

# Systemisch optimierte Sanierungsstrategien für energieflexible Quartiere

Paulo Danzer

Wien, 17. Februar 2023

IEWT 2023



**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Gefördert durch:



Bundesministerium  
des Innern, für Bau  
und Heimat



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Projektbeteiligte

Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen  
 TUM School of Engineering and Design  
 Technische Universität München



Prof.  
**Thomas Auer**



Juniorforschungsgruppe Cleanvelope  
 Dr.-Ing. **Claudia Hemmerle**



Dipl.-Ing.  
**Manuel de-Borja-Torrejón, M.Sc.**



**Paulo Danzer, M.Sc**

Professur für Energiemanagement-Technologien  
 TUM School of Engineering and Design  
 Technische Universität München



Prof. Dr.  
**Christoph Goebel**



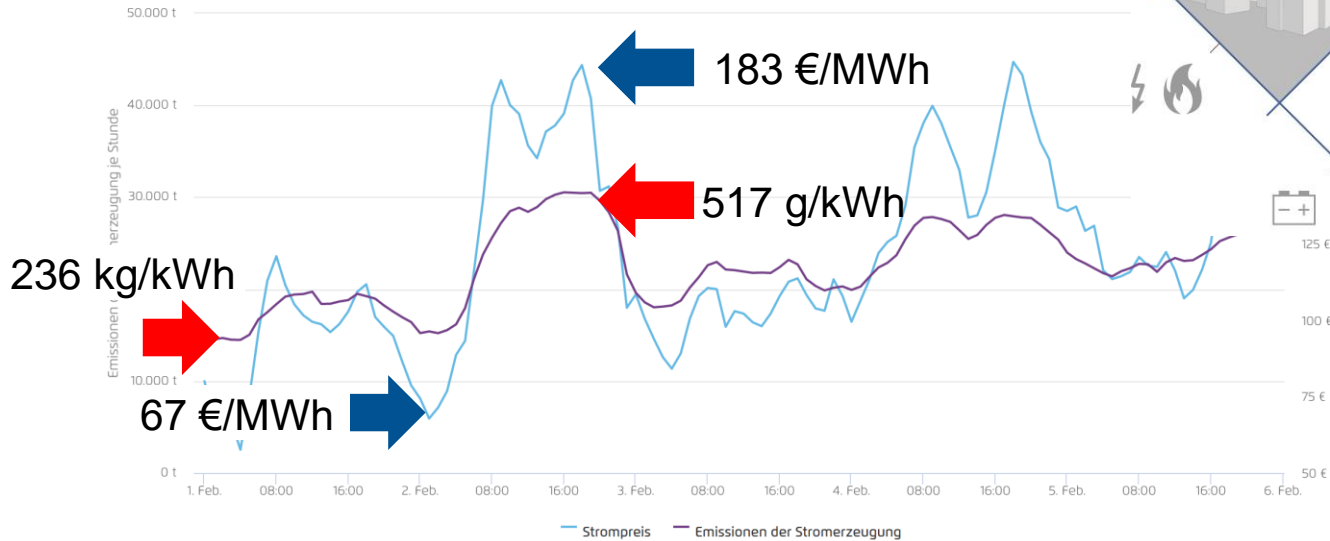
Dr.-Ing.  
**Peter Tzscheutschler**



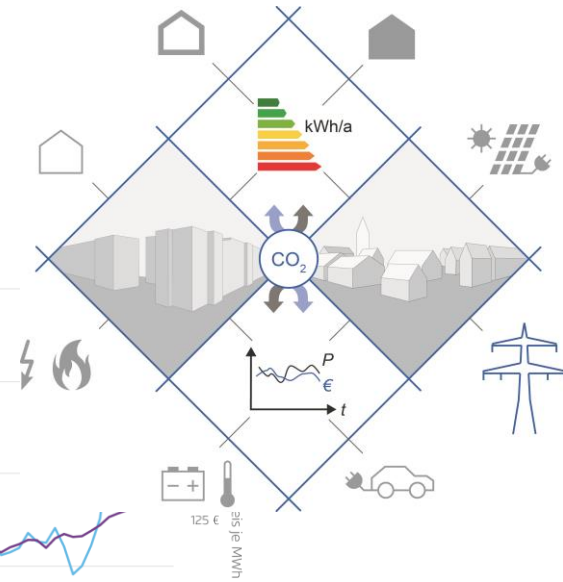
**Zhengjie You, M.Sc**

# Themenfeld

## Strompreis und Emissionen



Agrometer, Agora Energiewende



# Forschungsfragen



Wie **verändern sich die** baulichen und anlagentechnischen **Sanierungsstrategien**, wenn der **Bezugsrahmen von Gebäude auf Quartiersebene** erweitert und die **Netzdienlichkeit** neben der CO<sub>2</sub>-Neutralität als Optimierungsziel berücksichtigt wird?



Wie lässt sich dabei die Rückwirkung eines Quartiers auf das übergeordnete Energiesystem einbeziehen, um ein **Gesamtoptimum von CO<sub>2</sub>-Emissionen** und Netzdienlichkeit zu ermitteln?



Wie können Sanierungsmaßnahmen durch die Nutzung der **Energieflexibilität finanziert** werden?

# Ziele

- **angepasste Sanierungsstrategien für die drei Szenarien**  
(städtisches, suburbanes, ländliches Quartier)
- **Empfehlungen für die Planung von Sanierungsmaßnahmen**
- **Potentiale der Vermarktung der Energieflexibilität als Anreiz für Quartierssanierungen**

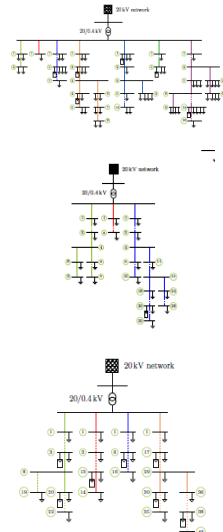
# Definition der Quartierstypen

## Quartiere

Quartierstyp	Grundriss	Satellitenbild	Fotografie	Anteil	Charakteristika
Städtischer Raum				26,9 %	städt. Blockrandbebauung
Suburbaner Raum				30,5 %	Zeilenbebauung
Ländlicher Raum				14,3 %	Streusiedlung EFH-Siedlung

Verbreitung der Siedlungstypen in deutschen Städten

## Verteilnetz



# Modellierung der Quartiere | Datenquellen

**Energetische Stadtraumtypen**  
nach Hegger



Energetische Potentiale & Versorgungsstrukturen

**Siedlungstypen**  
nach AGFW



Gebäudemerkmale

Baualter

Gebäudedichte

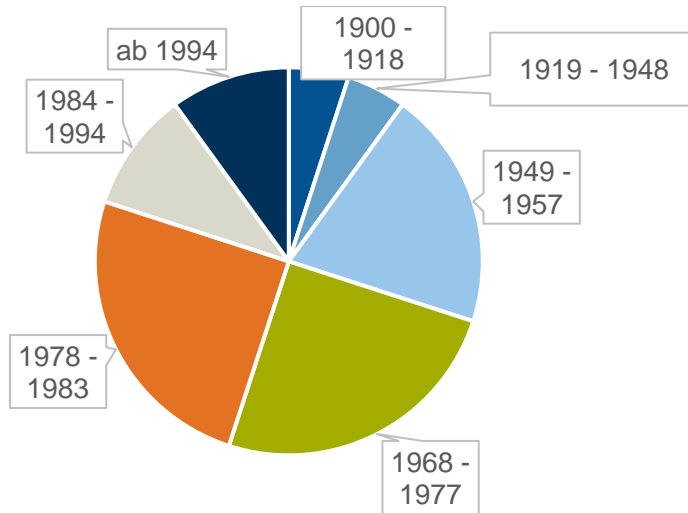
Anteil Gebäudetypen

Hegger, Manfred; Dettmar, Björn: Energetische Stadtraumtypen - Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen, 2014  
Neuffer, H., Witterhold, F.-G. (2020). AGFW-Hauptstudie: Pluralistische Wärmeversorgung. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V.

# Bestimmung der Gebäudehülle

## Gebäudetypologien

Beispiel: Baujahr EFH, ländliches Quartier



Daten zur Gebäudehülle









Neuffer, H., Witterhold, F.-G. (2020). AGFW-Hauptstudie: Pluralistische Wärmeversorgung. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V.  
 Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., Born, R., (2015) Deutsche Wohngebäudetypologie. Institut für Wohnen und Umwelt, IWU



# Definition der Sanierungsmaßnahmen

Energetische Erüchtigung der Gebäudehülle auf deutsche Standards:

KfW-Effizienzhaus 70  
KfW Effizienzhaus 40

2 KfW-Effizienzhaus 70			3 Niedrigenergiehaus (KfW-Effizienzhaus 40)		
Beispielhafte Ausführung	Dämmstärke**	U-Wert	Beispielhafte Ausführung	Dämmstärke**	U-Wert
**) nominale Dämmstärke gemäß gegebenem U-Wert (kann abweichen von baupraktischen Dämmstärken)					
Dämmung (WLS 035) auf der Decke + Dachabdichtung 	23 cm	<b>0,15</b> W/(m²K)	Dämmung (WLS 032) auf der Decke + Dachabdichtung 	40 cm	<b>0,08</b> W/(m²K)
Außendämmung (WLS 035) auf Mauerwerk + Verputz (Wärmedämmverbundsystem) 	19 cm	<b>0,18</b> W/(m²K)	Außendämmung (WLS 035) auf Mauerwerk + Verputz (Wärmedämmverbundsystem) 	28 cm	<b>0,12</b> W/(m²K)
Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung 		<b>1,10</b> W/(m²K)	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster) 		<b>0,70</b> W/(m²K)
Decke / Bodenplatte + Wärmedämmung (WLS 035) 	14 cm	<b>0,25</b> W/(m²K)	Decke / Bodenplatte + Wärmedämmung (WLS 035) 	29 cm	<b>0,12</b> W/(m²K)

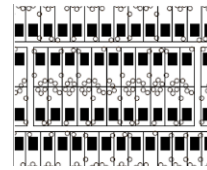
Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., Born, R., (2015) Deutsche Wohngebäudetypologie. Institut für Wohnen und Umwelt, IWU

# Modellierung der Quartiere

Beispiel: Ländlicher Raum

**Energetische Stadtraumtypen**  
nach Hegger

EST 1



ST 1 Streusiedlung

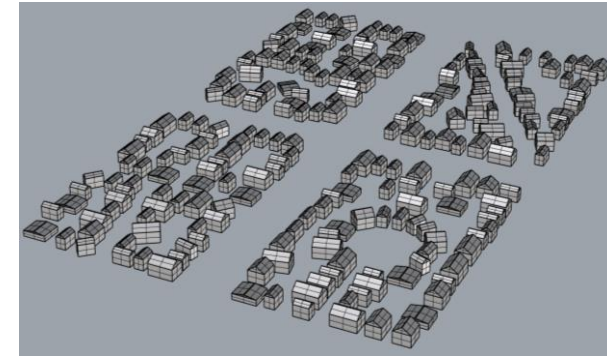


**Siedlungstypen**  
nach AGFW

ST 2 EFH-Siedlung



3D-Modell des Quartiers



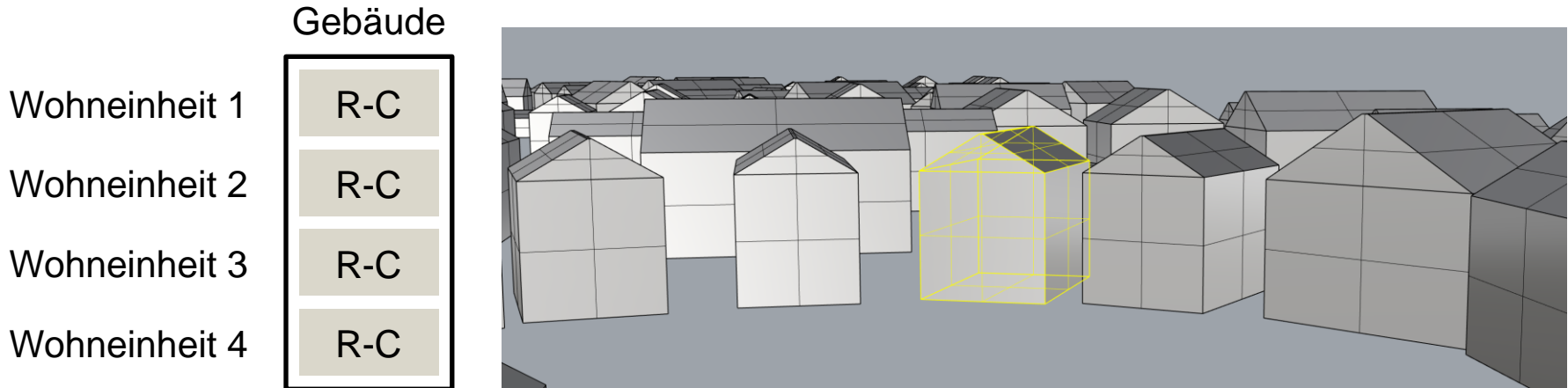
ländlich

Hegger, Manfred; Dettmar, Björn: Energetische Stadtraumtypen - Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen, 2014  
Neuffer, H., Witterhold, F.-G. (2020). AGFW-Hauptstudie: Pluralistische Wärmeversorgung. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V.

# Simulationsmodell

## RC-Modell

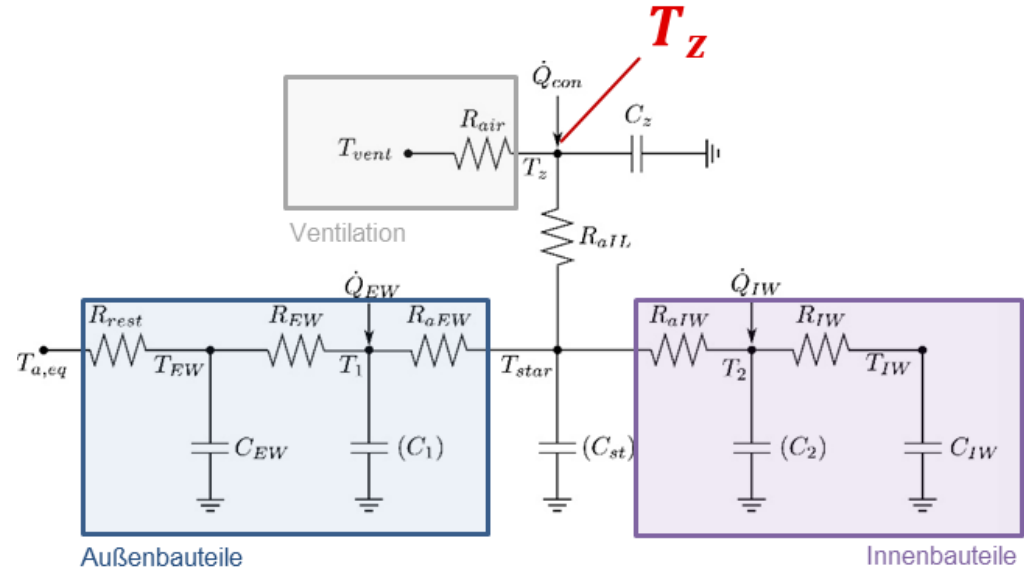
(VDI 6007-2 Berechnung des instationären thermisches Verhalten von Räumen und Gebäuden)



# RC-Model

## 3R2C-Modell nach VDI 6007

$C$	Kapazität	$air$	Luft
$\dot{Q}$	Wärmestrom	$a, eq$	Außenluft, äquivalent
$R$	Wärmedurchgangs- widerstand	$aEW$	Stern - Außenwände
$T$	Temperatur	$aIL$	Stern - Lüftung
		$aIW$	Stern - Innenwände
		$con$	konvektiv
		$EW$	Außenwände und nicht adiabate Innenbauteile
		$IW$	Innenwände
		$rest$	Rest
		$star$	Sternposition
		$vent$	Ventilation
		$z$	Zone

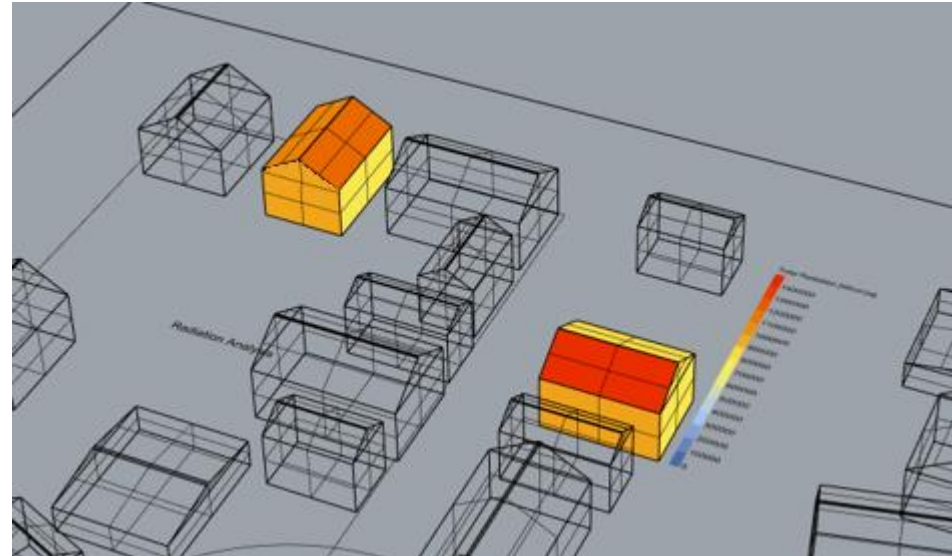


# Photovoltaik | Strahlungsgewinne

Strahlungsdaten des 3D-Modells

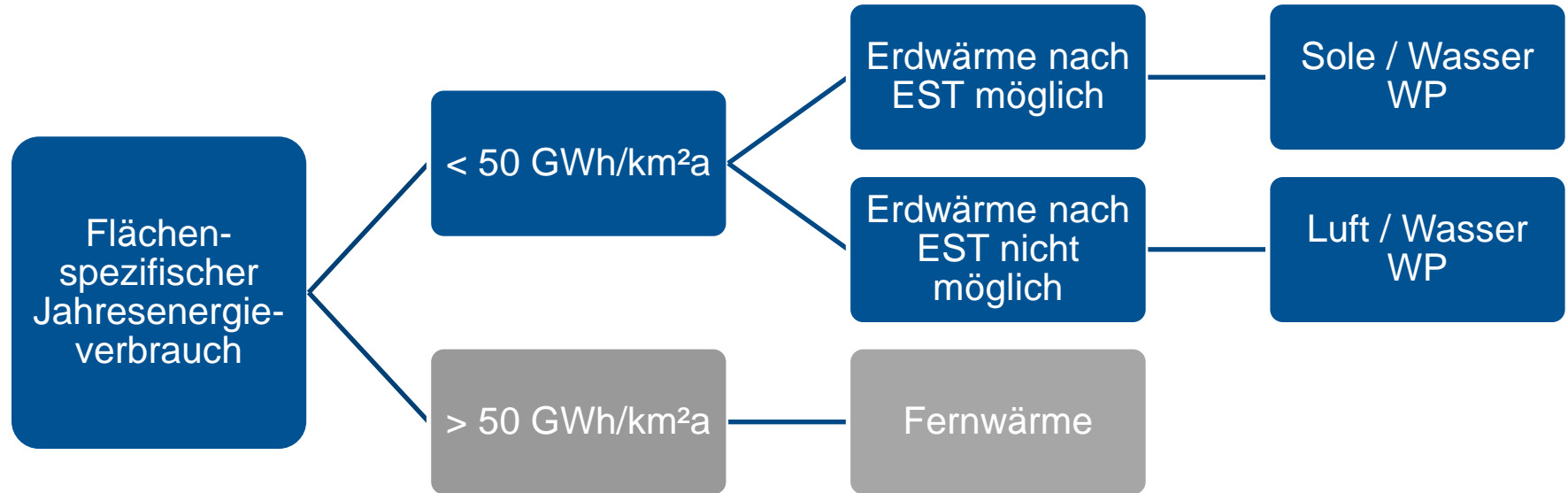
Anteilige Nutzung des PV-Potentials

Wärmegewinne durch transparente Bauteile



„Aktueller Szenariorahmen 2037“ 2022 BNetzA Deutschland (Szenario A)

# Wärmeerzeuger nach Sanierung



# Wärmepumpen / BEV

## Arbeitszahlen der Wärmepumpen:

### eigene Adaption von **hplib**

Tjarko Tjaden, Hauke Hoops, Kai Rösken. (2021). RE-Lab-Projects/hplib: heat pump library (v1.8). Zenodo

## Vorlauftemperaturen in Abhängigkeit des **spezifischen Jahresenergiebedarfs**

Danny Günther, Jeannette Wapler, Robert Langner (2020) WPSMART IM BESTAND - Felduntersuchung optimal abgestimmter Wärmepumpenheizungssysteme in Bestandsgebäuden

## Strombedarf BEV:

### Strombedarf, Abfahrtszeit: **emobpy**

Gaete-Morales, C., Kramer, H., Schill, WP. et al. (2021) An open tool for creating battery-electric vehicle time series from empirical data, emobpy. Sci Data 8, 152

# Nutzungsprofile

## **Trinkwasser-Zapfprofile:**

eigene Adaption von **DHWcalc**

Jordan, Ulrike; Vajen, Klaus: Werkzeug zur Generierung von Trinkwasser-Zapfprofilen auf statistischer Basis, 2017

## **Strombedarf / Belegungsprofile / Beleuchtungsprofile der Haushalte:**

Weiterentwicklung von UrbanHeatPro: **UrbanEnergyPro**

UHP: Molar-Cruz, A., & Hamacher, T. (2019). A gis-based gray-box approach for the estimation of heat demand at the urban scale. 38th International Energy Workshop, 1–10.

UEP: Jambagi, A. (2021). Integration of decentralized energy storage in low voltage systems [Dissertation]. Technische Universität München, München



# Optimierung

Pyomo / Gurobi zur Laststeuerung der Wärmerzeuger

## Optimierungsmodule:

- Wärmepumpen
- BEV
- Batteriespeicher

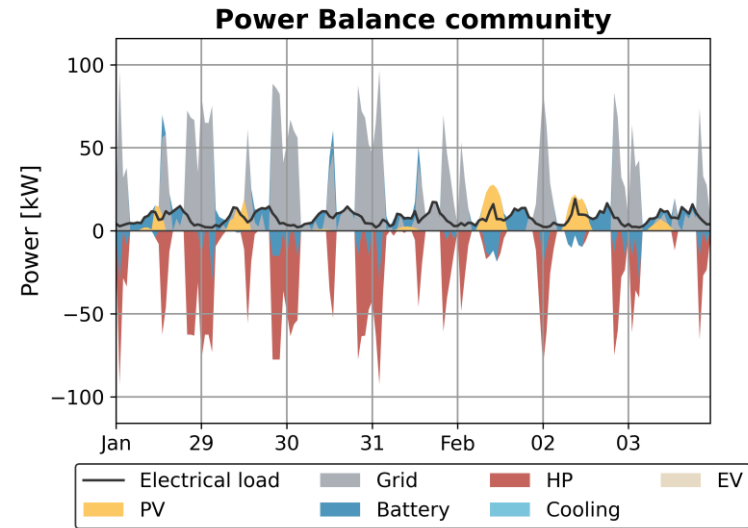
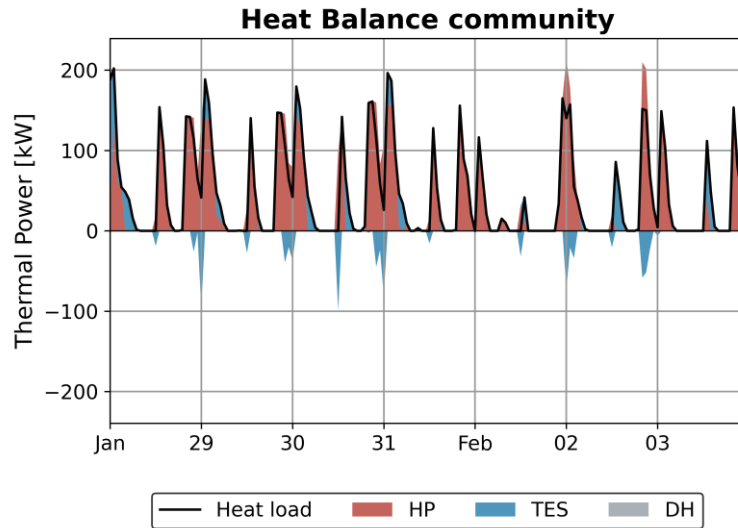


## Optimierungsziele:

- Kostenreduktion
- CO2 Emissionen
- Spitzenlast

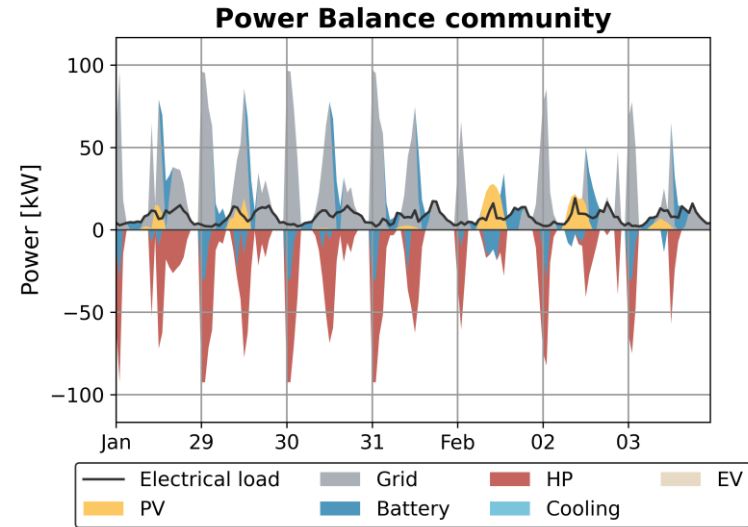
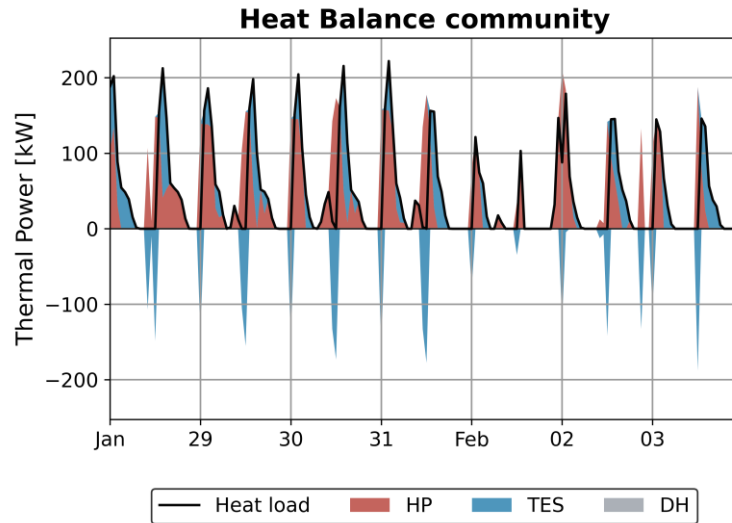
# Zwischenergebnisse

## Optimierung nach Stromkosten



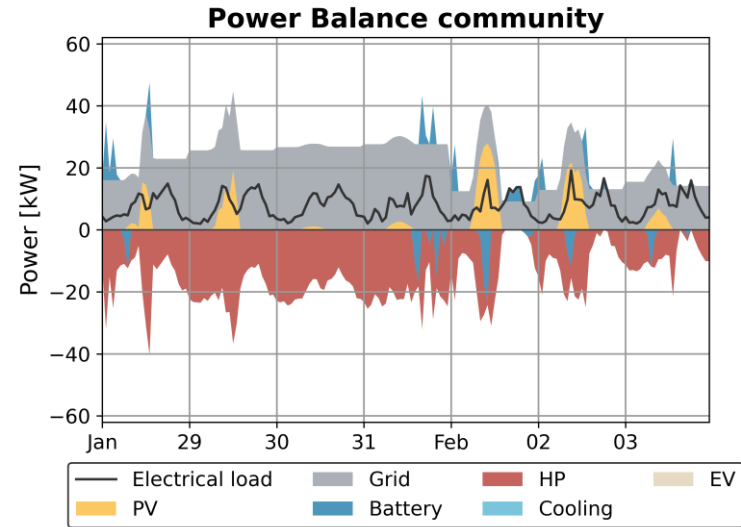
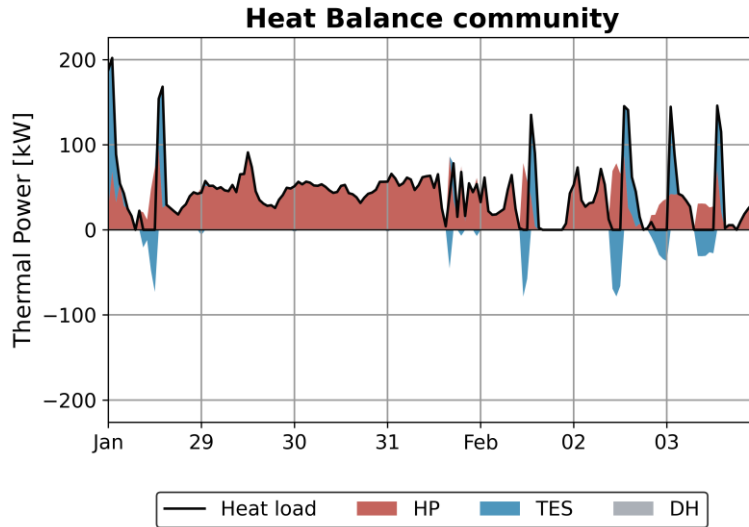
# Zwischenergebnisse

## Optimierung nach CO<sub>2</sub>-Emissionen



# Zwischenergebnisse

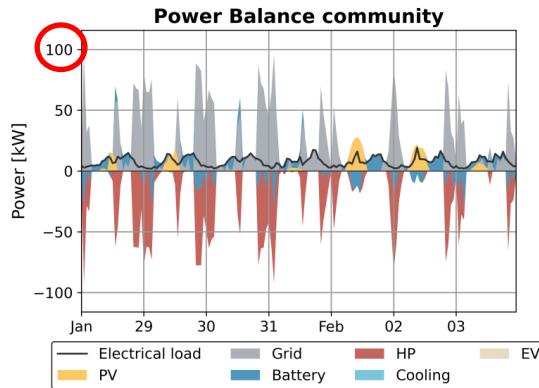
## Optimierung nach Spitzenlast



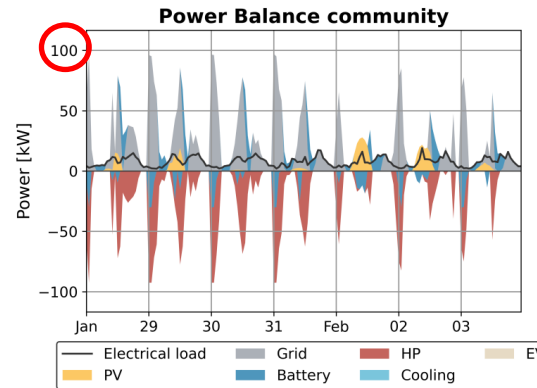
# Zwischenergebnisse

Optimierungsziel:

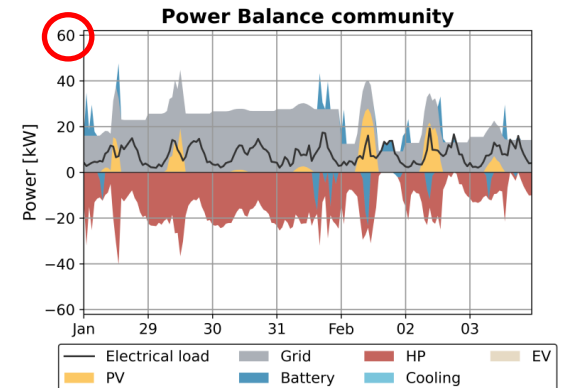
Kosten



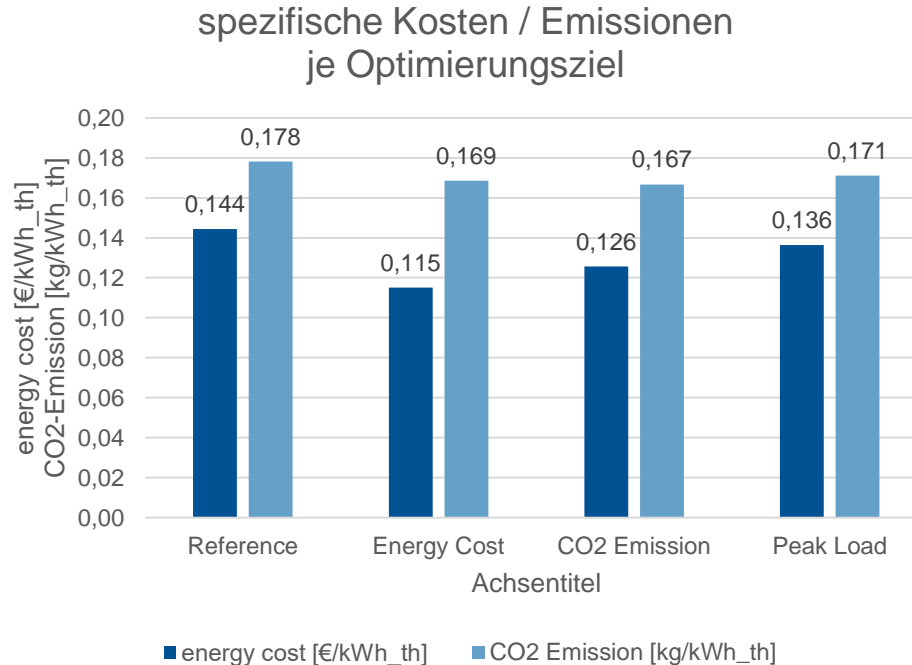
Emissionen



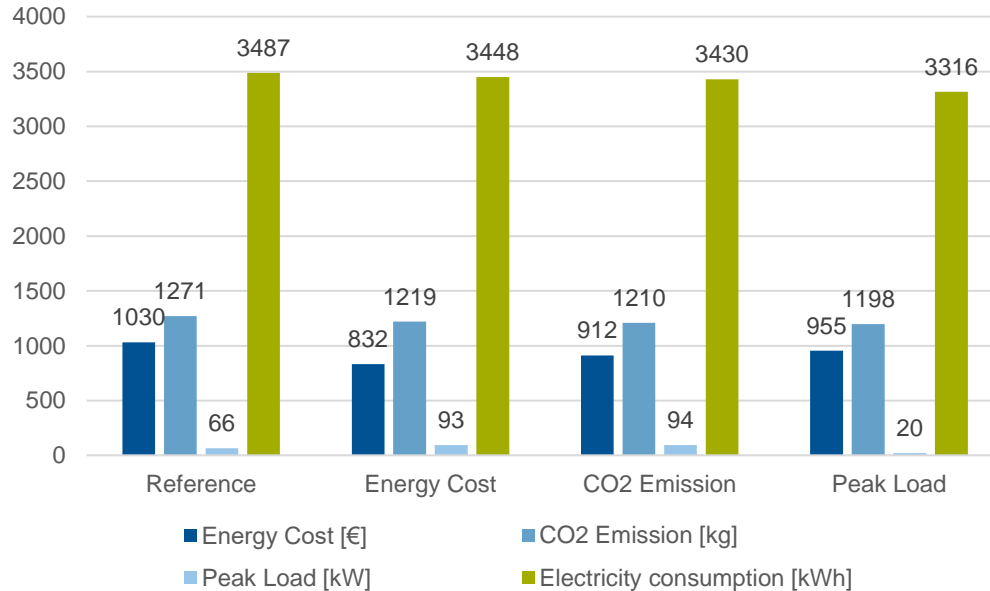
Spitzenlast



# Zwischenergebnisse



# Jahresenergieverbrauch



→ Durchschnittliche Raumtemperatur unterschiedlich

# Zwischenergebnisse

## **Flexibilität = Effizienzverlust**

Beladung der thermischen Masse mit höheren Systemtemperaturen

- niedrigere Arbeitszahl der Wärmepumpen
- höhere Wärmeverluste

## **Höhere Leistungen**

CO<sub>2</sub> / kostenoptimierte Regelung hat negative Auswirkungen auf Netzdienlichkeit



# Ausblick

- Quantifizierung Effizienzverlust  $\leftrightarrow$  Flexibilitätsgewinn
- Quantifizierung der Sanierungskosten
- Untersuchungen von heterogenen/homogenen Sanierungen auf die Energieflexibilität

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

[www.arc.ed.tum.de/klima/cleanvelope/reflex](http://www.arc.ed.tum.de/klima/cleanvelope/reflex)

