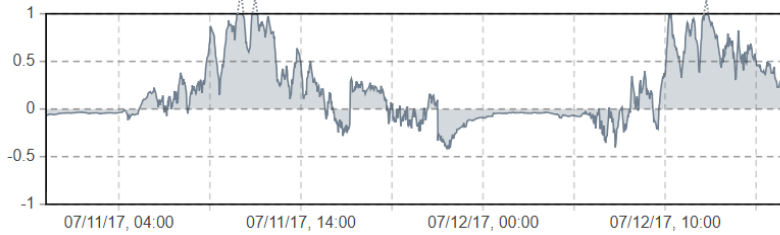
BI aus Leistungsbilanz zwischen Kundenanlage und Einfamilienhaus
 Ziel: max. Eigenversorgung
 Basis: EEG Eigenversorgung

EFH (Sub-Zelle)

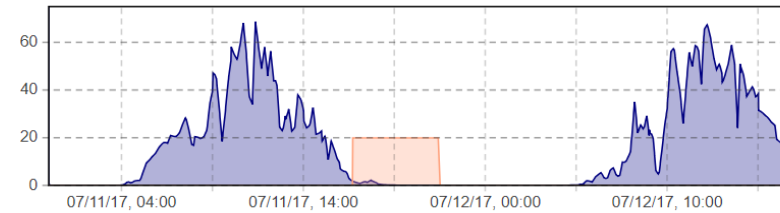
Die Sub-Zellen berücksichtigen sowohl das Preissignal der Zelle als auch ihr eigenes Preissignal. Zellen können beliebig kaskadiert werden.

Energiemanagement mit Balance Indicator

Szenario Sommer (geringer Energieanteil flexibler Wärmeerzeuger)

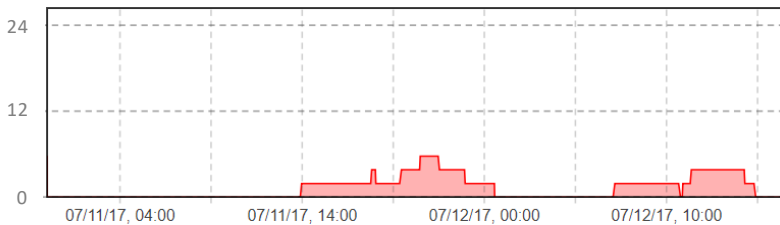


Balance-Indikator
Wird gebildet aus Netzbezug bzw. Netzeinspeisung in Bezug auf die Nennleistung des Netzanschlusses des Quartiers (Kundenanlage)

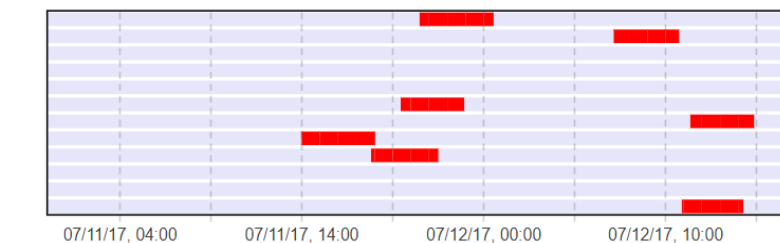


Stromerzeuger
Stromerzeugung der PV-Anlagen (■) und des BHKW (■)

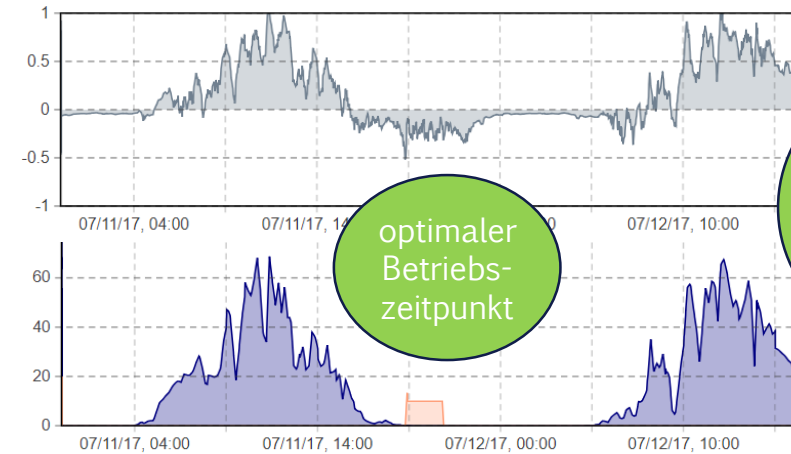
wärmegeführt



Σ Wärmepumpen
Die Grafik zeigt die Summe der Leistungsaufnahmen der Wärmepumpen in 12 Häusern



Wärmepumpen
Einzelschalthandlungen der Wärmepumpen in 12 Häusern (Warmwasser)

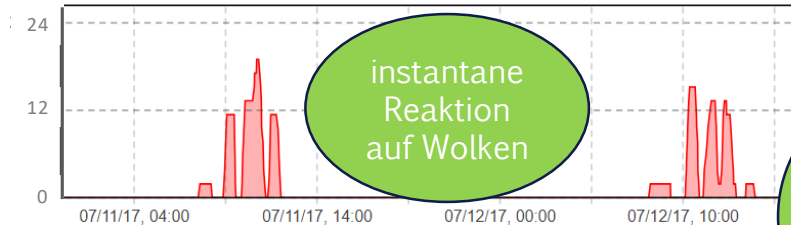


optimaler Betriebszeitpunkt

BHKW
100%
Eigennutzung

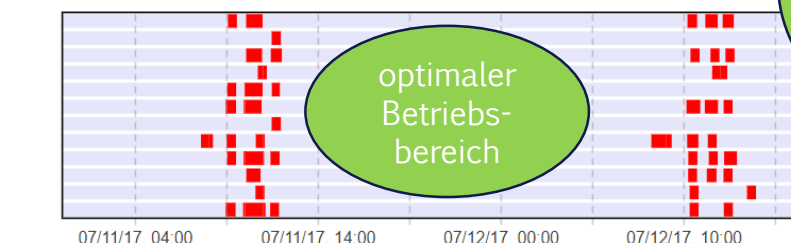


Easy Smart Grid



instantane Reaktion auf Wolken

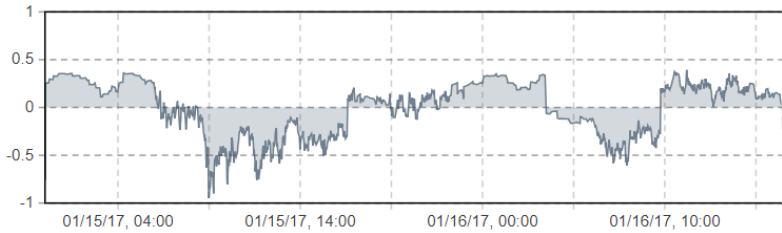
Wärmepumpen
100%
PV-Strom
Peak-Leistung



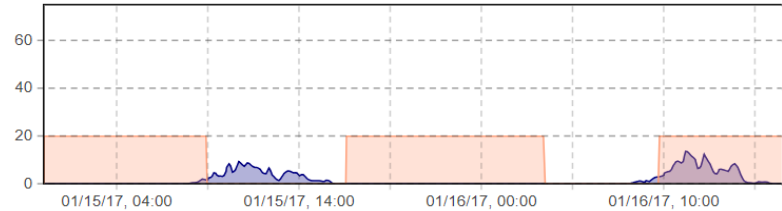
optimaler Betriebsbereich

Energiemanagement mit Balance Indicator

Szenario Winter (hoher Energieanteil flexibler Wärmeerzeuger)

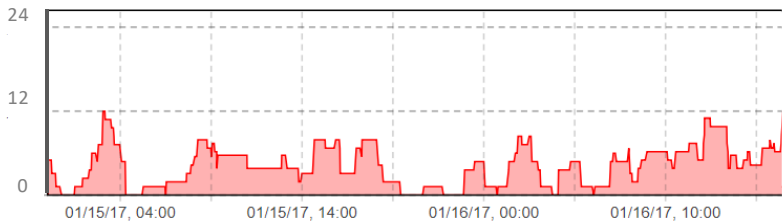


Balance-Indikator
Wird gebildet aus Netzbezug bzw. Netzeinspeisung in Bezug auf die Nennleistung des Netzanschlusses des Quartiers (Kundenanlage)

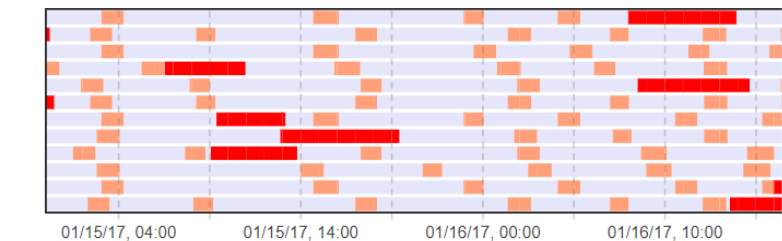


Stromerzeuger
Stromerzeugung der PV-Anlagen (■) und des BHKW (■)

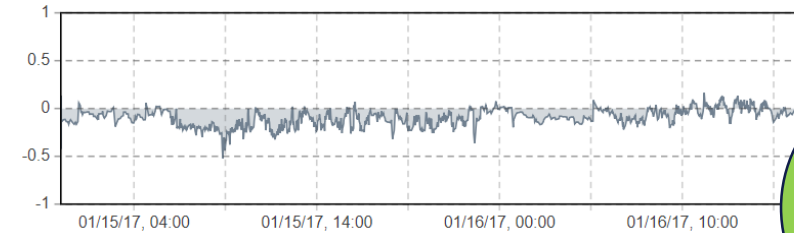
wärmegeführt



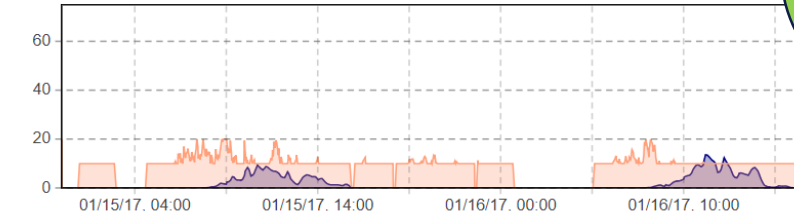
Σ Wärmepumpen
Die Grafik zeigt die Summe der Leistungsaufnahmen der Wärmepumpen in 12 Häusern



Wärmepumpen
Einzelschalthandlungen der Wärmepumpen in 12 Häusern (■ Warmwasser, ■ Heizung)



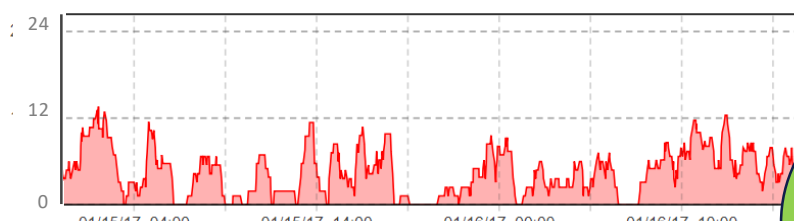
BHKW
100%
Eigennutzung



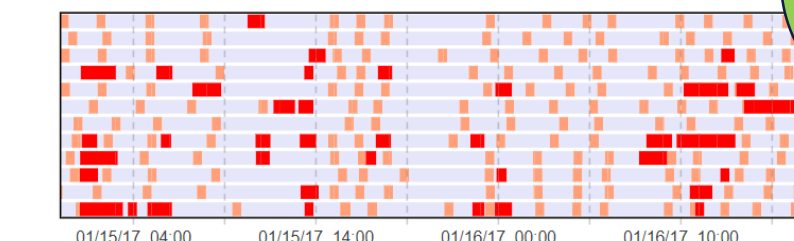
Easy Smart Grid

eifer

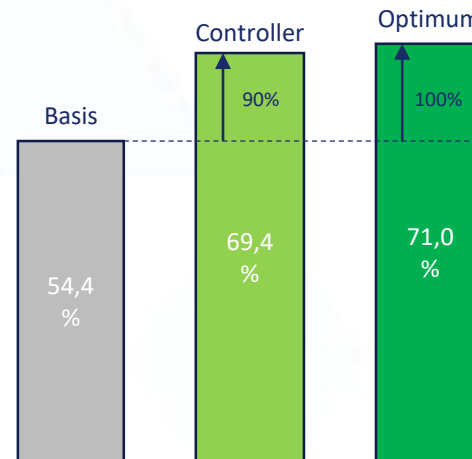
Easy
Smart
Grid



Wärmepumpen
glätten
Lastprofil

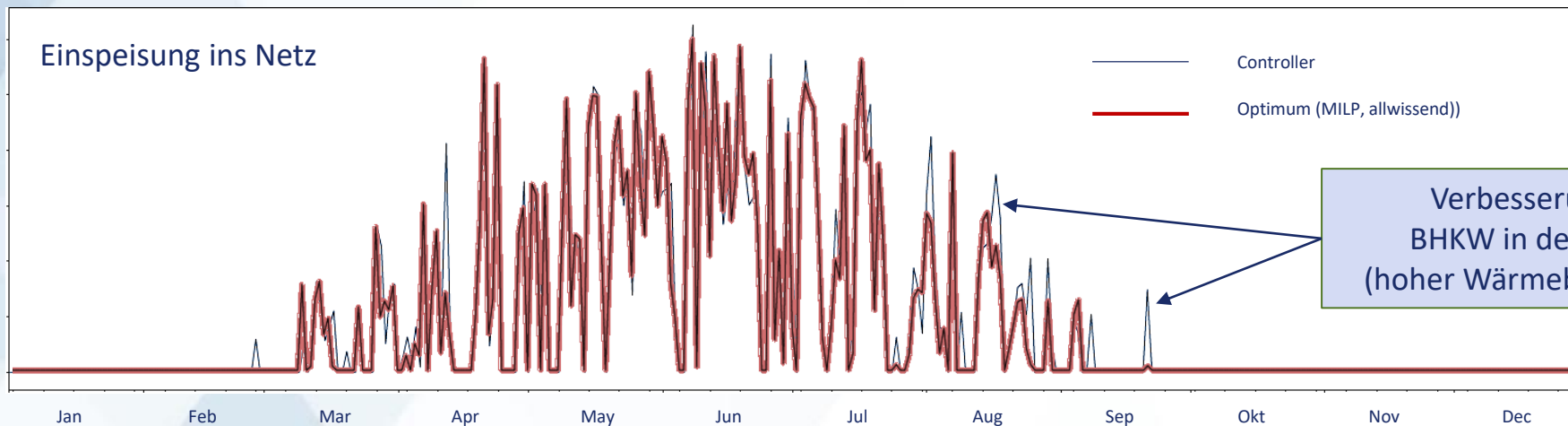


Energiemanagement mit Balance Indicator Vergleich mit „Allwissendem Solver“

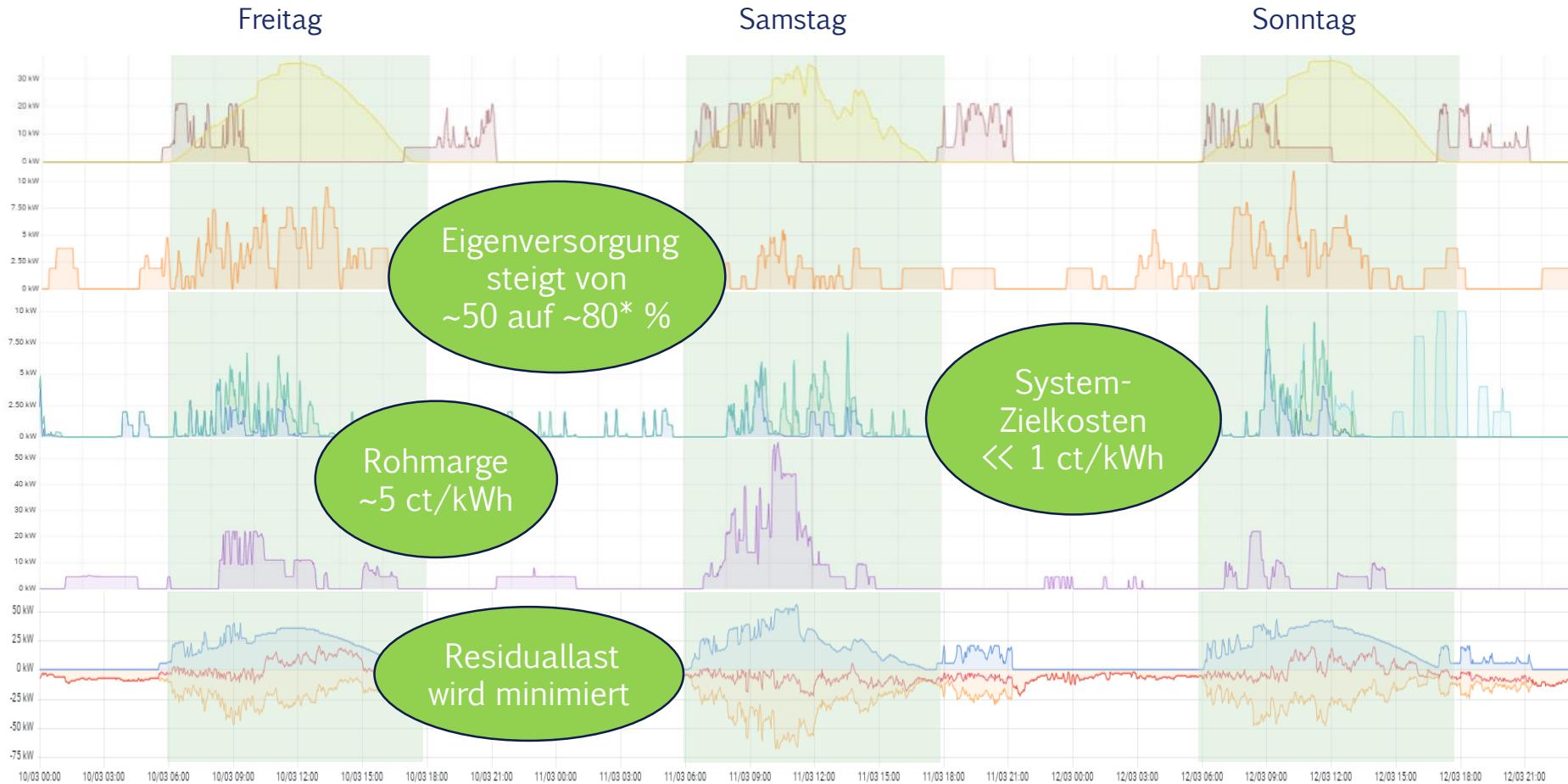


Erhöhung der Eigenverbrauchsrate (EVR) von Strom in der Liegenschaft
durch Steuerung BHKW und Wärmepumpen
(Simulation und MILP Optimierung)

Der Controller hat in der Untersuchung 90% der Leistung des allwissenden Solvers erreicht.
(Ergebnis auf Basis von Stundenwerten)



Intersektorales Energiemanagement Szenario Frühjahr (Aktivierung aller Flexibilitäten)



- 14 PV-Anlagen
- 1 BHKW
- 12 Wärmepumpen
- eifer
- 69 Haushaltsgeräte
Geschirrspüler
Waschmaschinen
Trockner
- 13 Elektrofahrzeuge
- Erzeugung
- Residuallast → BI
- Verbrauch

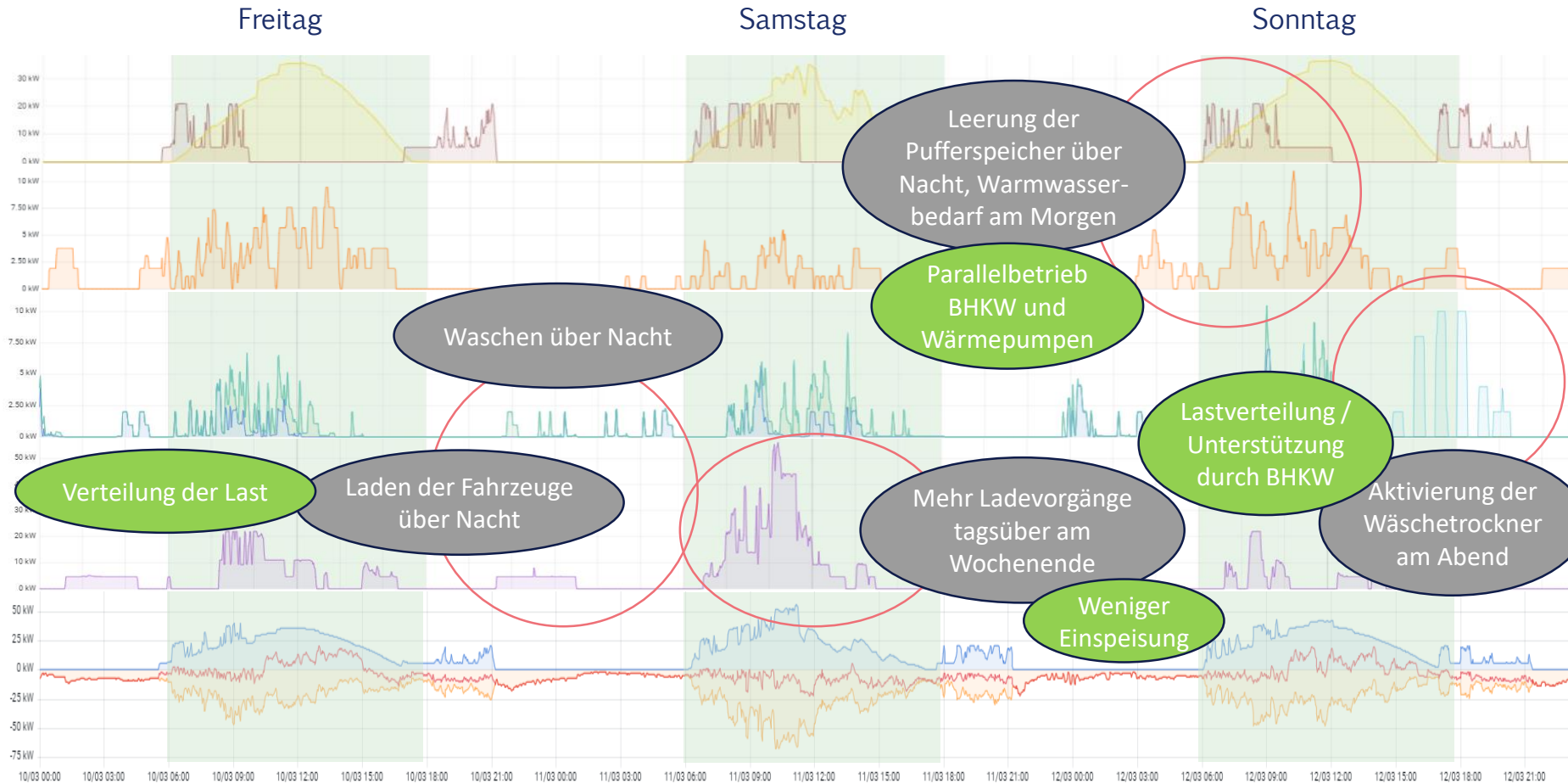


*) abhängig von der Möglichkeit zum Laden über Tag (Solarstrom)

Intersektorales Energiemanagement Restriktionen und Systemreaktion



Σ



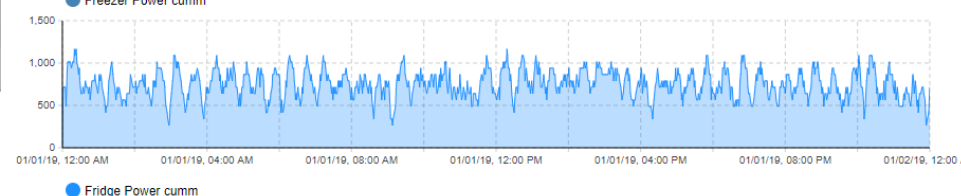
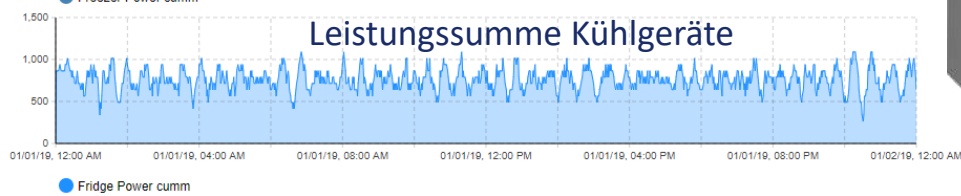
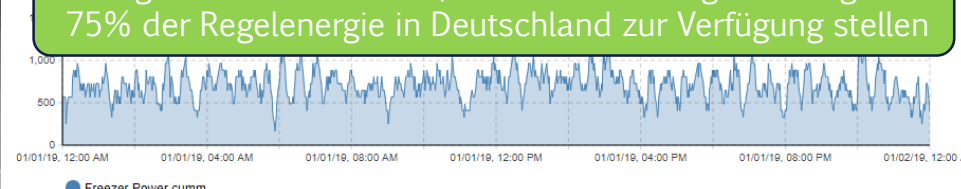
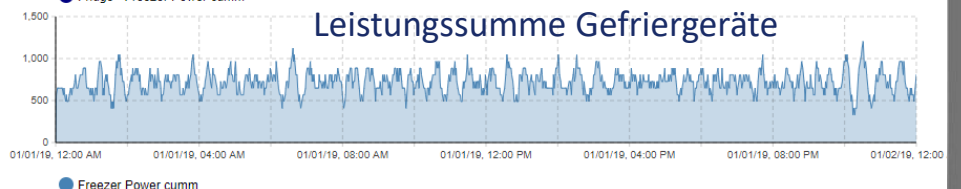
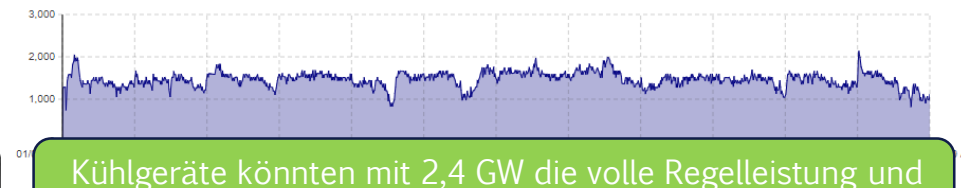
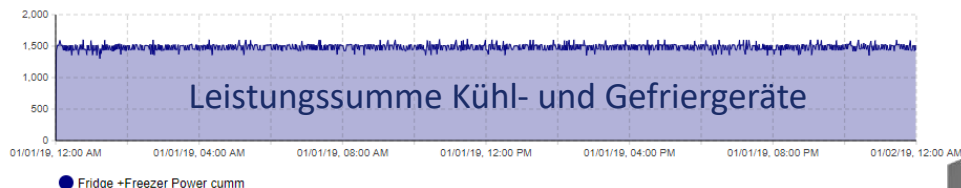
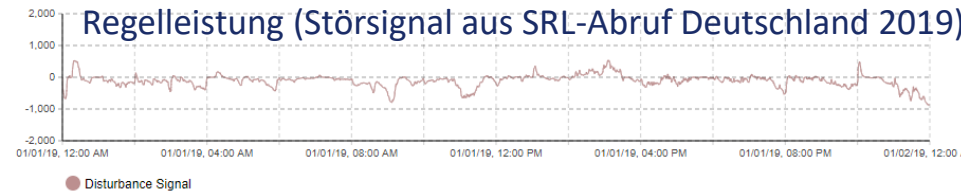
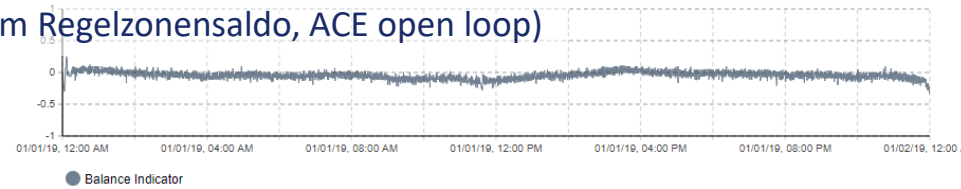
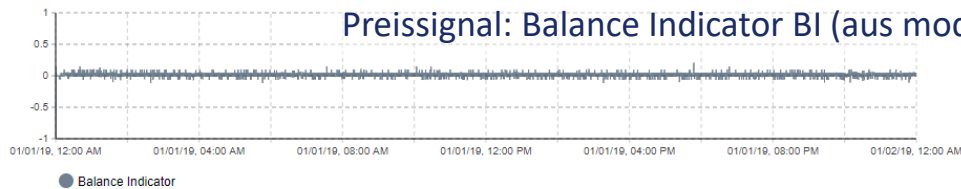
- 14 PV-Anlagen
- 1 BHKW
- 12 Wärmepumpen
- eifer
- 69 Haushaltsgeräte
Geschirrspüler
Waschmaschinen
Trockner
- 13 Elektrofahrzeuge
- Erzeugung
- Residuallast → BI
- Verbrauch



Intersektorales Energiemanagement Einzelschalthandlungen der Verbraucher



Nutzung von Kühl- und Gefriergeräten zur Erbringung von Regelenergie (Simulation)



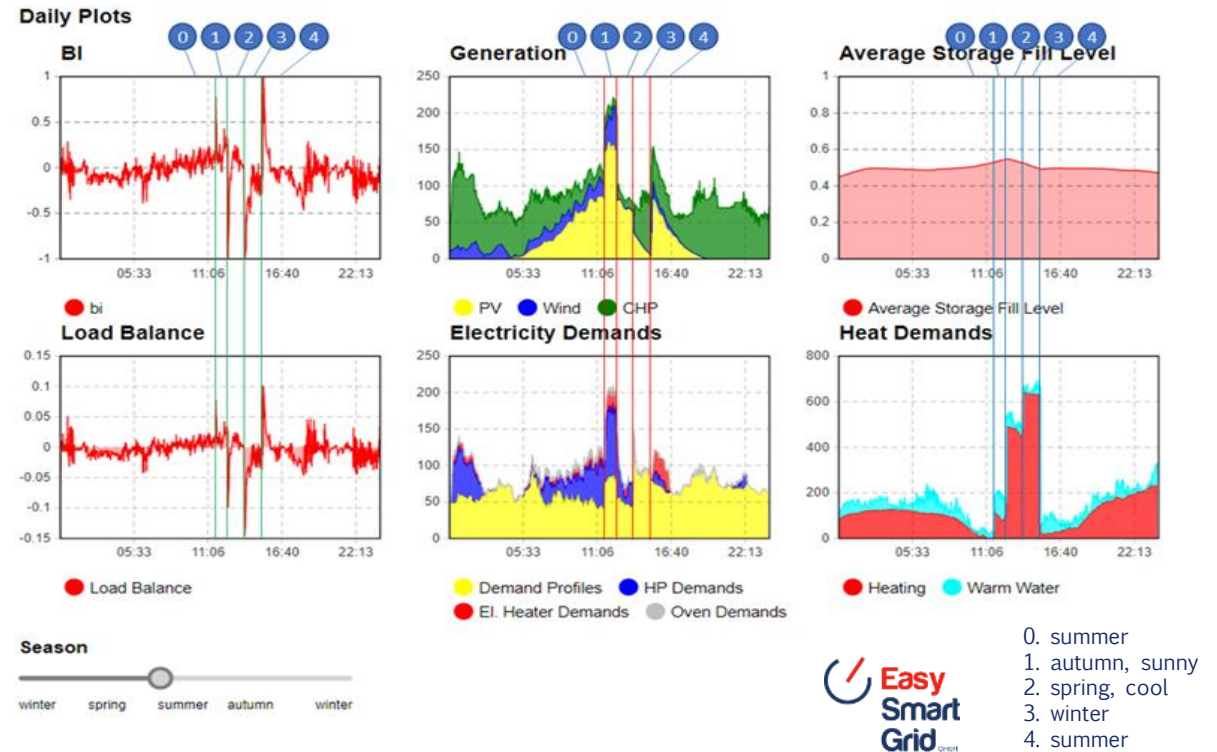
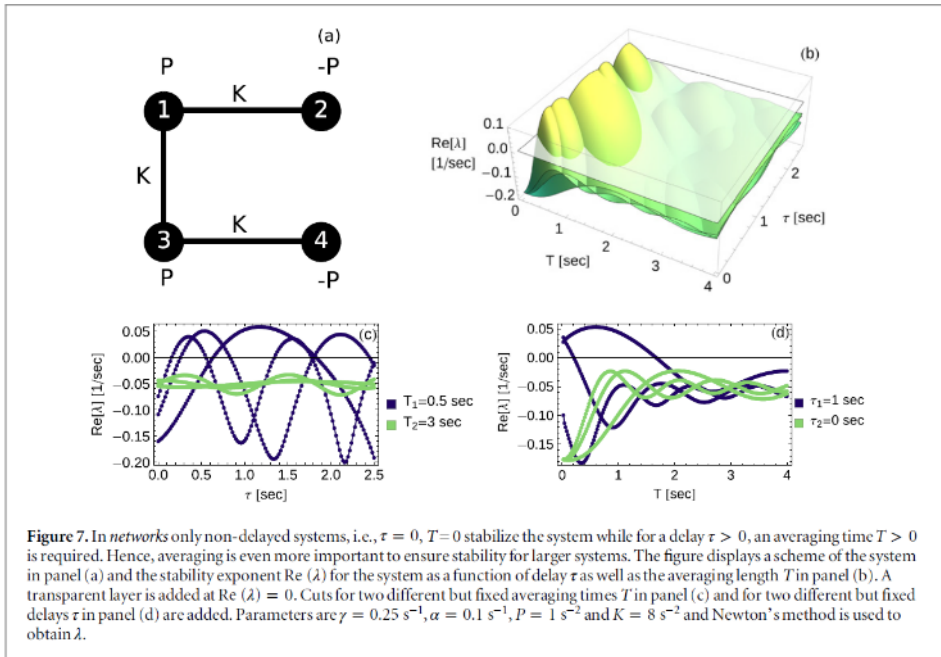
Kühlgeräte könnten mit 2,4 GW die volle Regelleistung und 75% der Regelenergie in Deutschland zur Verfügung stellen

B/S/H/
BSH HAUSGERÄTE GMBH

Easy
Smart
Grid GmbH

eifer

Untersuchungen zur Stabilität Kein „synchrones Schwarmverhalten“



Studie Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation (Göttingen), 2015:

- Durch Mittelwertbildung des Preissignals von mindestens ca. 3 Sekunden (T) kann Stabilität gewährleistet werden

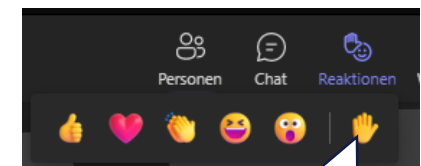
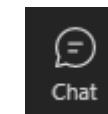


„Elch-Test“ durch sprunghafte Änderung der Jahreszeit im Verlauf der Simulation über einen Tag.

Agenda

- 13.30 Uhr Begrüßung, Vorstellung des Projektes
- 13.40 Uhr Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse
- 14.10 Uhr Der Virtuelle Demonstrator: Realistische Systemuntersuchungen in Sekundengenauigkeit**
- Kurze Pause
- 14.30 Uhr Quartierstrom und Messstellenbetrieb, Bericht aus der Praxis
- 14.50 Uhr Intelligente Steuerung von Geräten in der Praxis
- 15.20 Uhr Die weltweit erste Wärmepumpe, die direkt auf Preissignale reagiert
- Kurze Pause
- 15.30 Uhr „Smart Grids, kann man das essen?“ - Feedback der Nutzer
- 15.40 Uhr Die nächsten Schritte: Das intelligente Stromsystem
- 16.00 Uhr Moderierte Diskussion: Fragen und Antworten**
- 16.30 Uhr Ende der Veranstaltung

Bitte stellen Sie Fragen zwischendurch im Chat oder Aktivieren Sie die Handmeldung, wenn Sie persönlich eine Frage stellen wollen.



SOLAR

Smart Grid ohne Lastgangmessung Allensbach - Radolfzell

Virtuelle Demonstration Projektergebnisse

Enrique Kremers, EIFER



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Renewables
Grid Initiative

AWARD GOOD PRACTICE
OF THE YEAR

bereit für 100% ERNEUERBARE



Adäquate Simulationsansätze für SoLAR

Das Dezentrale Energiemanagement-System ermöglicht...
 ...ein kontrolliertes kollektives Schwarmverhalten, das zu einem optimierten Einsatz von Flexibilität führt



Komplexes System

- Große Anzahl an Entitäten
- Heterogenität (verschiedene Typen, Zustände)
- Autonome und proaktive Entscheidungsprozesse bei jeder Entität (Freiheitsgrade vs. Einschränkungen)
- (indirekte!) Interaktionen zwischen den Entitäten

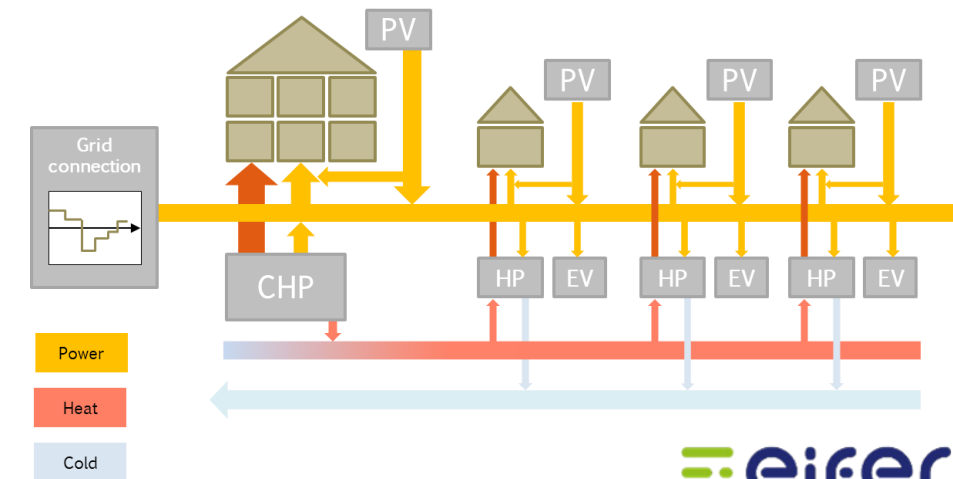
Geeignete Modelldarstellung erforderlich (Dynamik, Emergenz abbilden)

- Keine kommerzielles Lösung verfügbar (Homer, Matlab/Simulink, General Electric Planning Tools), das Flexibilitäten berücksichtigt
- Agentenbasierte Modellierung, kombiniert mit hybriden Modellen (diskret und kontinuierlich)
- Generierung großer Datensätze, Verwaltung und Analyse simulierter Daten



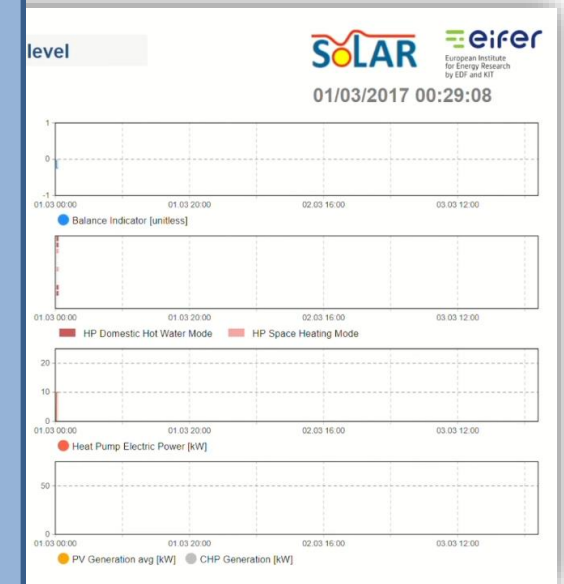
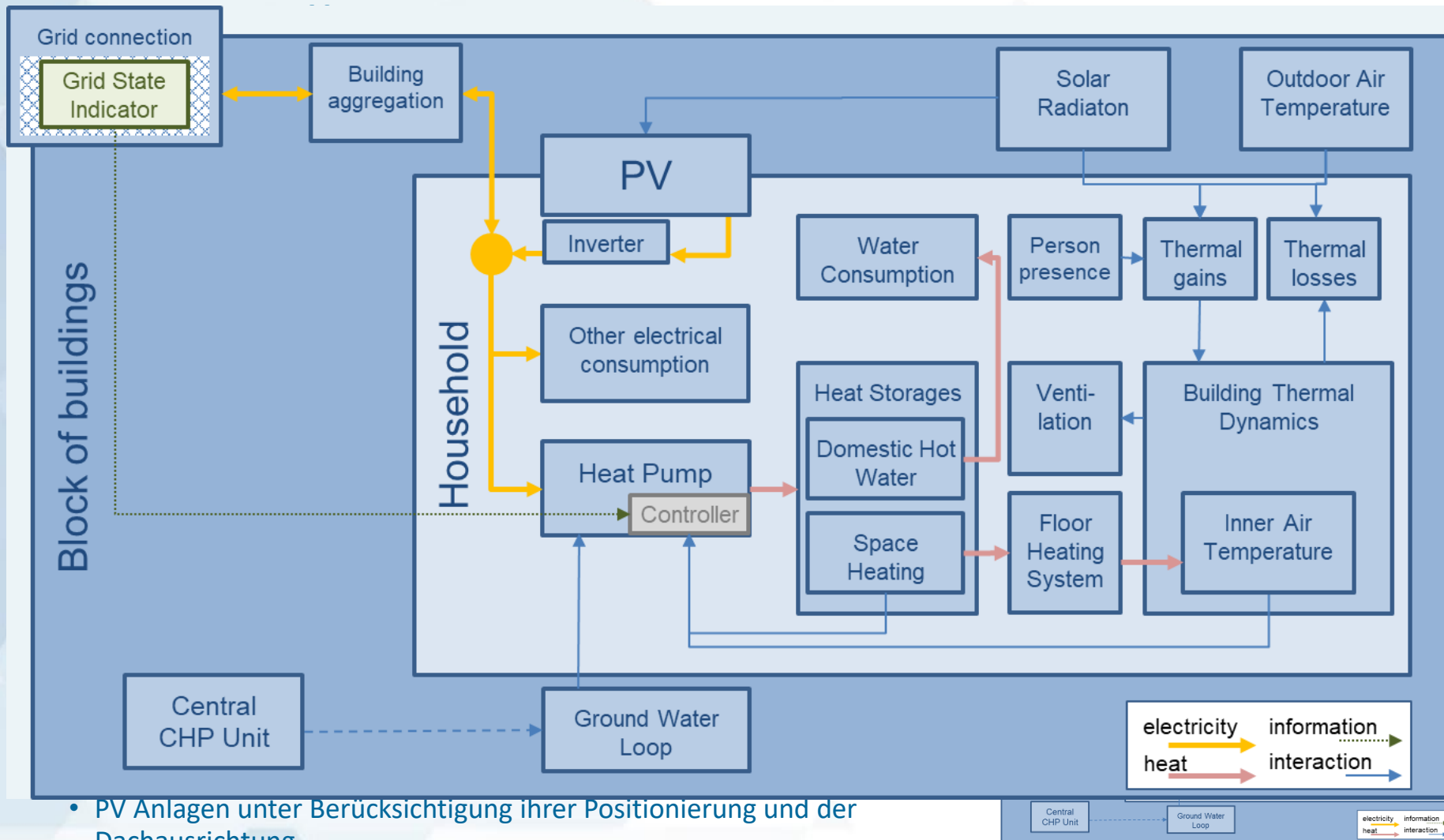
Flexibilitätsquellen

| | Quantity | Type | Power [W] | Total Power [kW] | Flexibility Potential [kWh] | Total Flexibility Potential [kWh] | Flexibility Range |
|--------------------|------------|---------|-----------|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| CHPs | 1 | Storage | 21000 | 21 | 189 | 189 | Days |
| Heatpumps | 12 | Storage | 1200+1900 | 37,2 | 6,94+24,29 | 374,76 | Days |
| EV Charging Points | 13 | Process | 11000 | 143 | 50/30 | 520 | Hours |
| Washing Machines | 23 | Process | 2000 | 46 | 0,45 | 10,35 | Hours |
| Dryers | 23 | Process | 2000 | 46 | 2,44 | 56,12 | Hours |
| Dishwashers | 23 | Process | 2000 | 46 | 1,14 | 26,22 | Hours |
| Fridges | 23 | Storage | 80 | 1,84 | 0,04 | 0,92 | Mins-Hours |
| Freezers | 23 | Storage | 80 | 1,84 | 0,04 | 0,92 | Mins-Hours |
| Total | 141 | | | 342,9 | | 1178,3 | |



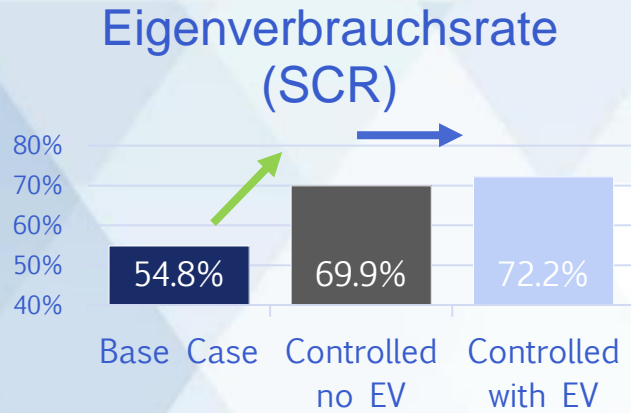
Aufbau Demonstrator

Agentenbasiertes Modell eines Haushalts mit Wärmepumpe

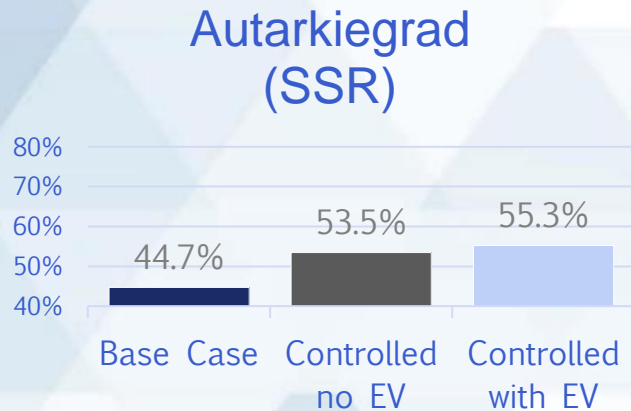
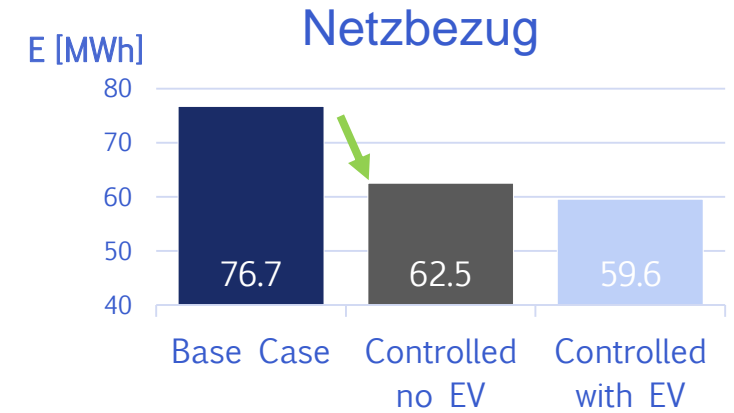
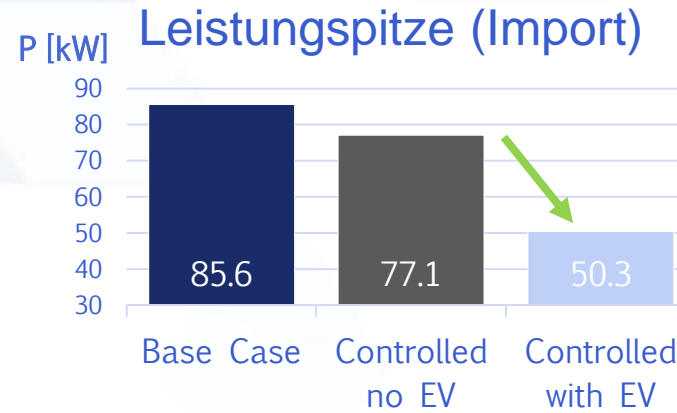


- PV Anlagen unter Berücksichtigung ihrer Positionierung und der Dachausrichtung

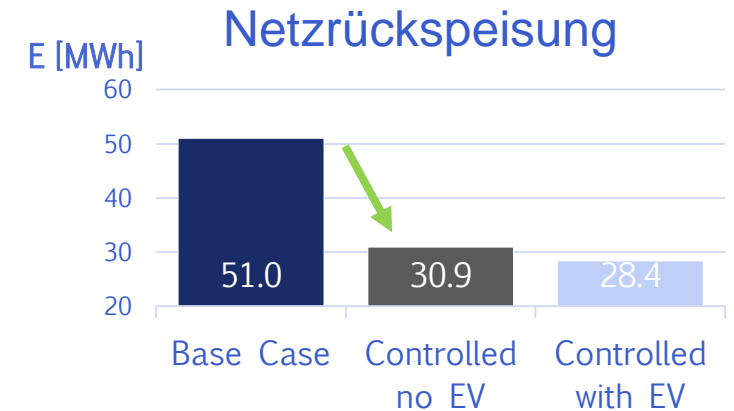
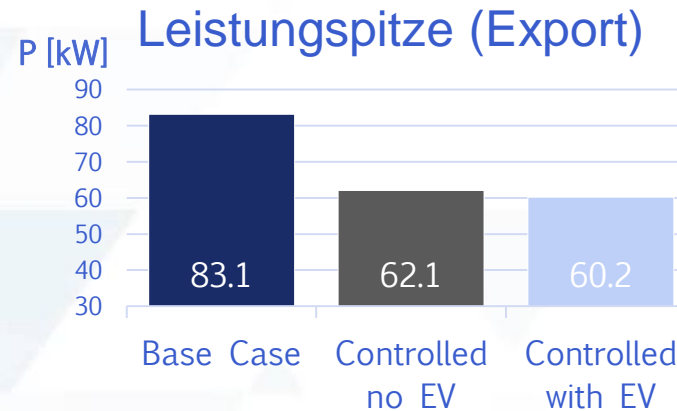
Ergebnisse 1-Jahres Simulationen



$$SCR = \frac{\text{Selfconsumed energy}}{\text{Total onsite produced energy}}$$

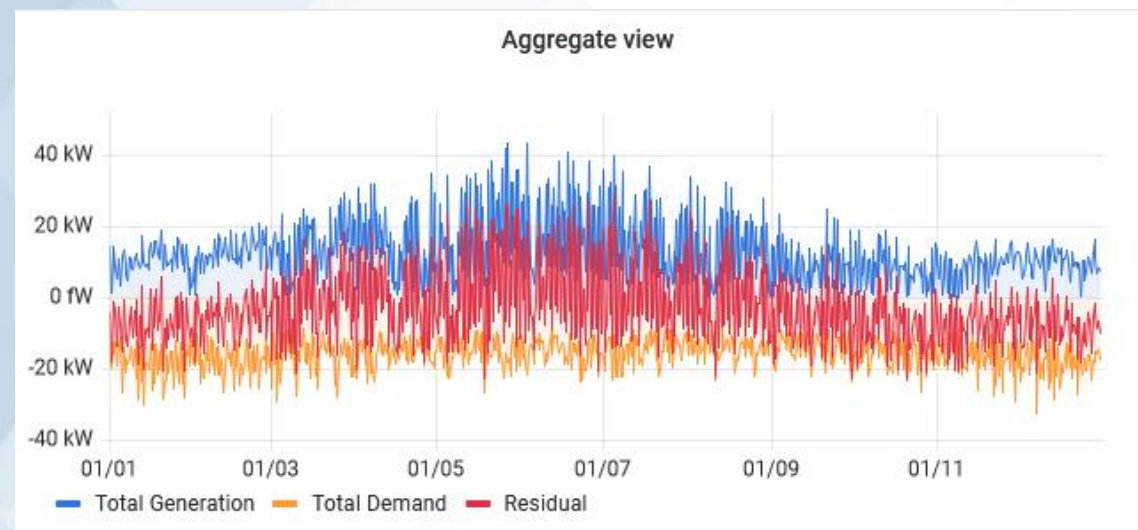


$$SSR = \frac{\text{Selfconsumed energy}}{\text{Total onsite demand}}$$

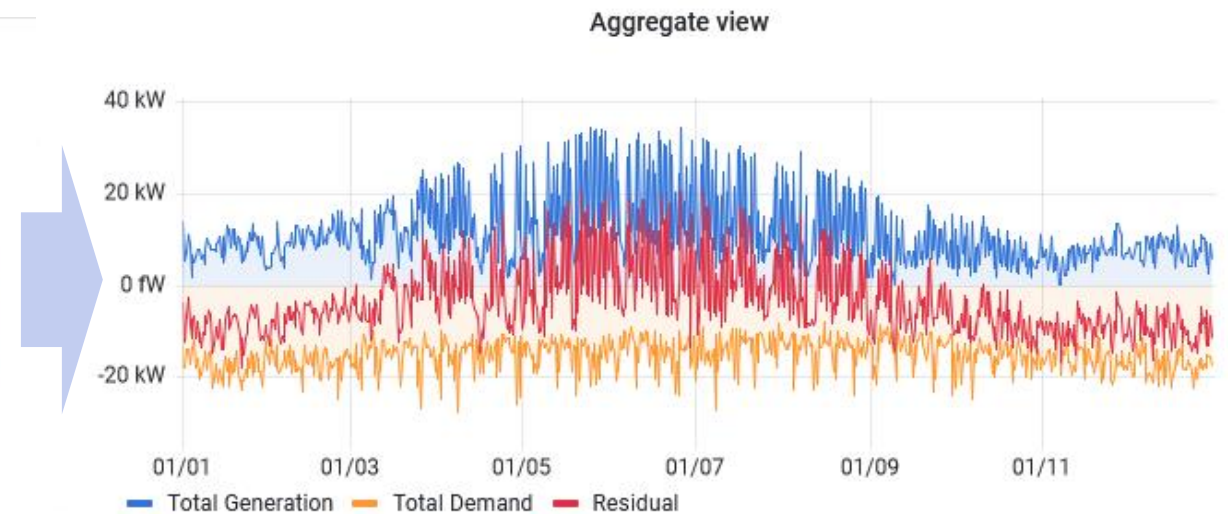


Auswirkungen Dezentrales Energiemanagement

Base Case



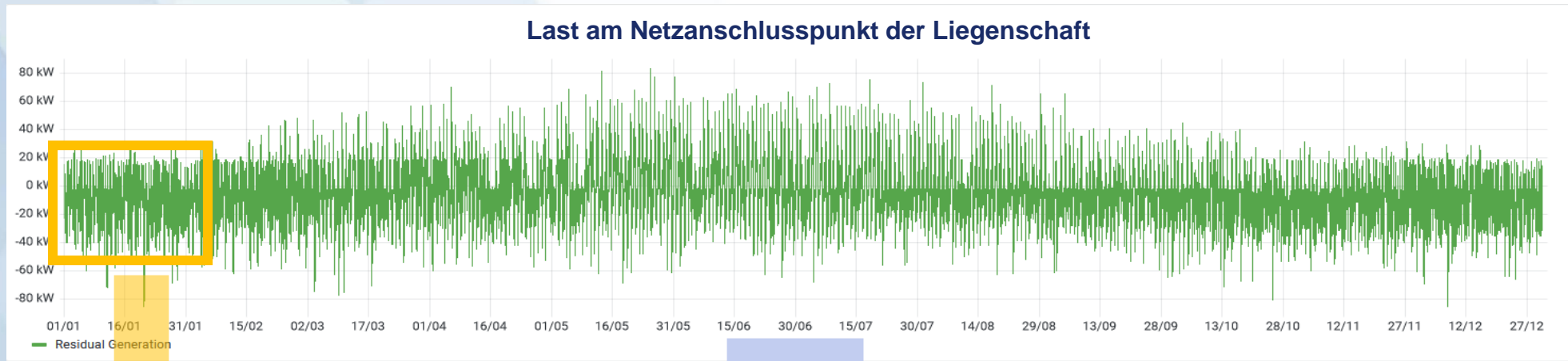
Controlled Case



- Glättung der **Residuallast** durch Anpassung von **Erzeugung** und **Verbrauch**
- Starke Saison-Abhängigkeit der **Residuallast**

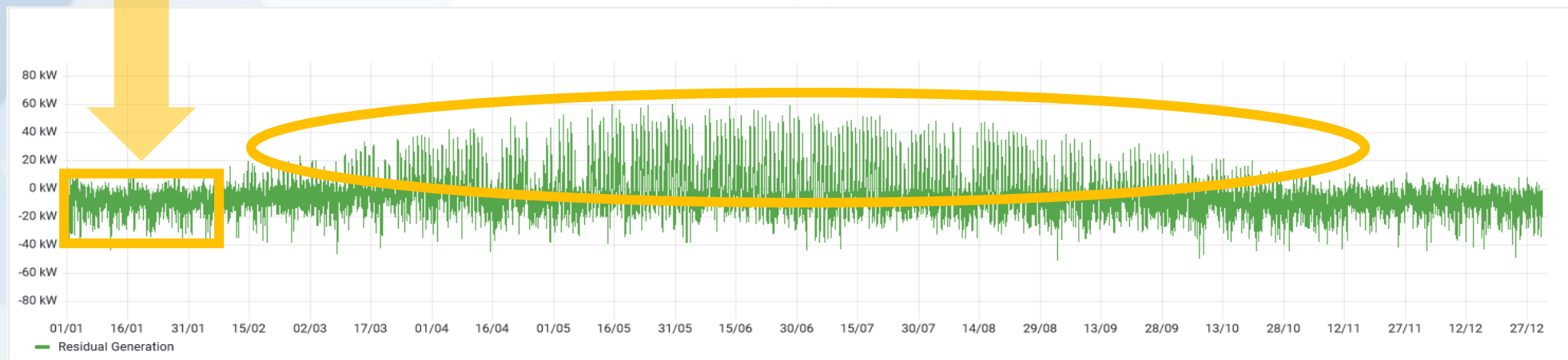
Residuallast Liegenschaft Netzanschlusspunkt

Base Case



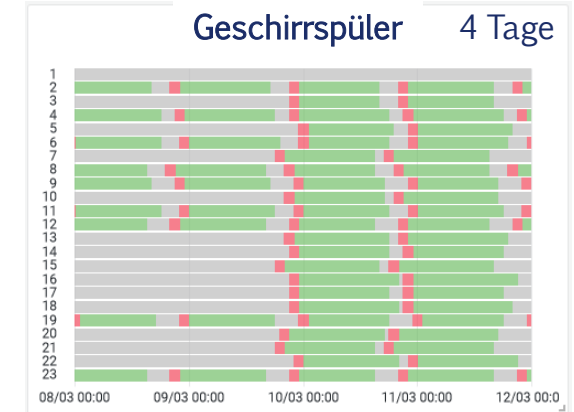
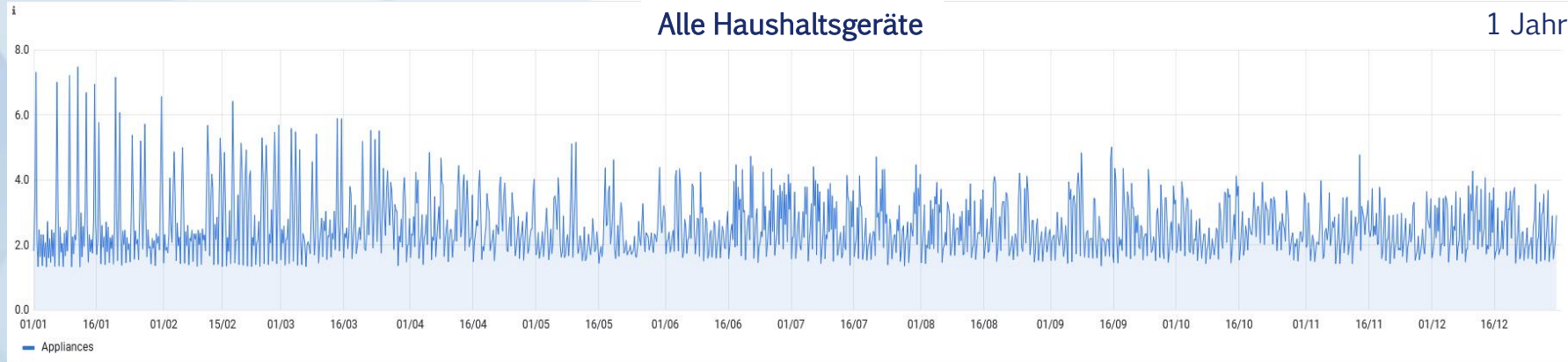
↑ Einspeisung ins Netz
↓ Bezug vom Netz

Controlled Case (with EV)

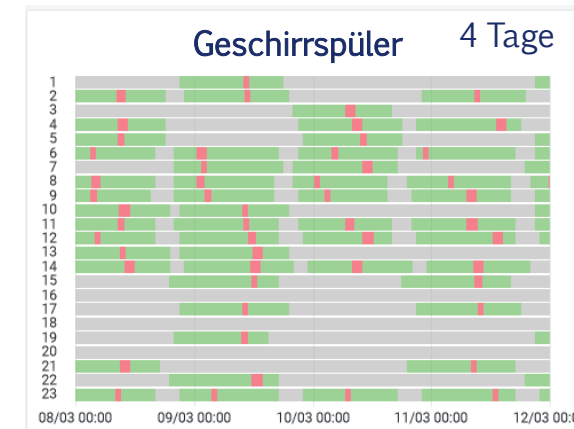
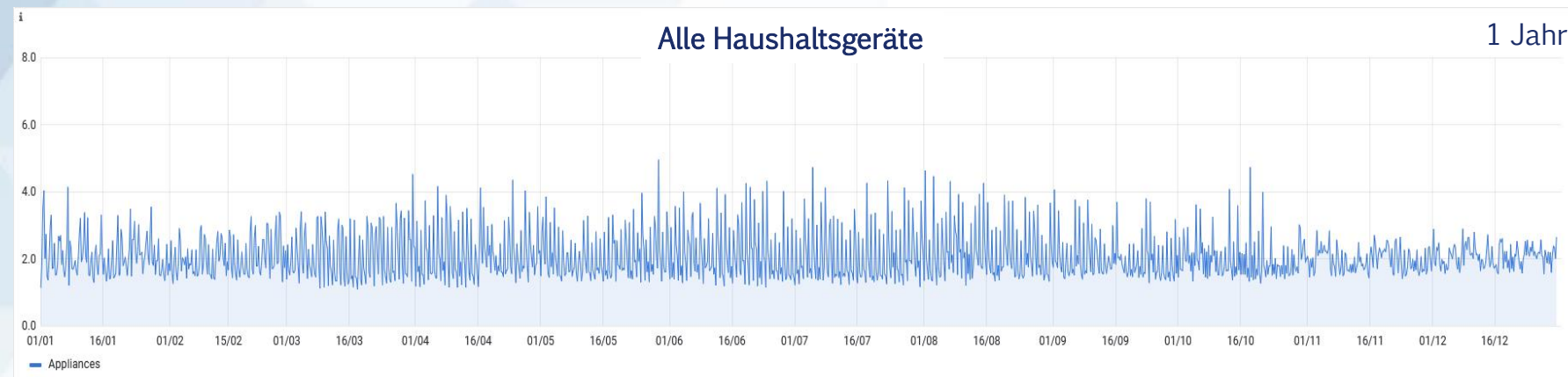


Lastverschiebung Haushaltsgeräte

Base Case



Controlled Case (no EV)



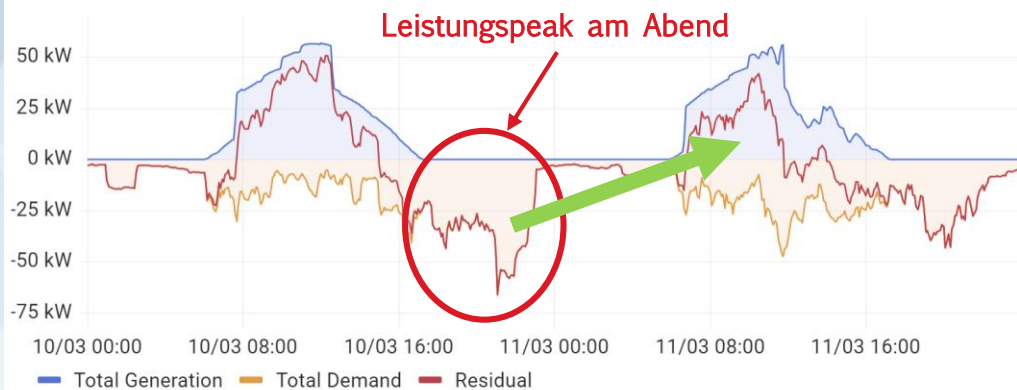
Ladestationen & BHKW: Eigenverbrauch

Base Case

EV chargers (13 units)

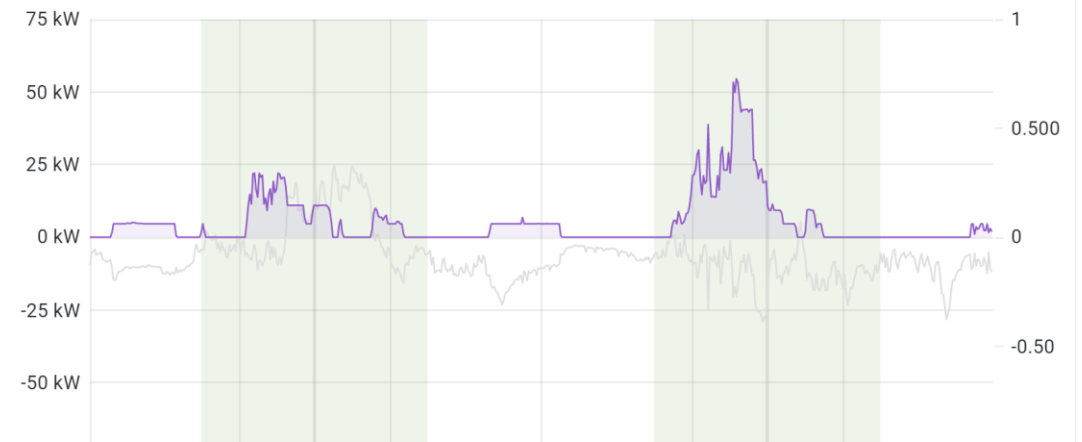


Aggregate view

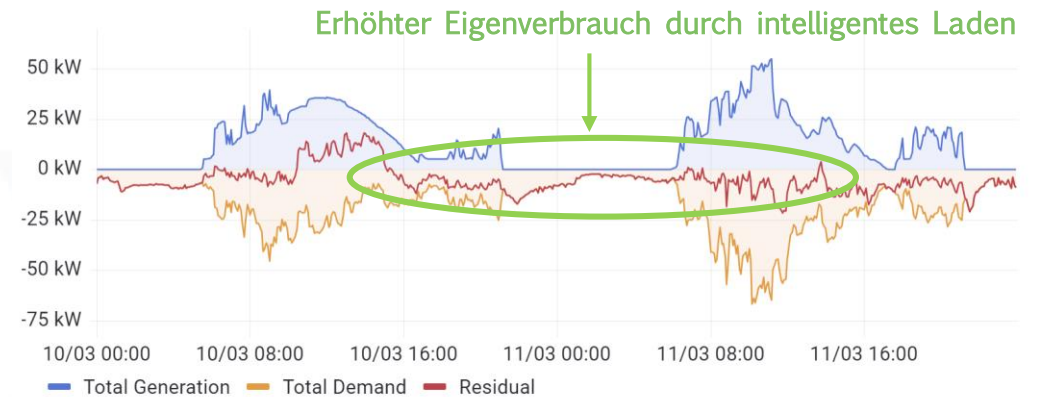


Controlled Case

EV chargers (13 units)

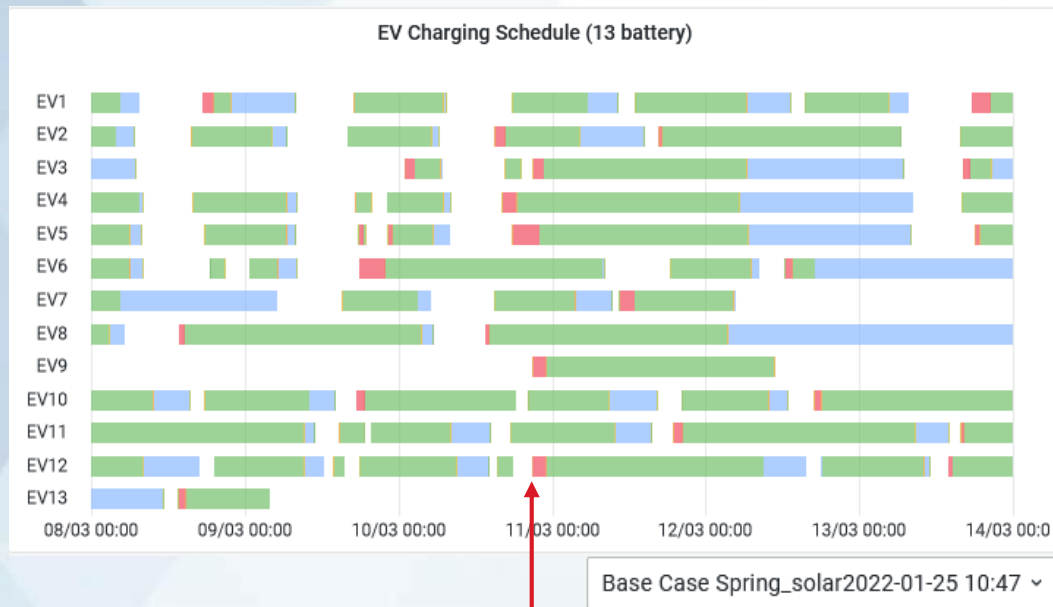


Aggregate view



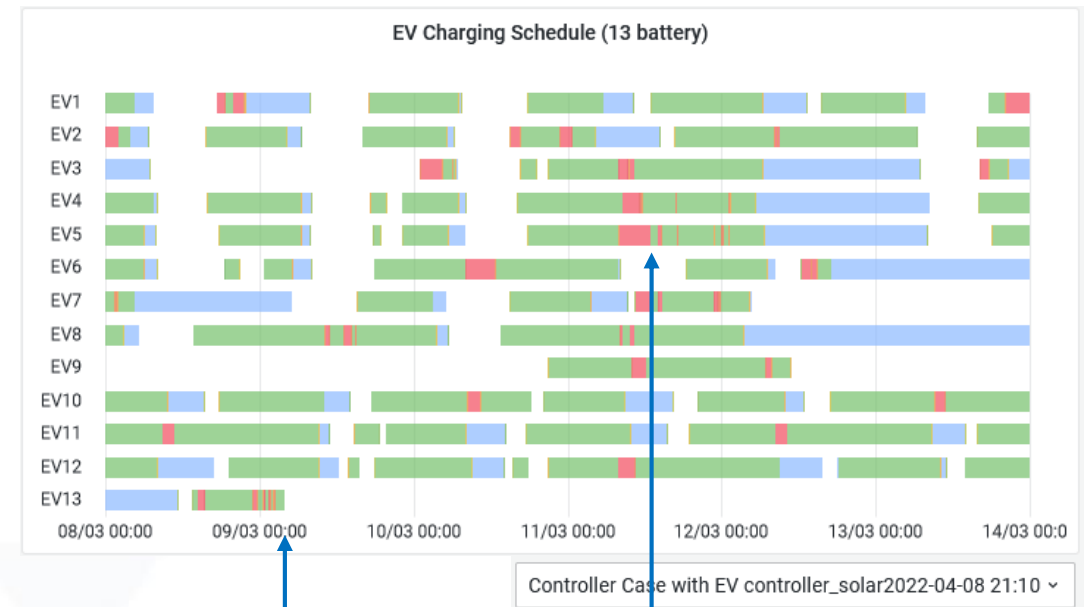
Ladestationen – Grenzen

Base Case



Ladevorgang immer am Anfang des Zeitfensters

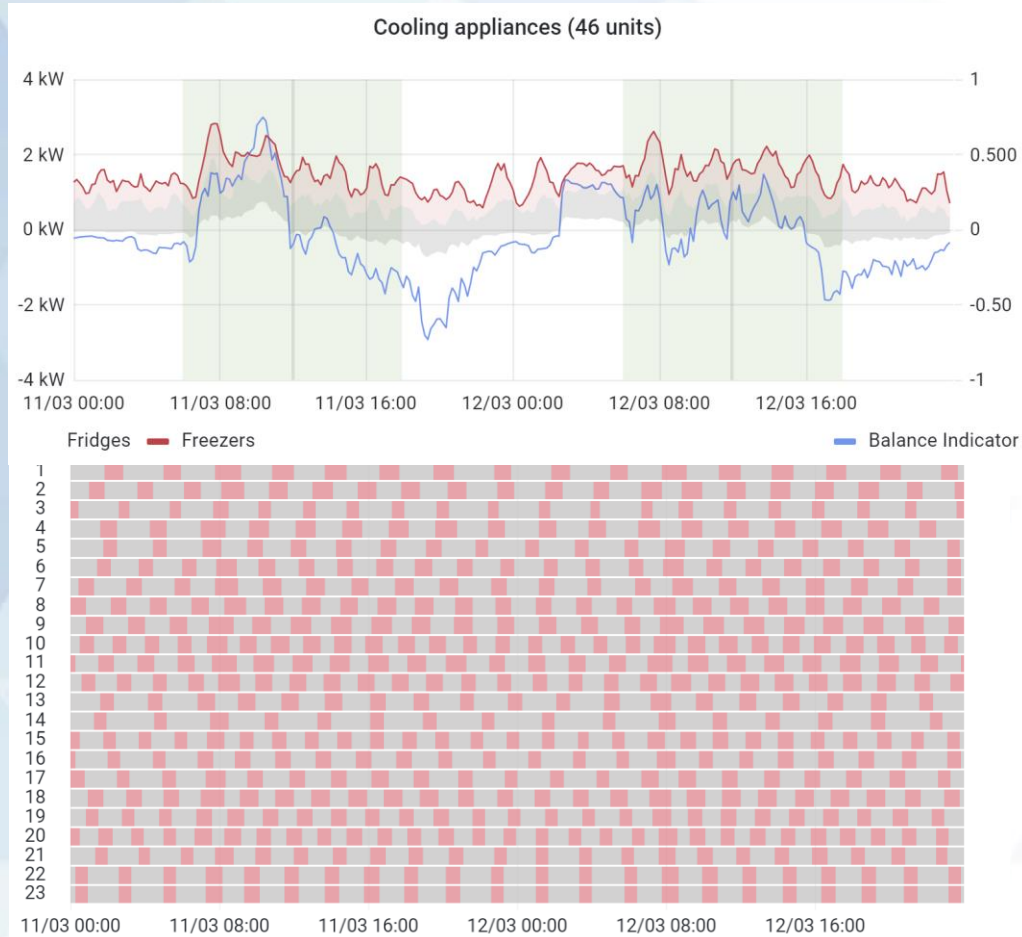
Controlled Case



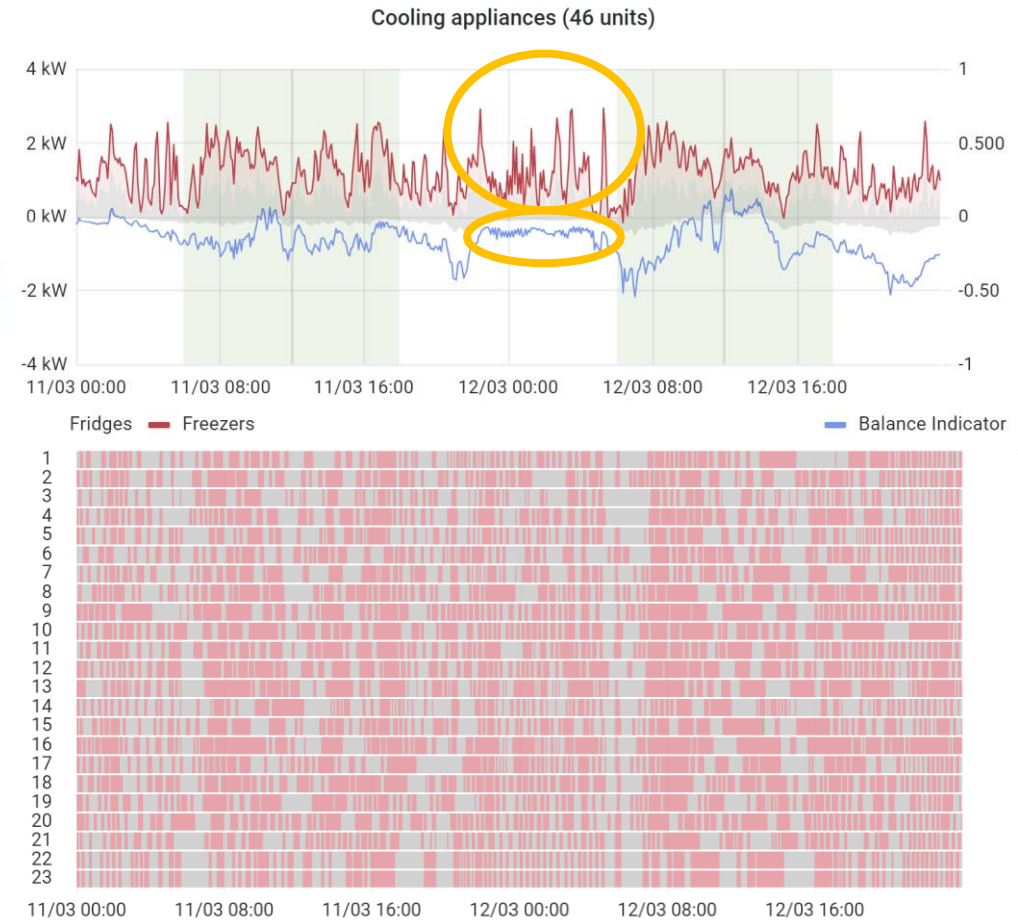
Ladevorgang auf Netzzustand optimiert

Kühlgeräte – Kurzfristige Stabilisierung

Base Case



Controlled Case



Resilienz: Ausfallsicherheit bei Kommunikationsstörungen

SoLAR district: 5 day simulation

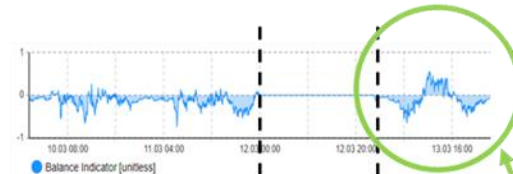
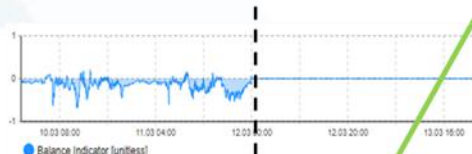
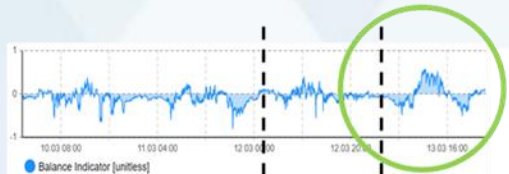
Operation continues

Base Case

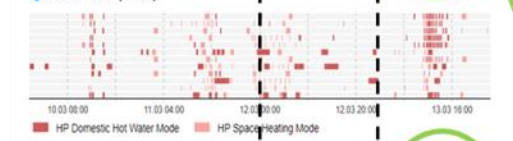
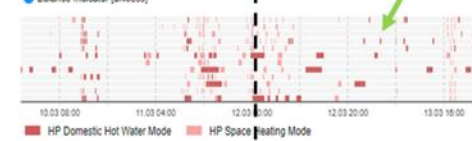
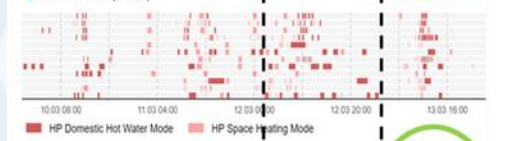
Indefinite signal failure

Temporal signal failure

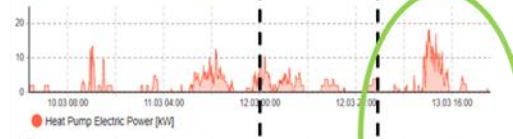
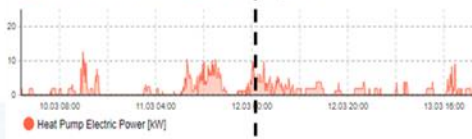
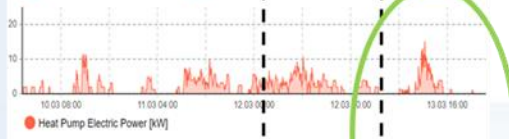
Balance Indicator



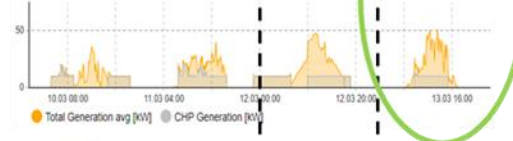
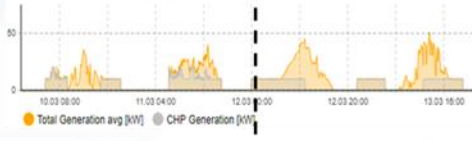
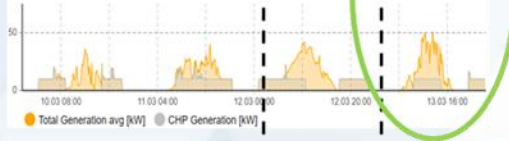
All Heat Pumps



Heat Pumps load

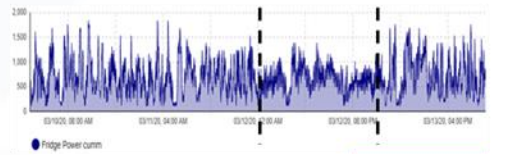
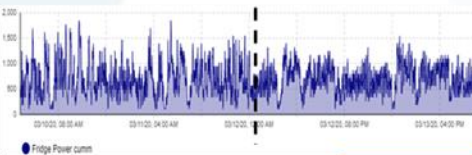
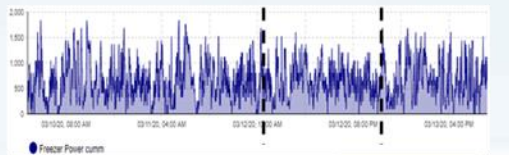


PV & CHP generation



Example of device performance (fridge):

Appliances (fridges)



Restoration after signal failure

Self Consumption Rate

83,3%

75,0%

79,8%

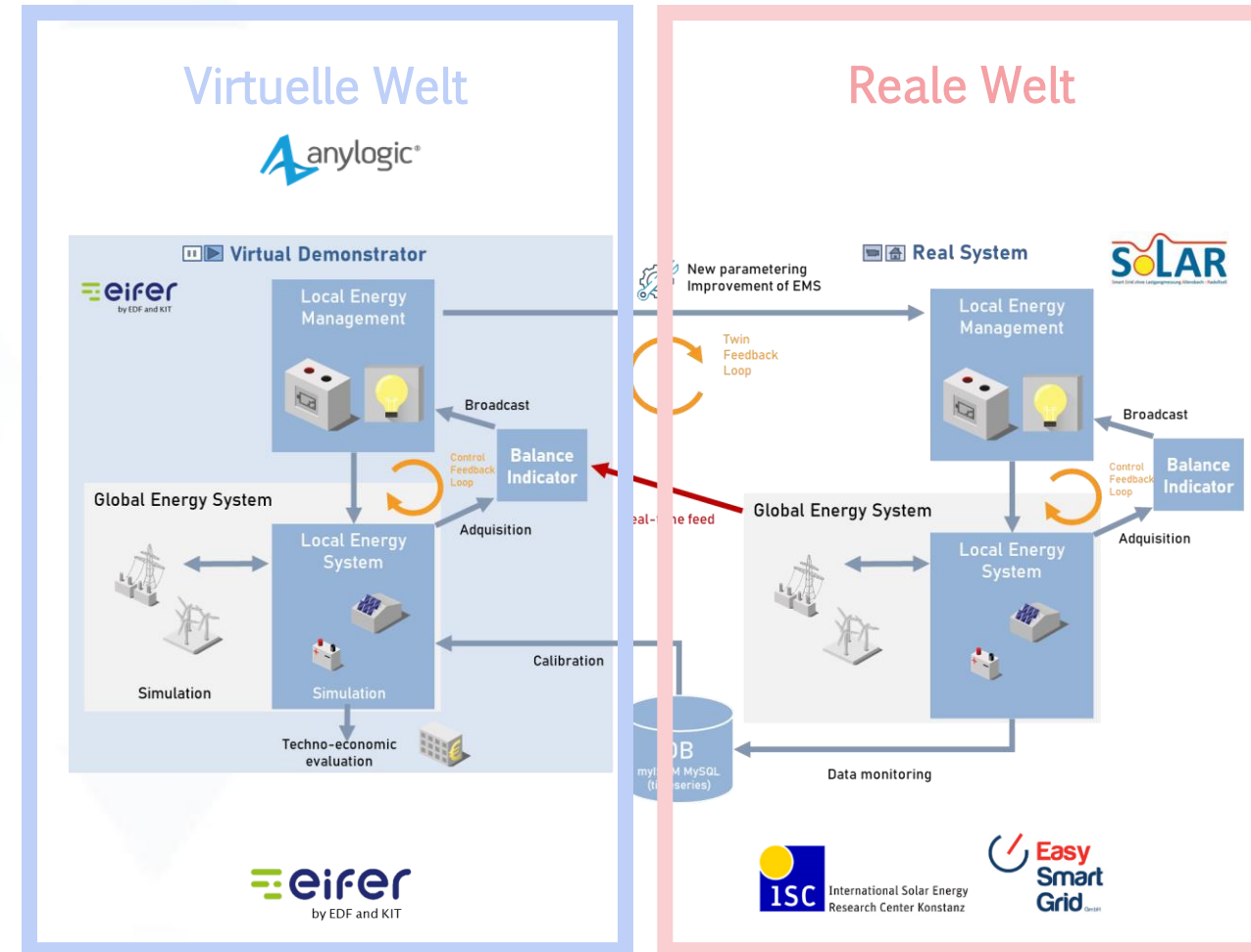
Ausblick: Der Digitale Zwilling...

....ermöglicht die Verknüpfung von **virtuellen** und **realen** Versuchen

- über den gesamten Systemlebenszyklus und
- in Echtzeit

Jenseits von rein lokal genutzten, statischen Berechnungsmodellen, entstehen durch die Verschaltung neue Einsatzmöglichkeiten:

- **Optimierte Fahrweisen** noch vor Inbetriebnahme
- Einsatz von **KI- und Machine-Learning-Tools** zur Verbesserung verschiedener Phasen des Systems, bei denen große Datenmengen anfallen (z. B. aufgrund von lokalen Messvorgängen)
- **Kontinuierliche Vorhersagen** des Systemverhaltens auf der Grundlage von Live-Daten
- **Selbstkalibrierung** von Parametern, die für die Steuerung und das Energiemanagement erforderlich sind



Zusammenfassung

- Angemessener agentenbasierter Modellierungsansatz bietet **hohe Flexibilität** für Simulationsanforderungen in **verschiedenen Projektphasen**
- **Koordination** von >140 steuerbaren Lasten/Erzeugern **nachgewiesen**. Die Kombination verschiedener Anlagen bietet ein höheres Maß an Flexibilität und Ausfallsicherheit (Kühlschränke → kurzzeitige Schwankungen, Wärmepumpen → Tagesverschiebung; Ladestationen → Lastspitzenreduzierung)
- Erhöhung der **Eigenverbrauchsrate** 55% → 72%, Kostensenkungen durch Mieterstrommodell möglich
- Reduzierung der **Lastspitzen**: -41% (Bezug) und -28% (Rückspeisung), sinnvoll für Netzbetreiber
- Weitere Erhöhung des Eigenverbrauchs hauptsächlich begrenzt durch
 - Fehlende saisonale Korrelation (PV im Sommer, Power-to-Heat im Winter erforderlich)
 - Ladezyklen der Fahrzeuge & Verfügbarkeitsfenster, kein V2G
- Weitere **Optimierung des Eigenverbrauchs** erfordert:
 - Einbindung weiterer Sektoren (Gewerbe, Dienstleistungssektor, Industrie)
 - Verbessertes Management der EV-Flotte
 - Nutzung von Batterien
 - Saisonale oder mittelfristige Speicherung?
- Flexibilitätserbringung für **übergeordnete Ebenen** möglich, Betriebsführung ausstehend

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Dr. Enrique Kremers
EIFER Europäisches Institut für Energieforschung
EDF-KIT EWIV

Head of Complex Systems Research & Expert for EDF R&D

Email: enrique.kremers@eifer.org

Tel.: +49 (0) 721 6105 1451





Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Renewables
Grid Initiative

AWARD GOOD PRACTICE
OF THE YEAR

SOLAR

Smart Grid ohne Lastgangmessung Allensbach - Radolfzell

bereit für
100%
ERNEUERBARE



Kurze Pause

