

Cloud-basierter Energiemanager

zur angebots- und bedarfsgerechten Zuschaltung von Energieträgern

Dr. Thomas Bernard, Steffen Wallner, Jorge Thomas

Fraunhofer IOSB

22.06.2021

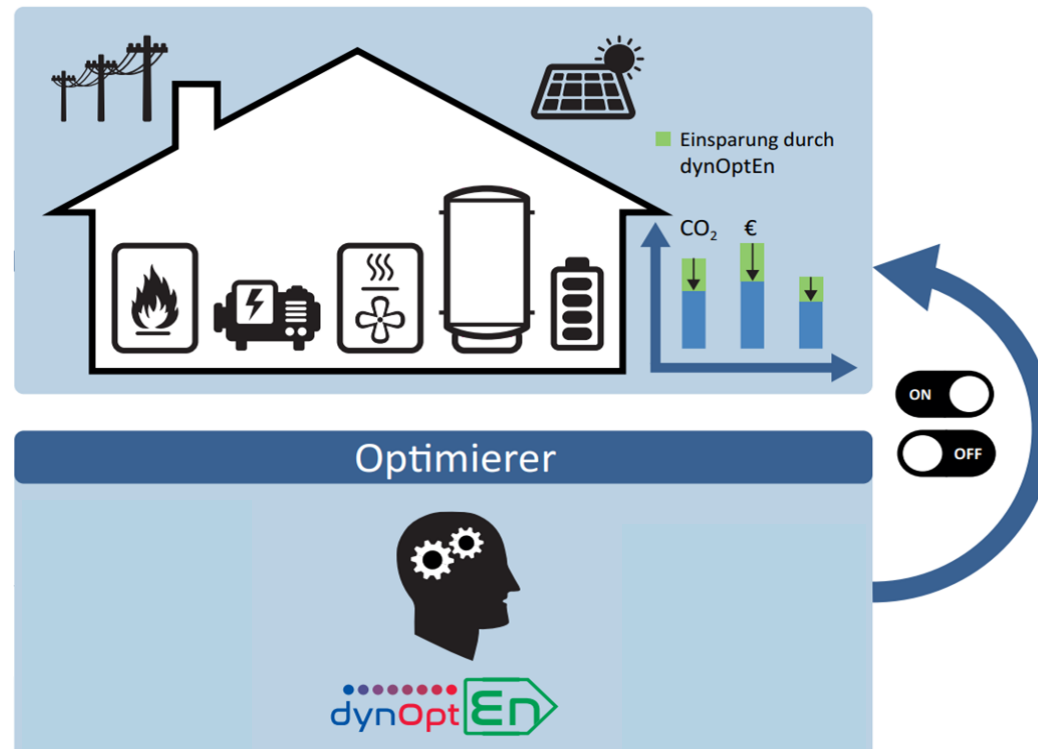
Welche Daten werden benötigt?

Mess- und Sensorwerte

- **Stromzähler** für Wärmepumpen-Strom (Heizen und ggf. Kühlen)
- **Gaszähler** oder alternativ **Wärmezähler** für Nah-/Fernwärme
- **Verbrauchszähler für Wärme**
- **Speichertemperatur Heizwasser, Warmwasser**
- **Optional: Info (Kontakt z. B. von WP)**, ob Wärmeerzeuger für Heizung oder Warmwasser läuft

Parameter (Konstanten)

- **Speichervolumen** Heizung, Warmwasserversorgung
- **Energiepreise** Strom, Gas, ... (variabel, Tag, Nacht)
- **CO₂-Emissionen** pro Energieträger



Optimierer-Output

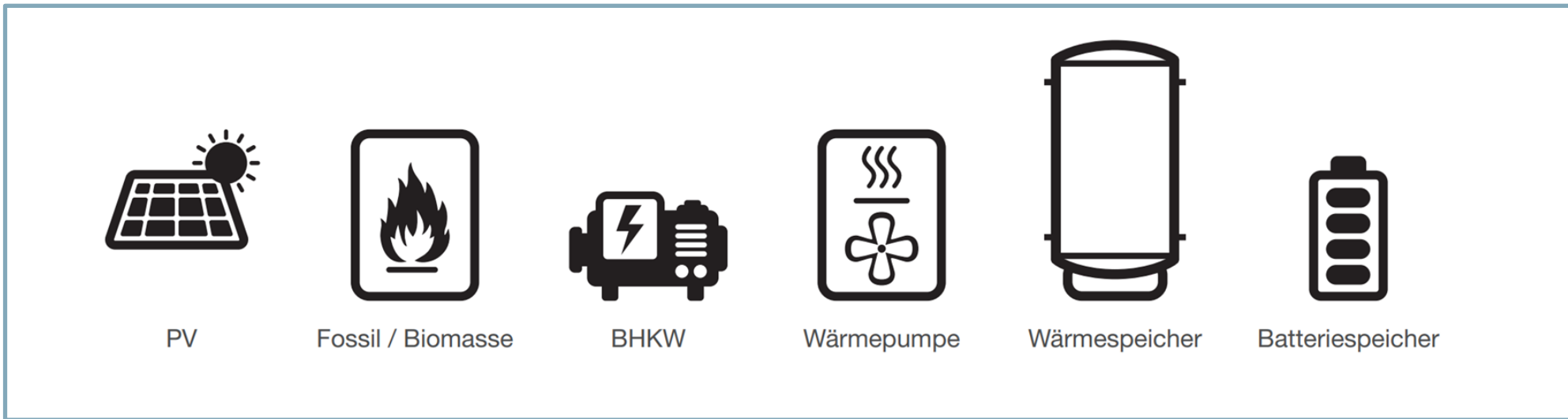
- **Steuersignale** (an WP, BHKW, ...)
- **Monitoring & Reporting**
- **Datenschnittstelle** für Bilanzkreismanagement

Prognose-Daten

- **Wettervorhersage (Solarstrahlung, Außentemperatur)**
- **Anreizsignal** (optional) z. B. von zentralem Modul oder Strompreis, CO₂-Mix

Anwendungsfälle für das Energiemanagement

Kombinierte Systeme aus



→ **Optimierter Betrieb von Heizen, Kühlen, Stromspeicher**

Untersuchte Anwendungsfälle im Projekt

Demonstratoren in Lörrach, Aulendorf



PV



Wärmepumpe



Wärmespeicher

Demonstrator in Magdeburg



PV



BHKW



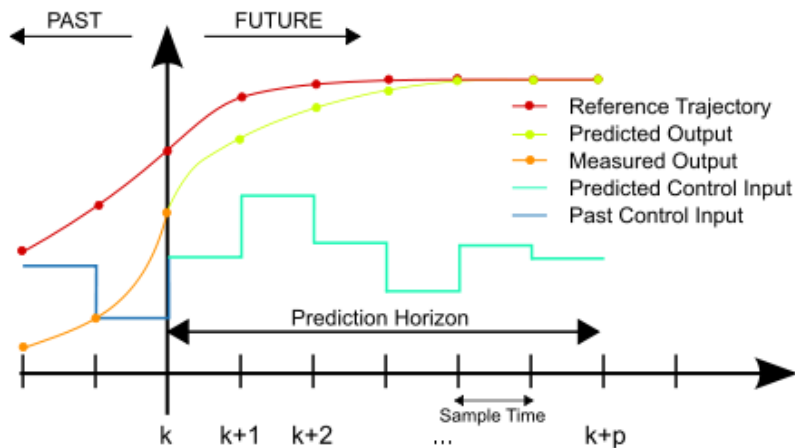
Wärmespeicher



Batteriespeicher

Grundprinzip des Optimierers

Grundprinzip – Modellprädiktive Regelung

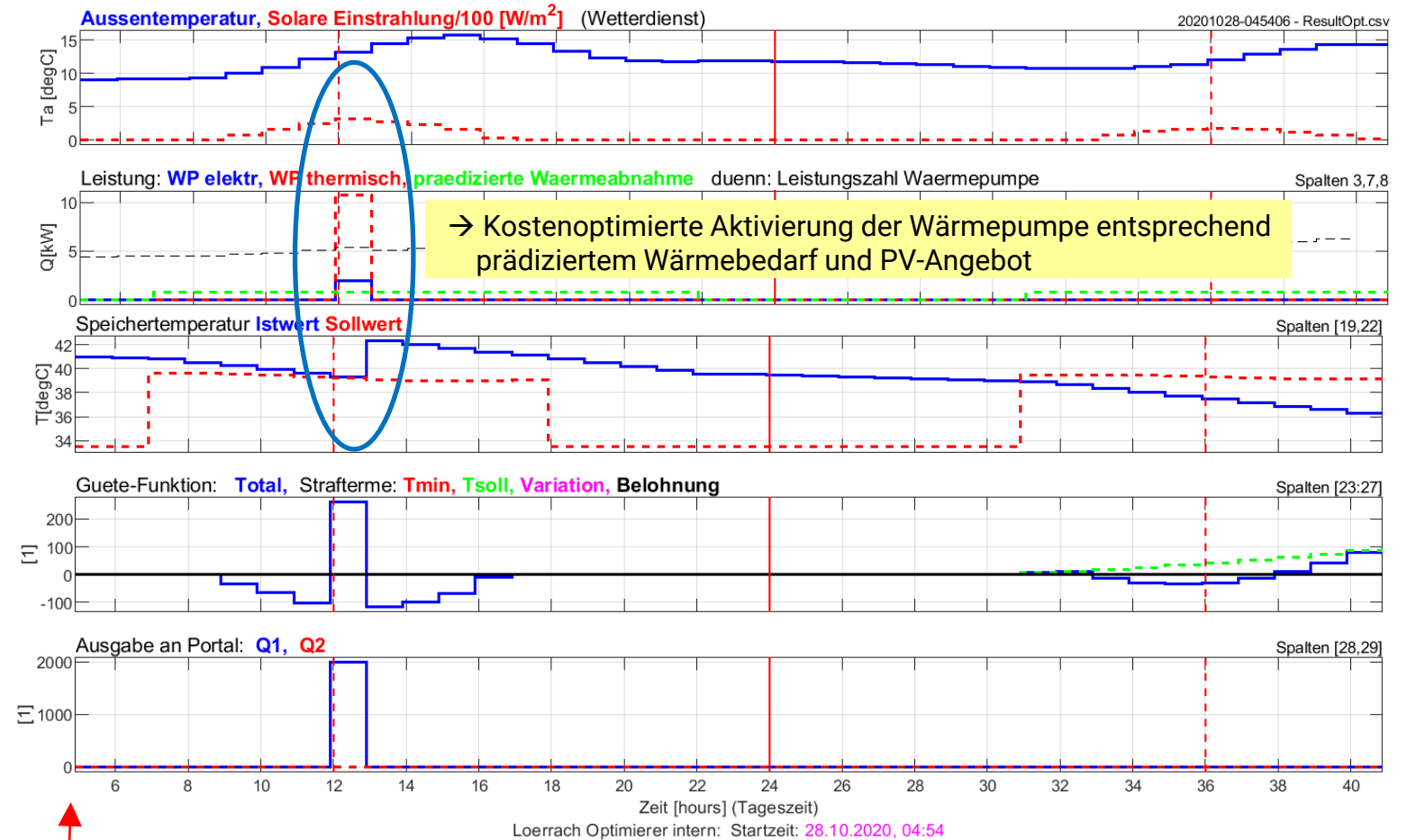


- Minimierung von Energiekosten (oder CO₂-Ausstoß) über definierten Prädiktionshorizont (z.B. 36 Stunden)
- Zyklische Ausgabe der Steuerungsparameter (z.B. alle 10 min); zyklische Modellaktualisierung anhand von Messdaten
- Verbrauchsprofil wird aus Zähler- und Wetterdaten angelernt, damit Verbrauchsprädiktion
- Anlagenstruktur (Speicher, Energieflüsse) ist als Modell implementiert; Constraints werden berücksichtigt (z. B. min/max. Kesseltemperatur)

Grundprinzip Modellprädiktive Regelung

Exemplarisches Beispiel
einer Planung des Optimierers
(Demonstrator Lörrach, 28.10.2020)

Interne Planung des Optimierers für Lörrach am 28.10.2020 um 5:00h (Horizont 36h)



jetzt

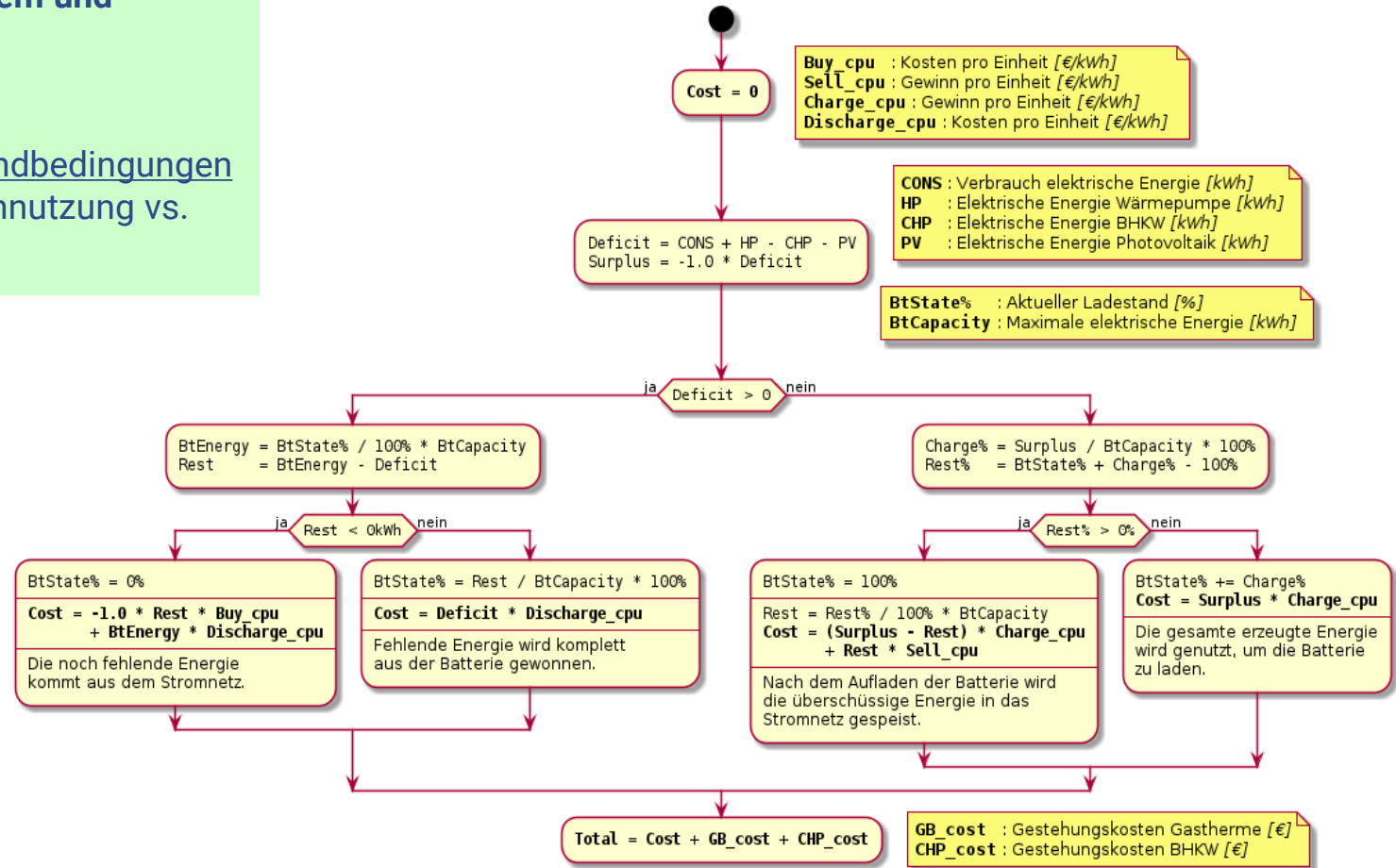
Planungshorizont 36h

Berechnung der Gütefunktion (Kosten oder CO2-Emissionen)

Beispiel:
Kosten-Berechnung bei BHKW mit thermischem und elektrischen Speicher

Berechnung der zu erwartenden Kosten unter Berücksichtigung der Anlagenstruktur und Randbedingungen (abhängig von Ladezustand der Batterie, Eigennutzung vs. Einspeisung, minimale Laufzeit des BHKW ...)

Schema der Kostenberechnung für BHKW + Batteriespeicher



Modell Wärmepumpe



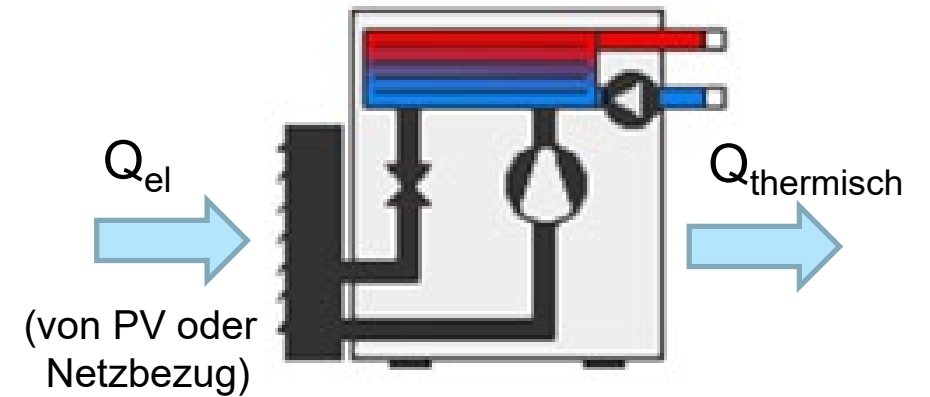
zu optimieren



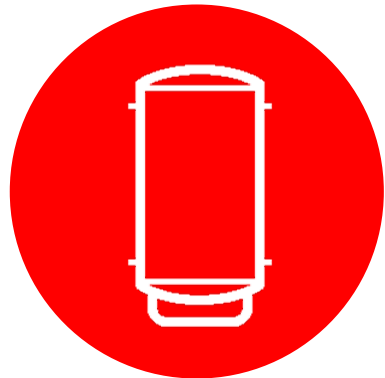
$$Q_{th} = COP \cdot Q_{el}$$

$$COP = T_W / (T_W - T_K) \cdot \eta$$

- Q_{th} : thermische Leistung [kW]
- Q_{el} : elektrische Leistung [kW]
- COP: Coefficient of Performance [1]
- T_W : „warme“ Temperatur [°C]
- T_K : „kalte“ Temperatur [°C]
- η : Effizienz-Faktor (~0.5)



Modell des thermischen Speichers



zu optimieren

Verbrauchsvorhersage

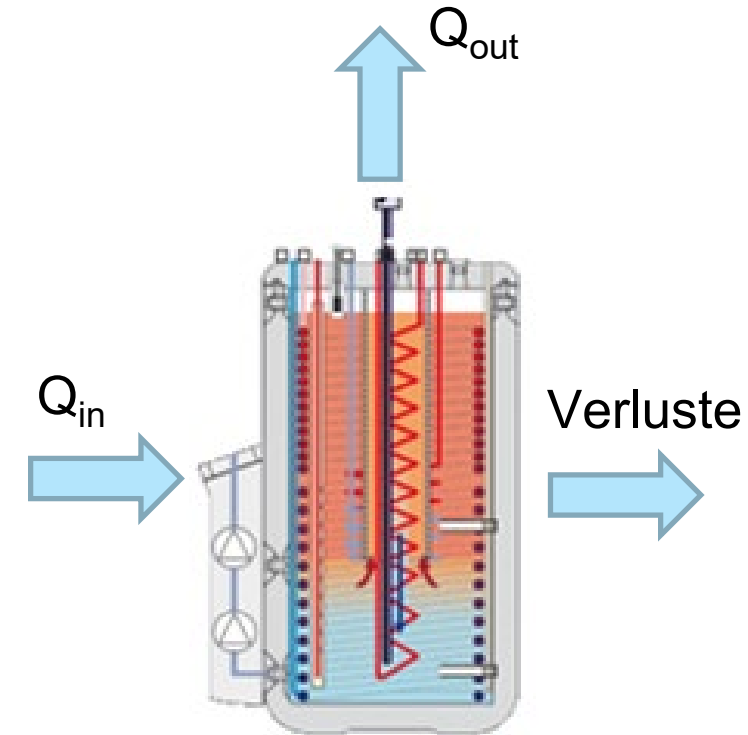
$$c_p \rho V \dot{T} = Q_{in} - Q_{out} - \text{Verluste}$$

$$\text{Verluste} \propto \text{Oberfläche} \cdot (T - T_{umgebung})$$

- T: Speicher-Temperatur [°C]
- V: Speichervolumen [m³]
- ρ: Dichte des Wassers [kg/ m³]
- c_p: spez. Wärmekapazität Wasser [kJ/(kg·s)]
- T_U: Umgebungstemperatur Speicher
- Q_{in}: zugeführte Wärmemenge [kW]
- Q_{out}: entnommene Wärmemenge (Heizung, Warmwasser) [kW]

Constraints für Optimierung

- Minimale Speichertemperatur
- Maximale Speichertemperatur



Modell elektrischer Speicher (Batterie)



zu optimieren

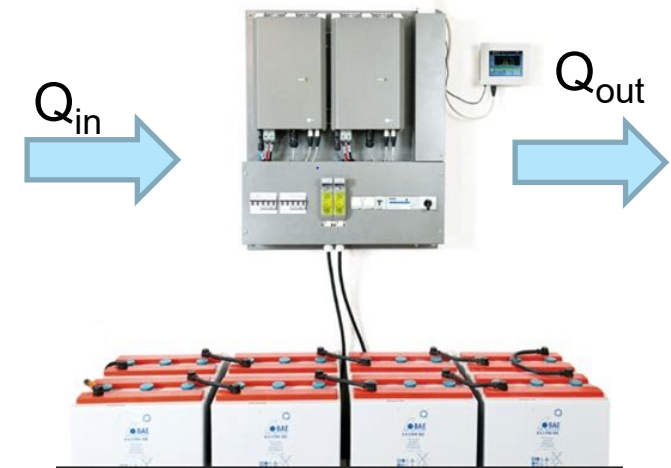
Verbrauchsvorhersage

$$c\dot{L} = Q_{in} - Q_{out}$$

- L: Ladezustand der Batterie [0..1]
- C: Speicherkapazität der Batterie [kWh]
- Q_{in} : zugeführte elektrische Energie [kW]
- Q_{out} : entnommene elektrische Energie [kW]

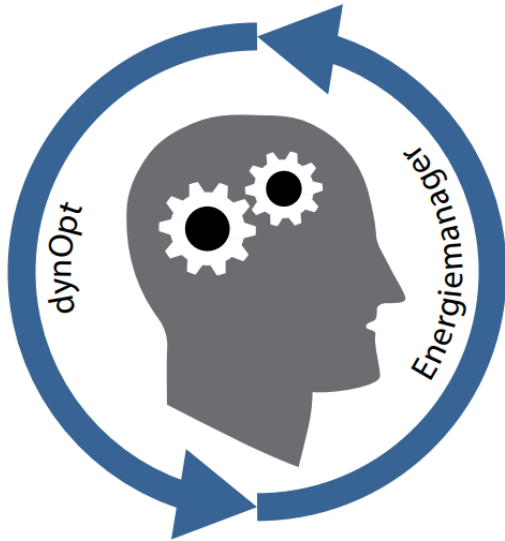
Constraints für Optimierung

- Min./max. Ladezustand der Batterie [L_{min} ... 1]
- Maximale Ladeleistung der Batterie [kW]
- Maximale Entladeleistung der Batterie [kW]



Simulations-Ergebnisse

Simulationsergebnisse 1 | Einfluss Prädiktionshorizont



- **Anlagenkonfiguration: Wärmepumpe mit PV-Strom oder Netzbezug**
- **Tag 1:** hohe Solarstrahlung, **Tag 2:** keine Solarstrahlung
- **Szenario:** Prädiktionshorizont [0, 8, 20] Stunden

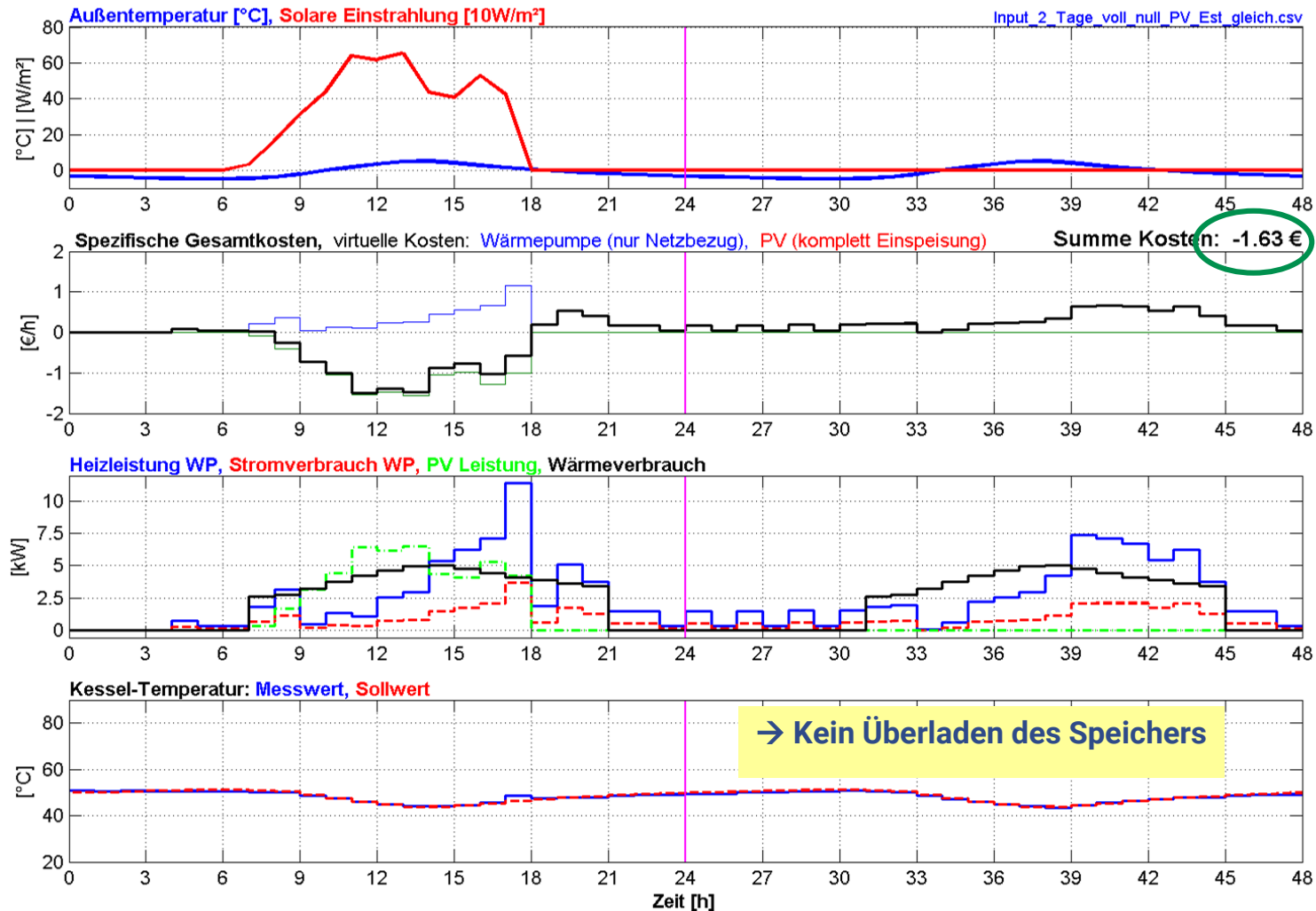
Ergebnis

Bei zunehmendem Prädiktionshorizont wird Speicher überladen, da die Planungsfähigkeit zunimmt

→ geringere Kosten bei größerem Planungshorizont

Prädiktionshorizont 0 Stunden (ohne Prädiktion)

Tag 1: hohe Solarstrahlung
 Tag 2: keine Solarstrahlung

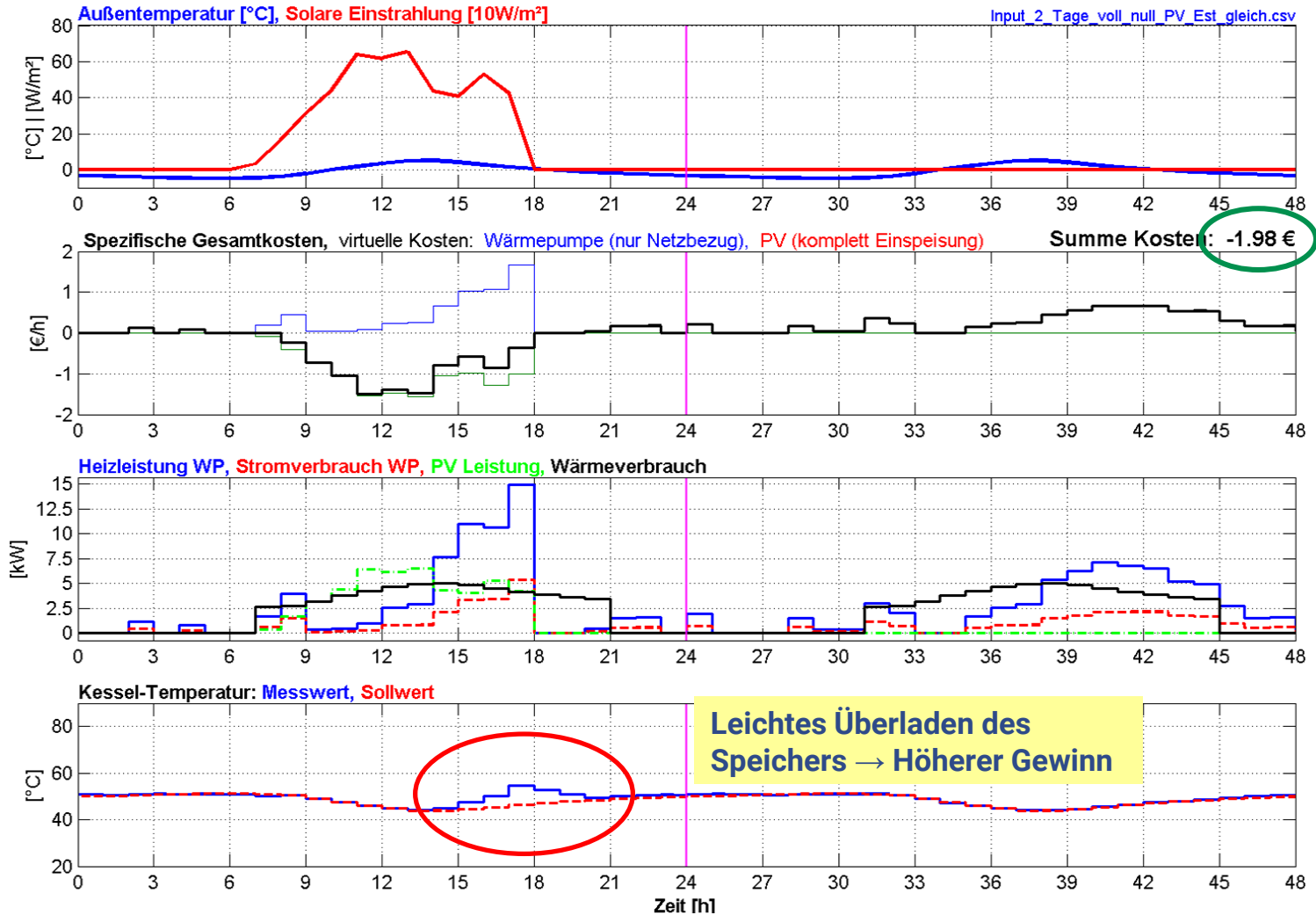


Kosten (Gewinn)

Prädiktionshorizont 8 Stunden

Tag 1: hohe Solarstrahlung

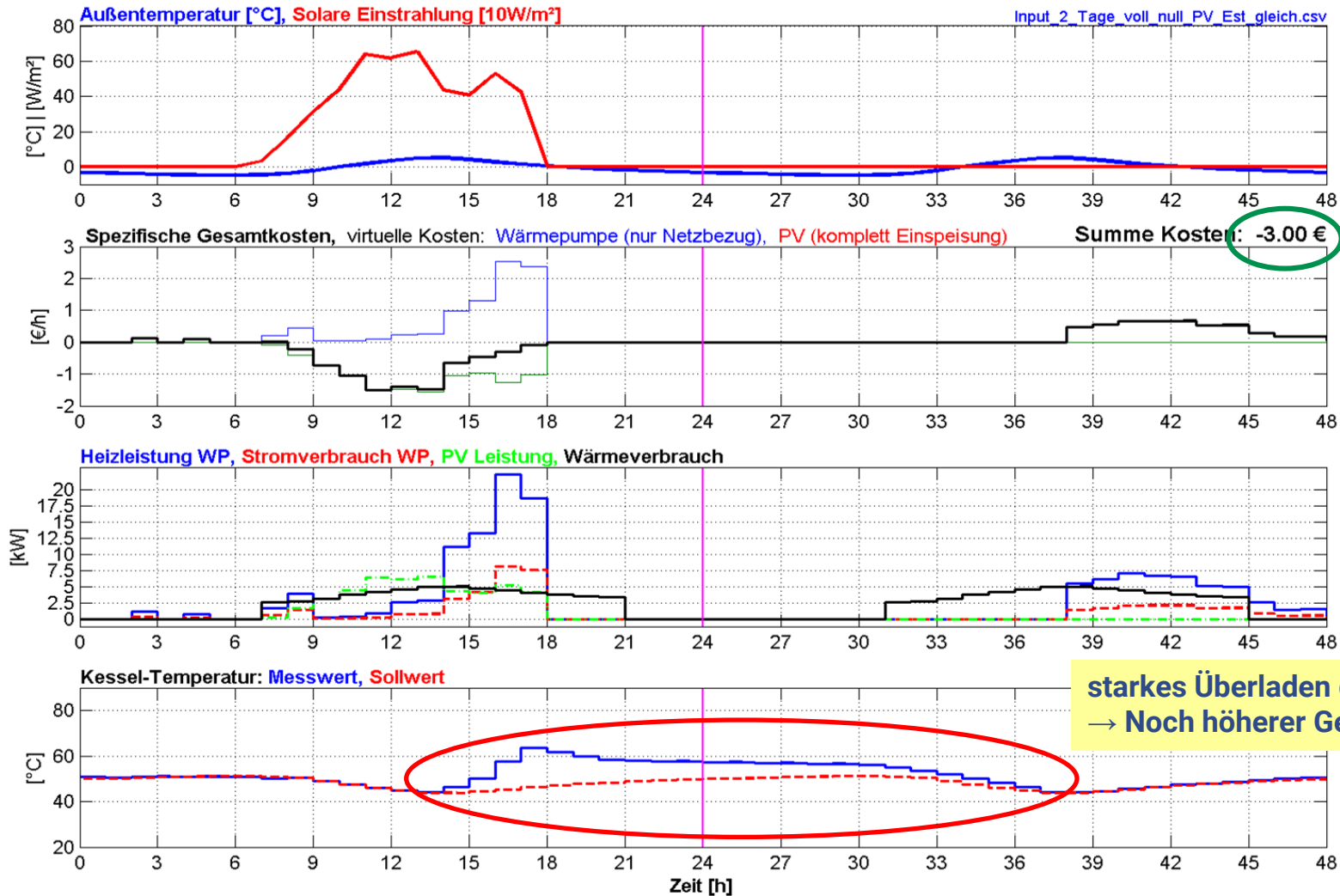
Tag 2: keine Solarstrahlung



Kosten (Gewinn)
+24% !

Prädiktionshorizont 20 Stunden

Tag 1: hohe Solarstrahlung
 Tag 2: keine Solarstrahlung



Kosten (Gewinn)
 +84% !!

starkes Überladen des Speichers
 → Noch höherer Gewinn

Langzeit-Simulationsergebnisse | Vergleich dynOpt-Energiemanager mit einfachem EM

basierend auf realen Klima- und Verbrauchsdaten
Demonstrator Lörrach (Jahr 2020)

einfacher Energiemanager: Optimierer mit Prädiktionshorizont **2h**
dynOpt- Energiemanager: Optimierer mit Prädiktionshorizont **36h**

	einfacher Energiemanager	dynOpt- Energiemanager	Relativer Unterschied
Kosten/(thermische Energie)	3.5 Cent/kWh	3.1 Cent/kWh	13%
CO2-Emissionen/(thermische Energie)	59 gCO2/kWh	52 gCO2/kWh	13%
Eigenverbrauchsanteil (*)	42%	51%	21%

(*) (PV-Energie für Betrieb Wärmepumpe)/(gesamte elektrische Wärmepumpenenergie)

→ Kosten/CO2-Emissionen pro Heizperiode um ca. 15 % reduziert
PV-Eigenverbrauchsanteil von ca. 40 % auf 50 % erhöht

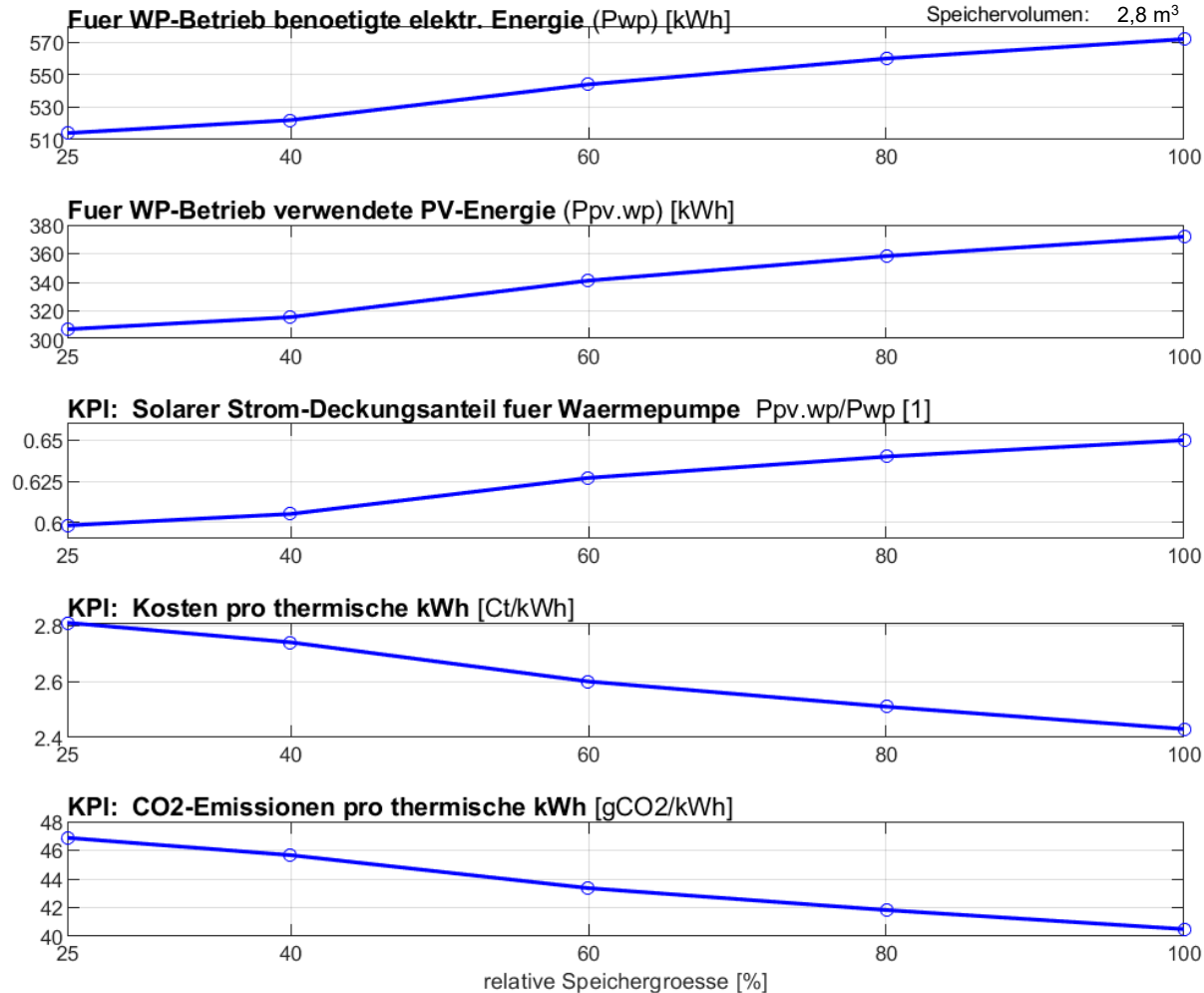
Langzeit-Simulationsergebnisse | Einfluss des Speichervolumens

Einfluss der Speichergroesse auf solaren Deckungsanteil und andere KPIs

(Loerrach, Daten 1.1. - 30.4.2021)

Energieeintrag PV: 1002 kWh

Speichervolumen: 2,8 m³



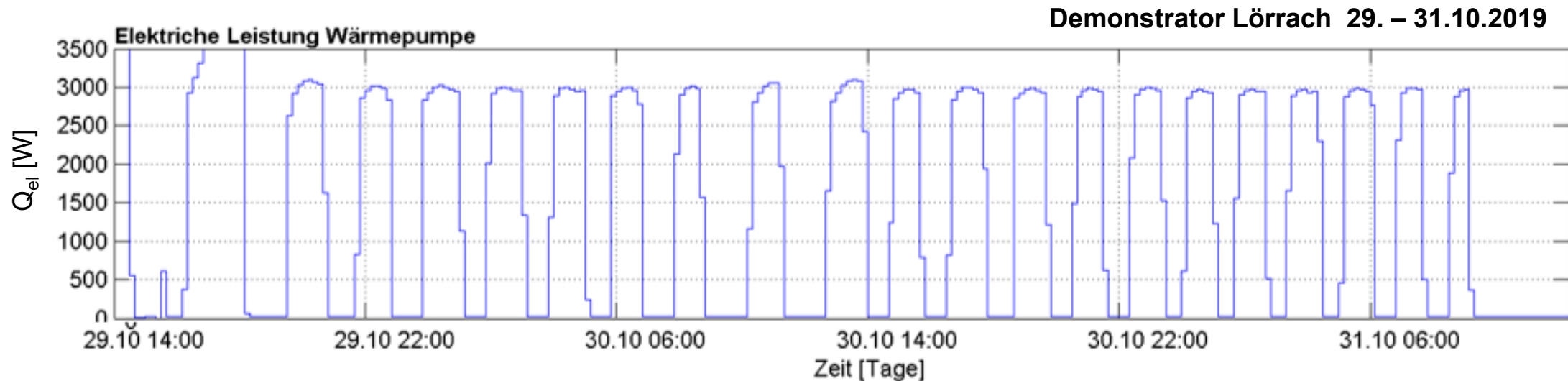
basierend auf
realen Klima- und
Verbrauchsdaten
Demonstrator Lörrach
(Jan – April 2021)

→ mit großem Speicher höheren
Solaren Deckungsanteil
von 60% auf 65%

→ mit großem Speicher niedrigere
Kosten und geringere CO₂-Emissionen
von 2.8 ct/kWh auf 2.4 ct/kWh
von 47 gCO₂/kWh auf 40 gCO₂/kWh

3 Demonstrator-Liegenschaften

Ausgangslage in Lörrach: Nicht optimierter Betrieb der Wärmepumpe



→ keine Nachtabsenkung, kein bedarfsgerechter Betrieb !

Demonstrator 1 | Firma Consolar (Lörrach)



Gas, PV, Wärmepumpe, Eisspeicher

Projektdaten

Consolar

Heizung und Kühlung für Bürofläche, Gewerbe

Baujahr

2018

Nutzfläche

90 m²

Heizleistung

7,4 kW

Gesamtwärmebedarf

8000 kWh/a

PV-Anlage

3,4 kWp

Wärmepumpe

Waterkotte EcoTouch Geo Inverter 6 – 18 kW

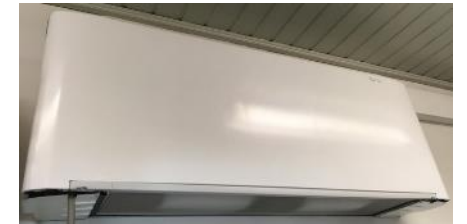
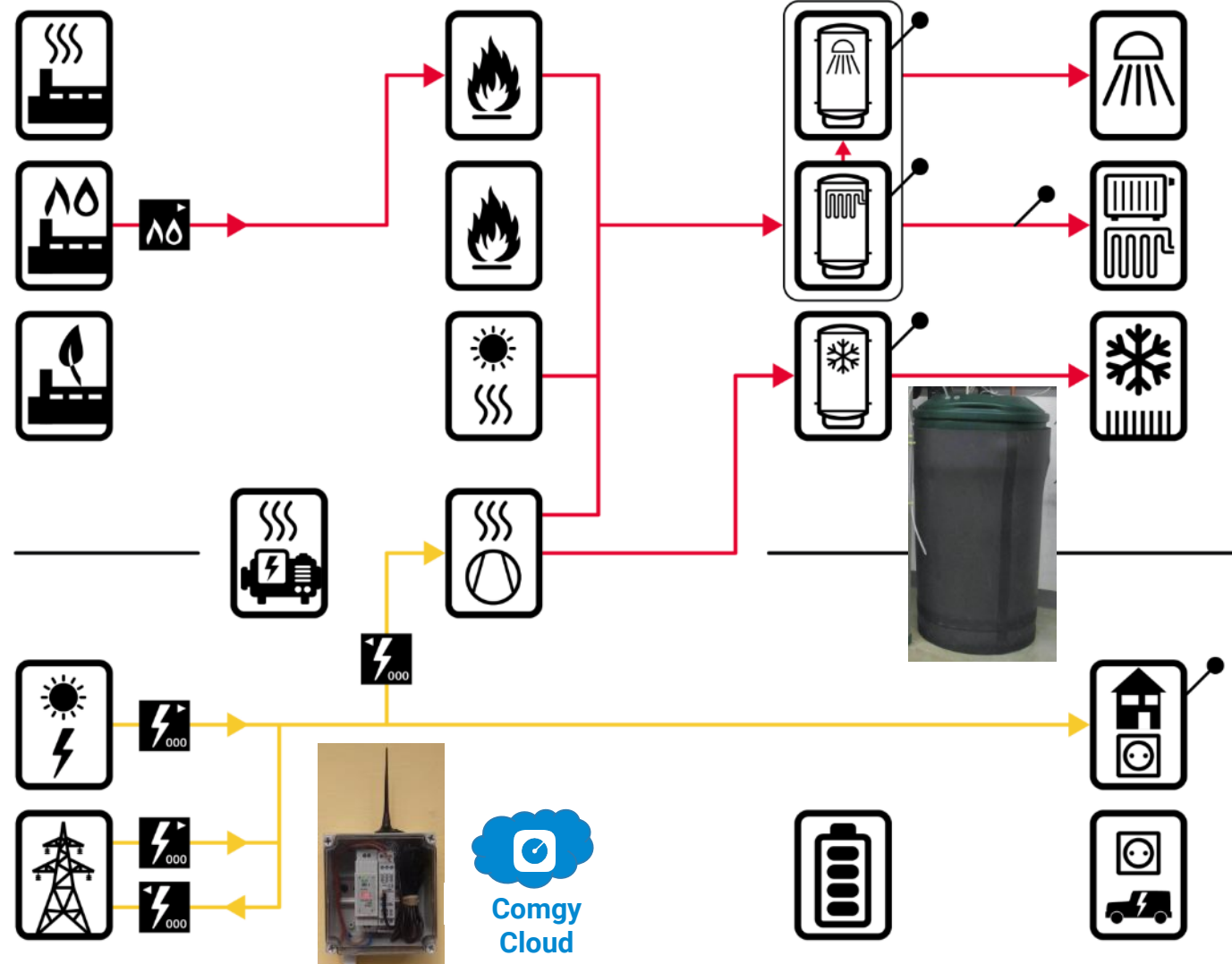
Gaskessel für Spitzenlast

Speicher

Modularer Pufferspeicher VARICAL 2800 L

Eisspeicher 300 l

Demonstrator 1 | Firma Consolar (Lörrach)



Demonstrator 2 | Bürogebäude Rauch Consulting (Aulendorf)

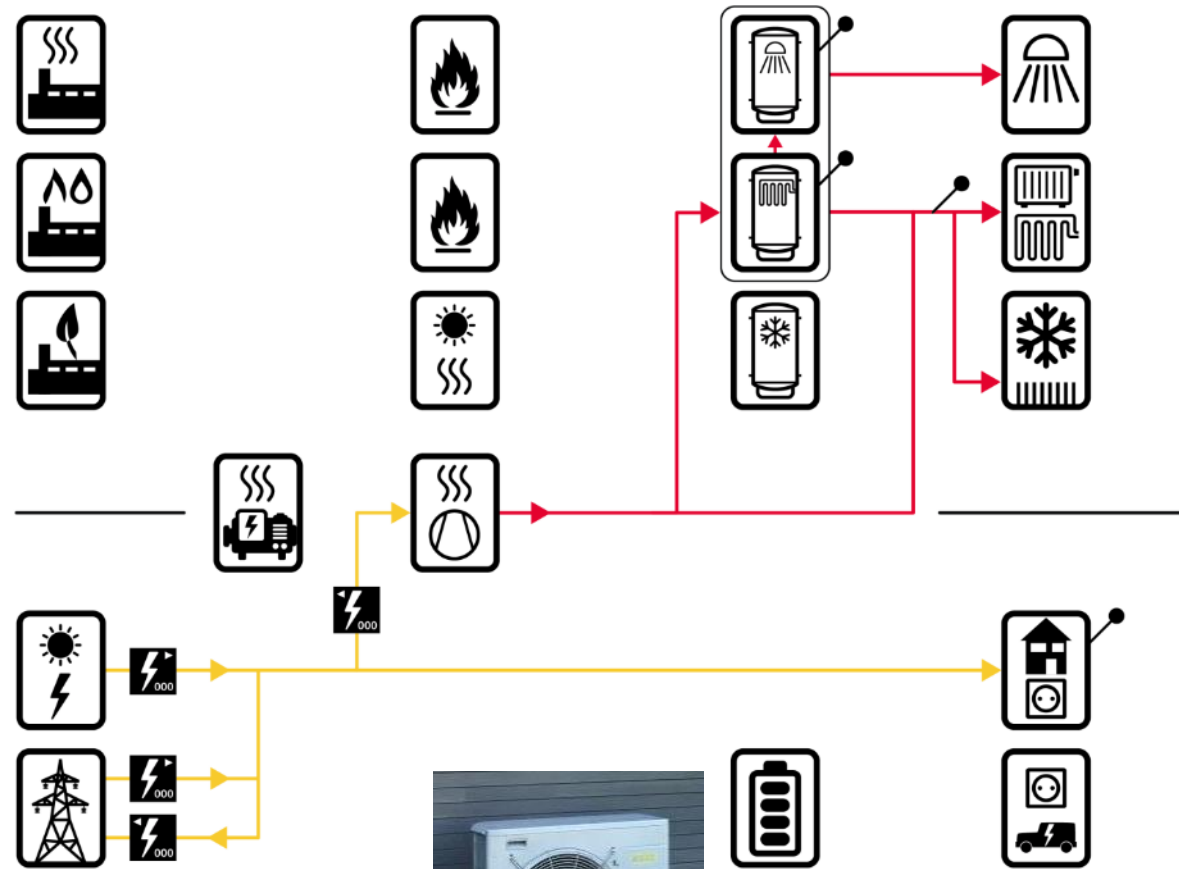


PV, Wärmepumpe

Projektdaten

Rauch Consulting	
Bürogebäude	
Baujahr	2017
Nutzfläche	75 m ²
Heizleistung	4,4 kW / 3,8 kW
Gesamtwärmebedarf	5000 kWh/a
PV-Anlage	20 kWp Ost/West 15° DN
Deckenstrahlplatten	18 m ²
Wärmepumpe	Rotex Splitgerät compact HPSU 504 (Inverter) Wärmeleistung max. 4,3 kW 500 l Puffer

Demonstrator 2 | Bürogebäude Rauch Consulting (Aulendorf)



Demonstrator 3 | generationHof (bei Magdeburg)



Gas, PV, BHKW, Batterie

Projektdaten

Wohnanlage generationHof

Direktversorgung mit Wasser, Wärme, Strom für Mikro-Quartier
Dezentrale Wärmeerzeuger, gemeinsames Stromnetz

Baujahr

2006 - Heute

Nutzfläche

1664 m²

Gesamtwärmebedarf

253 MWh/a

PV-Anlage mit Speicher

In Planung 18 kWp

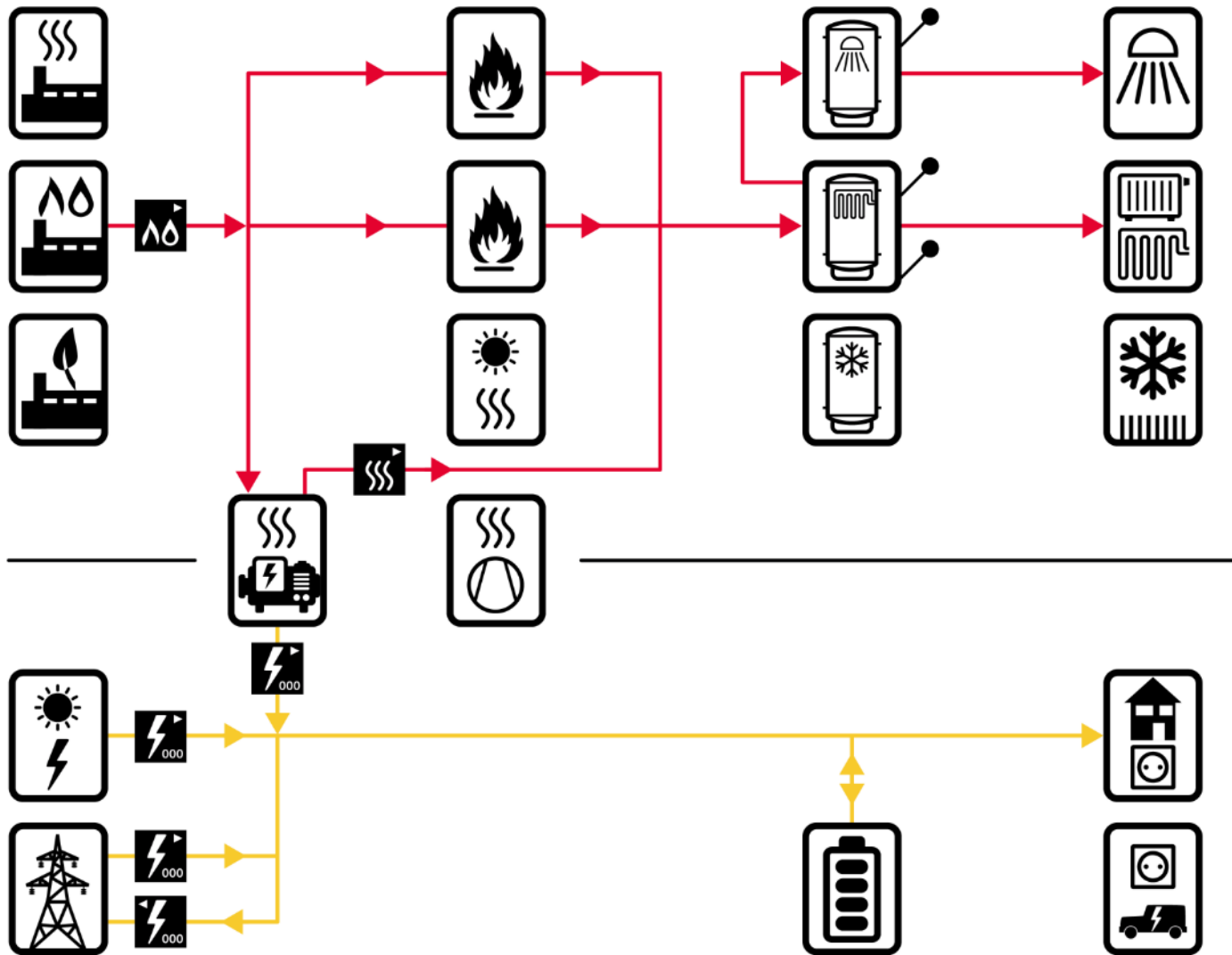
Blockheizkraftwerk

Senertec Dachs SE Plus

Gas Brennwertkessel

Buderus, Vaillant

Demonstrator 3 | generationHof (bei Magdeburg)



Konfigurations-Portal des Energiemanagers

- Konfiguration Anlagen-Schema
- Parametrierung des Energiemanagers

The screenshot displays the 'Montage-Übersicht' (Installation Overview) page for a project named 'Liegenschaft: DynOptEn_Loerrach-MultiConnect-9244'. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Montage', 'Abrechnung', and 'Geräte-Manager'. The main content area is divided into two sections:

Parameter:

- Active: true
- Connected: true
- Prediction Horizon: 36
- Time Discretization: 60
- Penalty Fall Below Min Temperature: 0.5
- Penalty Deviation From Set Point: 3
- Penalty Variation Of Energy: 0
- Cost Weighting: 1000
- Time Weighting: 0
- Constant Power Week Day: 200
- Reward: 1
- Minimum Epopa: 100

Schema: demonstrator Lörrach

The schematic diagram illustrates the energy flow and components of the demonstrator system. It shows various energy sources (solar, wind, gas, and electricity) connected to a central energy management system (EMS) and then distributed to different loads (heating, cooling, and electricity). The diagram uses icons to represent different energy sources and loads, with red and yellow lines indicating the flow of energy.

Liegenschaft-Info:

- Name: DynOptEn_Loerrach-MultiConnect-...
- Adresse: Gewerbestraße 7, 79539 Baden-W...
- Kunde: -
- Interne Kennung: DE02015295
- Copper: [PROJEKT HINFÜGEN](#)

Kostenabrechnung:

- Jahresstichtag: 31.12
- Servicequalität:

Stand: KR 20.05.2020

Ergebnisse Liegenschaft | Firma Consolar (Lörrach)

dynOpt Ergebnisse Loerrach (Heizfall)

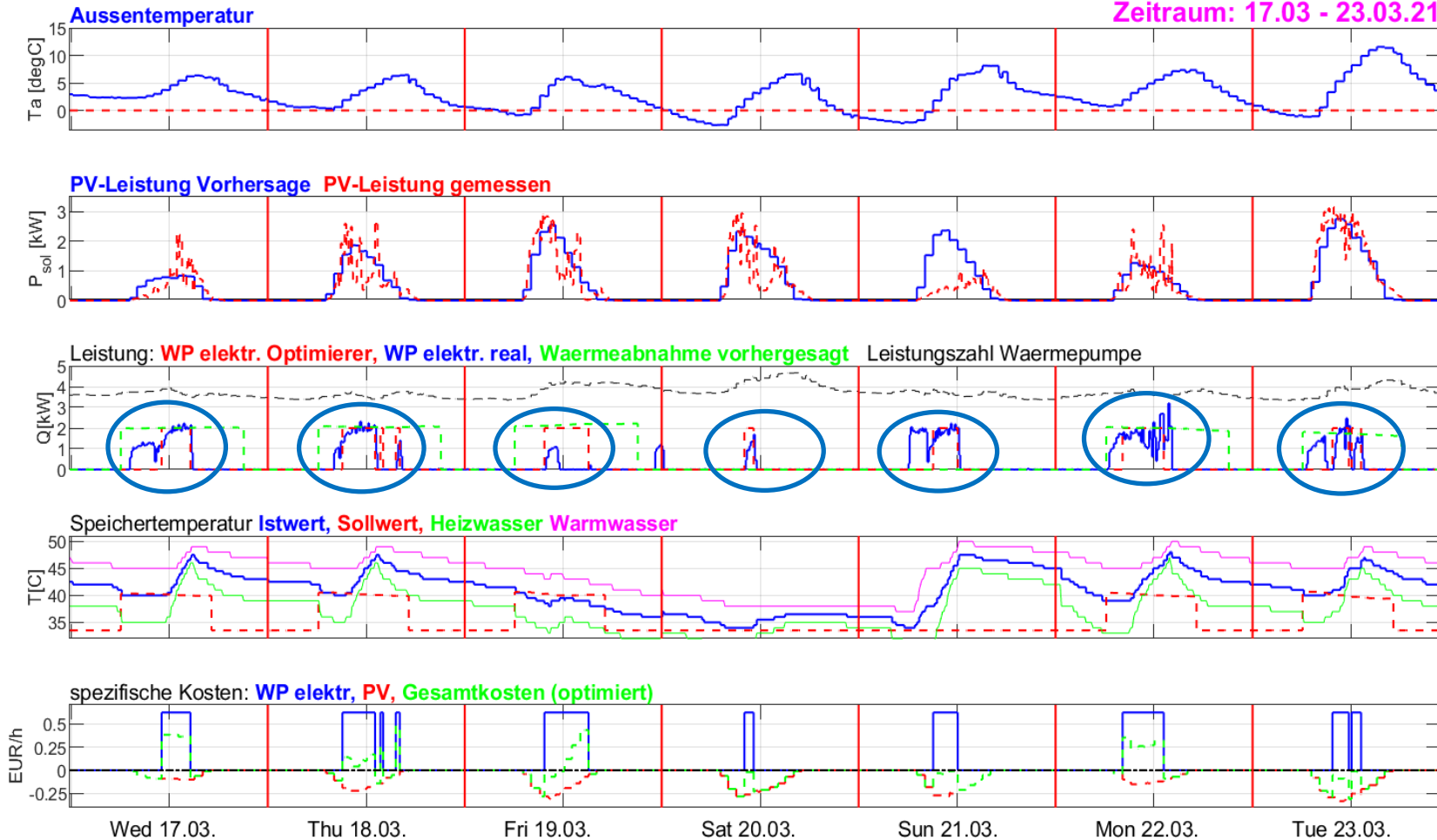
KW 12/2021

Zeitraum: 17.03 - 23.03.21

optimierter Betrieb

(17. – 23.03.2021)

→ bedarfsgerechte,
kostenoptimierte
Aktivierung der
Wärmepumpe



Dashboards: Tages-/Monatswerte zu Kosten und CO2-Emissionen

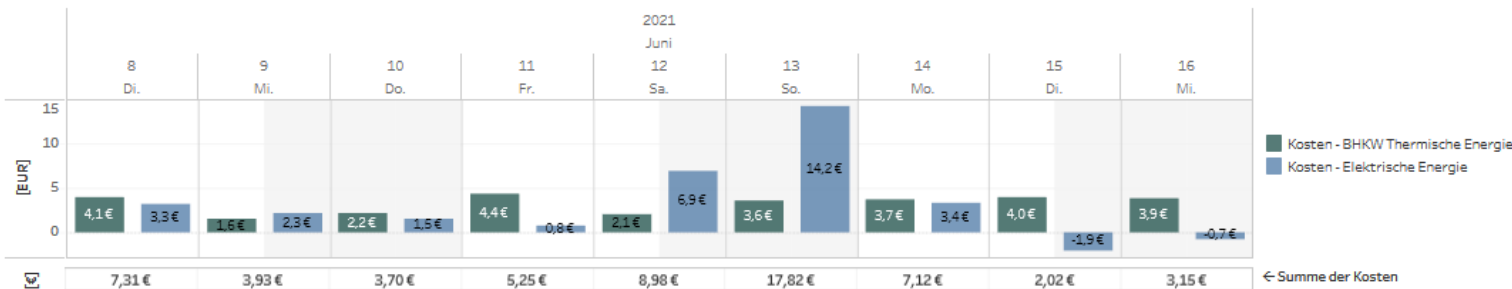
CO₂ & Energie - Täglich

08.06.2021 00:00:00

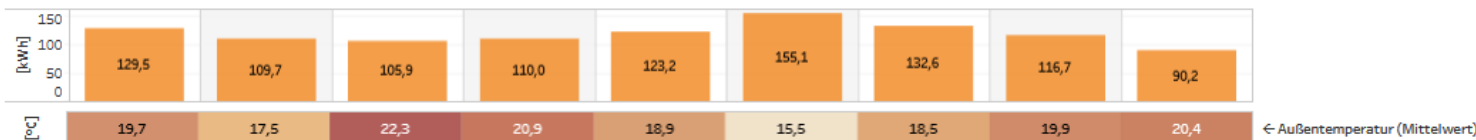
16.06.2021 18:40:00



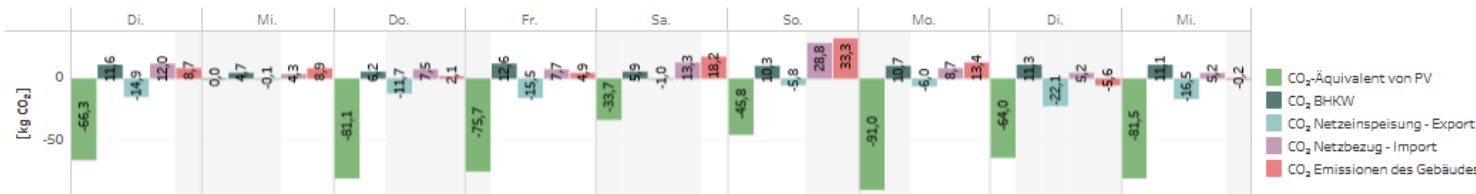
Tägliche Energiekosten des Gebäudes



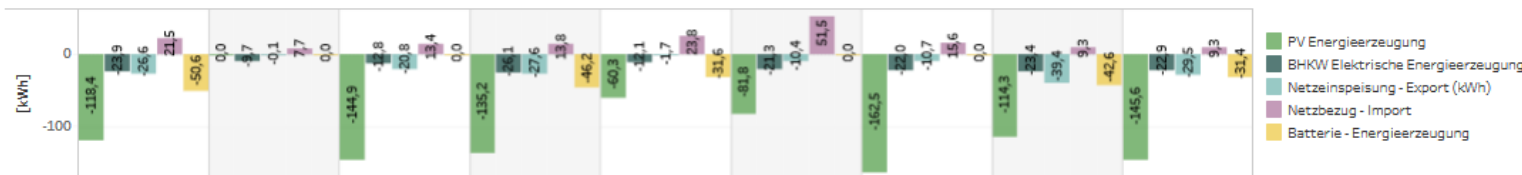
Täglicher Stromverbrauch des Gebäudes



Tägliche CO₂-Emissionen



Tägliche Elektrische Energie



Fraunhofer-Institut IOSB

Dr. Thomas Bernard

Fraunhoferstr. 1

76131 Karlsruhe

Tel. +49 721-6091-360

Fax +49 721-6091-413

Mail thomas.bernard@iosb.fraunhofer.de

Web www.iosb.fraunhofer.de/MRD