

1860

1880

1900

1920

1940

1960

1980

2000

Wirtschaftlichkeit und Netzverträglichkeit von PV-Wärme-Systemen in Wohngebäuden

Tjarko Tjaden, M. Sc. | Hochschule Emden/Leer

23.11.2022 | 14. Niedersächsische Energietage
Fachforum 3: Sparsamkeit – eine deutsche Tugend?
Energiegebrauch sinnvoll in Grenzen halten



University of Applied Sciences

HOCHSCHULE
EMDEN • LEER

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Agenda

- **Motivation**
- **Vorstellung**
 - Zur Person
 - Projekt PIEG-Strom
- **hplib – heat pump library**
 - Hintergrund
 - Anwendung
 - Fazit
- **Diskussion**



Agenda

- **Motivation**
- **Vorstellung**
 - Zur Person
 - Projekt PIEG-Strom
- **hplib – heat pump library**
 - Hintergrund
 - Anwendung
 - Fazit
- **Diskussion**



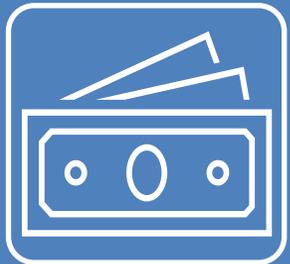
Motivation, Konflikte und Lösungsvorschläge...

... in Anlehnung an das Format des Fachforums



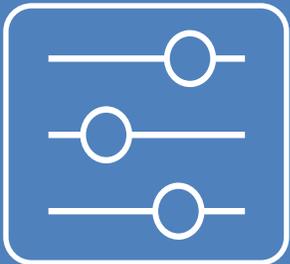
Motivation

- Für ein klimaneutrales Energiesystem braucht es einen rasanten **Markthochlauf** von Wärmepumpen und Elektromobilität.
- Das elektrische **Verteilnetz** bleibt **weitestgehend unverändert**.



Konflikte

- Hohe Effizienz (= **geringe Betriebskosten**) bedingen bei Wärmepumpen tendenziell **hohe Investitionskosten** (Erschließung der Wärmequelle)
- Niedrige Effizienzen führen **Verteilnetze** schneller an **ihre Grenzen**



Lösungsvorschläge

- Endkunden & Fachbetriebe: Hilfestellung zur **Identifikation** möglichst effizienter Wärmepumpen-Modelle und **Quantifizierung des Vorteils**.
- **Förderpolitik** (GEG, BAFA) stärker an **Effizienz koppeln**.

Agenda

- Motivation
- **Vorstellung**
 - Zur Person
 - Projekt PIEG-Strom
- **hplib – heat pump library**
 - Hintergrund
 - Anwendung
 - Fazit
- **Diskussion**



Vorstellung

Persönlicher Hintergrund: **Der elterliche Hof**



Von 1914 an ein **Lebens- und Arbeitsort für mehrere Generationen** mit **nachhaltiger Ernährung** (Landwirtschaft & Bauerngarten), **Mobilität** (Fahrrad & Pferde) und **Energieversorgung** (Sparsamkeit und Holz aus der Wallheckenpflege)

Vorstellung

Persönlicher Hintergrund: Die Großeltern



Lernen es wieder

Nachhaltigkeit =
Normal?

Kannten „Nachhaltigkeit“
persönlich

Vorstellung

Persönlicher Hintergrund: **Der Grönlandhof – ein Versuch größtmöglicher Resilienz**

von 2017 bis 2019 wurde der Hof wieder ein

Lebens-/Arbeitsort für mehrere Generationen

- Hofgemeinschaft mit 3 Familien & Generationen mit **nachhaltiger Ernährung**
 - Bioland Betrieb / Solidarische Landwirtschaft
- ## **und Mobilität**
- E-Auto im Car-Sharing, Lastenräder, Velomobil
- ## **sowie Energieversorgung (KfW 70 Denkmal)**
- Photovoltaik, Wärmepumpe und Rest-Holz



Vorstellung

Mein persönlicher und beruflicher Hintergrund

Ausbildung und Studium

- 2006 – 2007: FÖJ | Energiespar-Contracting | Ingenieurbüro Berlin
- 2007 - 2013: Bachelor & Master | Regenerative Energiesysteme | HTW Berlin

Berufliche Laufbahn



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

2013 – 2018

Solare Stromspeichersysteme
Prof. Dr.-Ing. Volker Quaschnig
Dr.-Ing. Johannes Weniger



University of Applied Sciences

HOCHSCHULE
EMDEN • LEER

2018 – 2022

Regenerative
Gebäudeenergiesysteme
Prof. Dr.-Ing. Johannes Rolink

seit 09/2022



JÜLICH
Forschungszentrum



DGS Akademie Franken
die Solarakademie

- seit 2017: Mitarbeit und später Leitung des Richtlinienausschusses zur **VDI 4657 Blatt 3** „Planung und Integration von Energiespeichern in Gebäudeenergiesystemen“

Vorstellung

Forschungsprojekt „PIEG-Strom“

Planung und Integration von Energiespeichern in Gebäudeenergiesystemen: Schwerpunkt: Elektrische Stromspeicher

Partner:

- Hochschule Emden/Leer (HSEL)
- Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI)
- Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES)
- denersol – solutions for energy systems (DSOL)

Förderrahmen:

- WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen
- Schwerpunkt: Normung und Standardisierung

Zeitraum

- Juli 2020 bis Januar 2023
- Anschließend Veröffentlichung des Weißdrucks VDI 4657 Blatt 3



Gefördert durch:

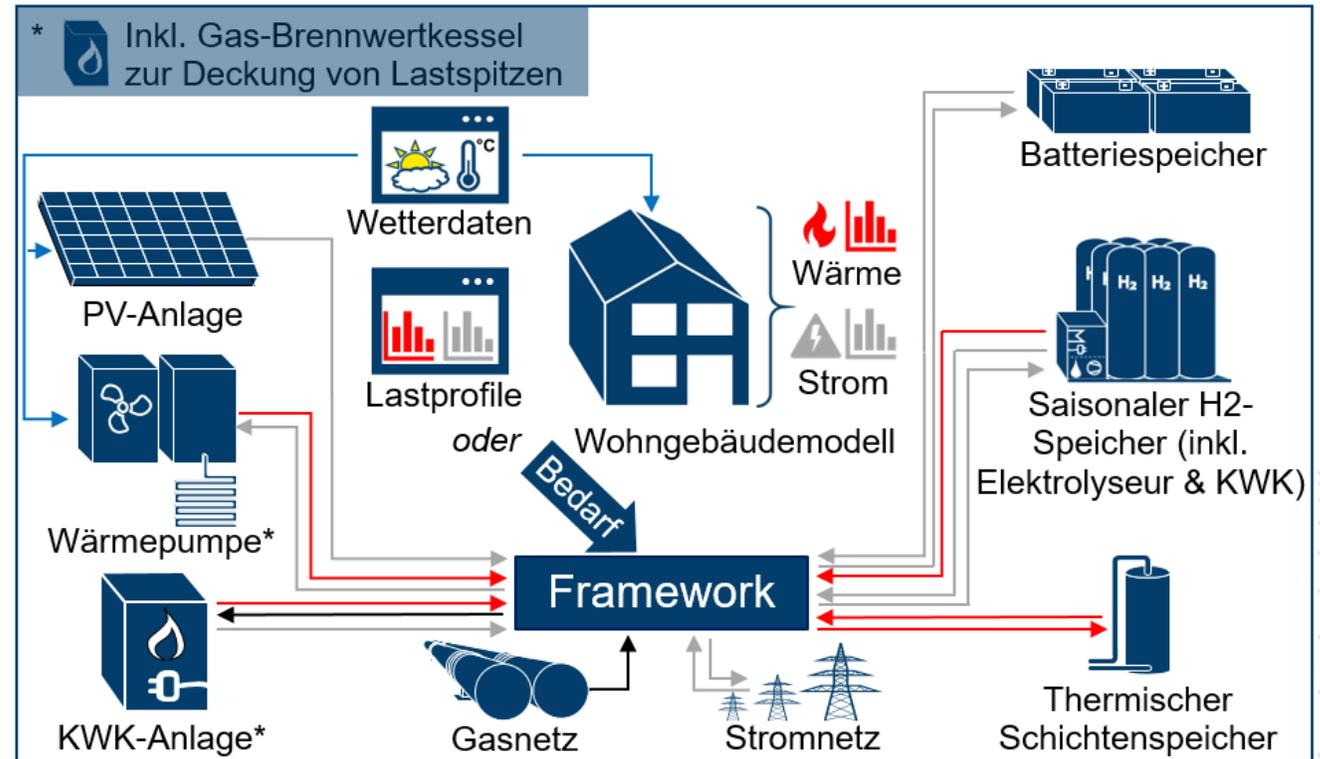


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vorstellung

Forschungsprojekt „PIEG-Strom“: Simulations-Framework „HiSim“

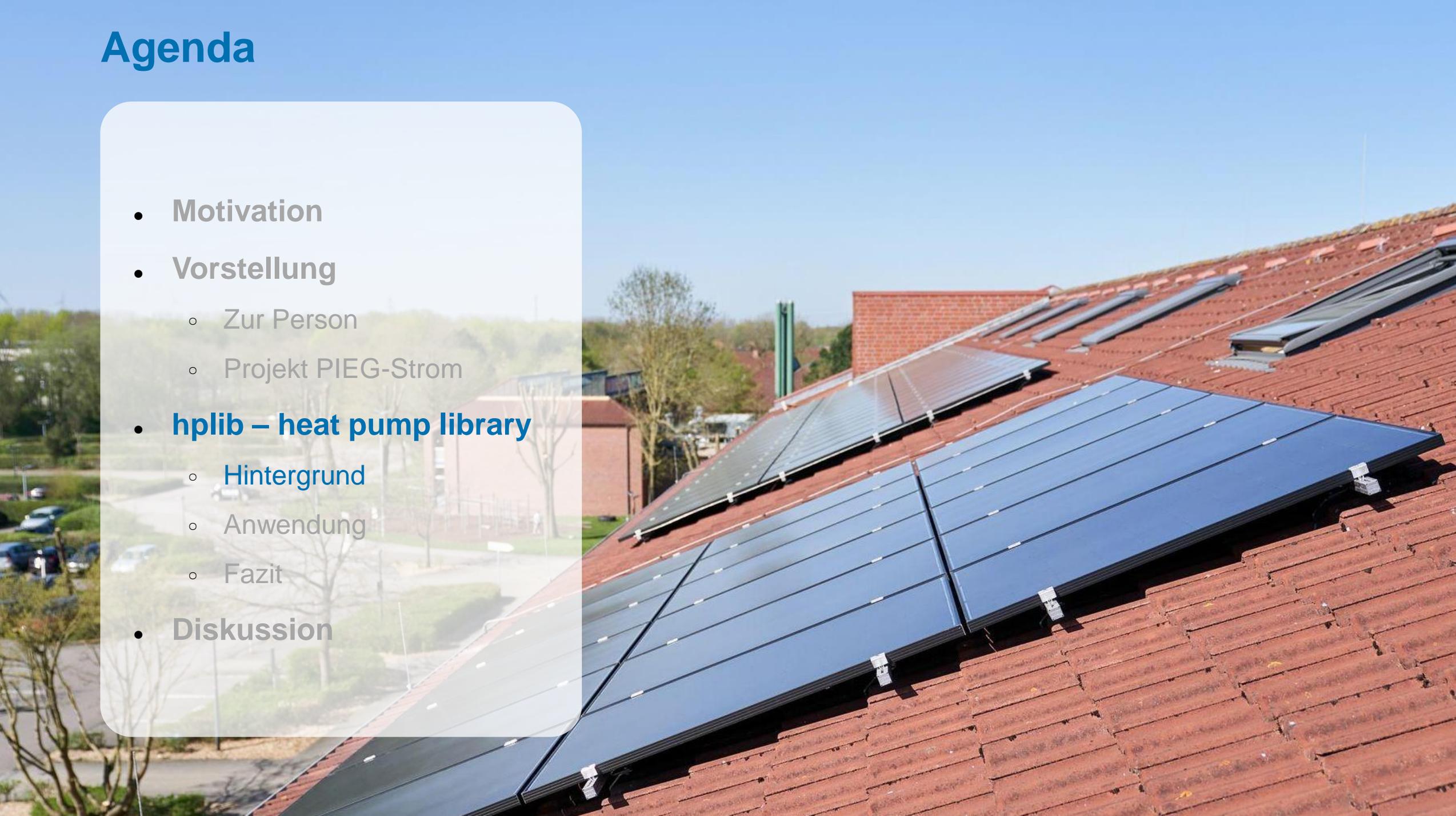
- **Lastprofile** und **Wetterdaten** frei verfügbar und dokumentiert unter: <https://zenodo.org/record/6547713>
- Generische und herstellerbezogene **Batteriespeicher**, siehe: <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/bslib>
- Generische und herstellerbezogene **Wärmepumpen**, siehe: <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/hplib>
- Ergänzt um **Betriebsstrategien** ist das Framework Grundlage für Simulationen und Optimierungen.
- **Weiterentwicklung** am FZJ



Quelle: Framework veröffentlicht unter:
<https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/HiSim>

Agenda

- Motivation
- Vorstellung
 - Zur Person
 - Projekt PIEG-Strom
- **hplib – heat pump library**
 - Hintergrund
 - Anwendung
 - Fazit
- Diskussion



hplib – heat pump library

Generische und herstellerbezogene Wärmepumpendatenbank und -simulation



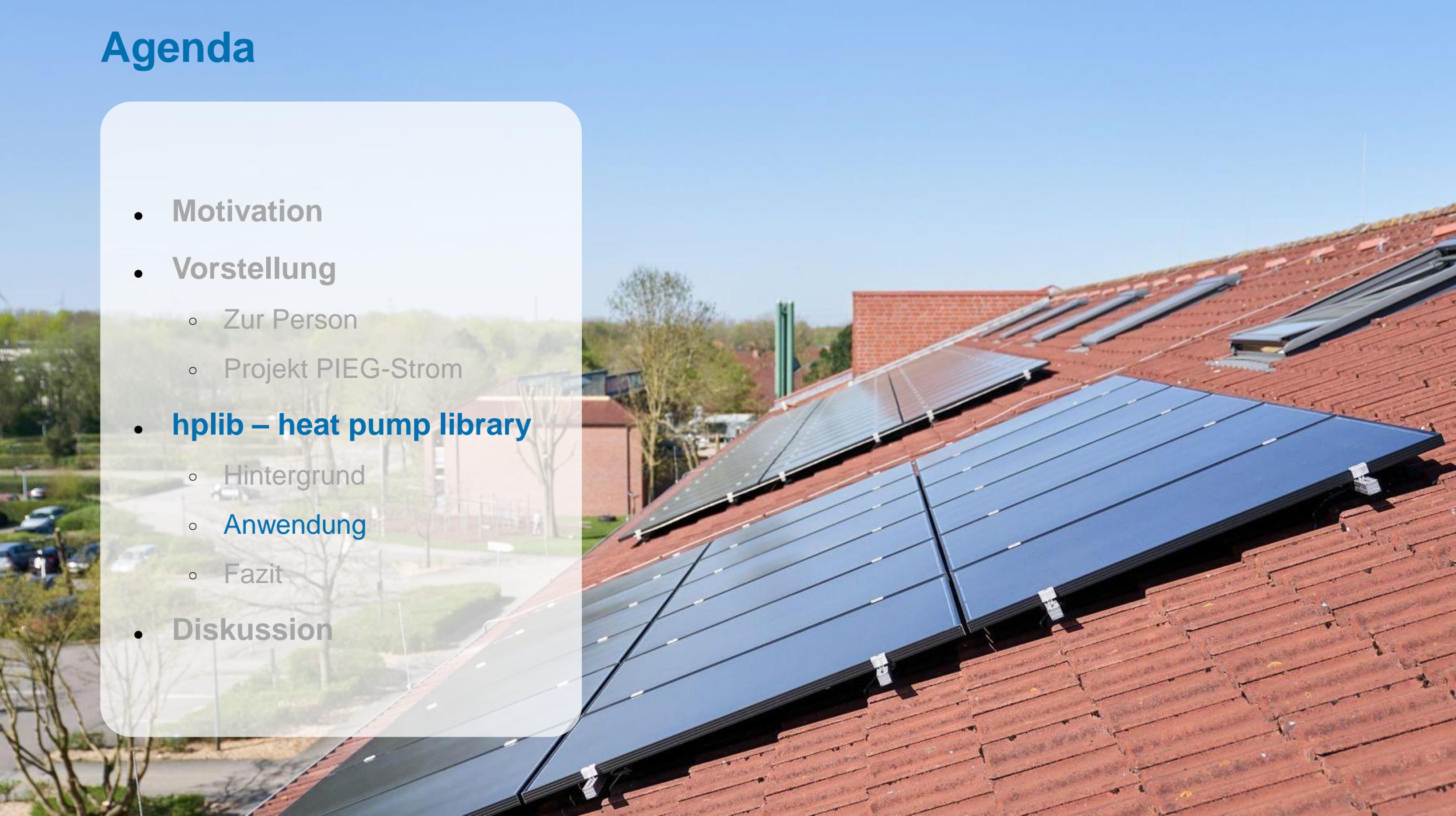
- **Öffentliche** verfügbare und **unabhängig gemessene Kennwerte** von Wärmepumpen in Europa.
<https://keymark.eu/en/products/heatpumps/certified-products>
- Überführung in eine menschen- und maschinenlesbare **Datenbank**.
- Validiertes **Simulationsmodell** für die verschiedenen Wärmepumpen-Typen.
- Erstellung von **generischen** Wärmepumpen-Modellen, die in der Leistung **frei konfigurierbar** und hinsichtlich der Effizienz dem **Marktdurchschnitt** entsprechen.

Column	Description	Comment
Manufacturer	Name of the manufacturer	30 manufacturers
Model	Name of the heat pump model	506 models
Date	heat pump certification date	2016-07-27 to 2021-03-10
Type	Type of heat pump model	Outdoor Air/Water, Brine/Water, Water/Water
Subtype	Subtype of heat pump model	On-Off, Regulated
Group ID	ID for combination of type and subtype	1 - 6
Refrigerant	Refrigerant Type	R134a, R290, R32, R407c, R410a, other
Mass of Refrigerant [kg]	Mass of Refrigerant	0.15 to 14.5 kg
SPL indoor [dBA]	Sound emissions indoor	15 - 68 dBA
SPL outdoor [dBA]	Sound emissions outdoor	33 - 78 dBA
PSB [W]	Electrical power consumption, standby mode	3 to 60 W
Climate	Climate definition for set points, which were used for parameter identification	average, colder, warmer
P_el_h_ref [W]	Electrical power at -7°C / 52°C	881 to 23293 W
P_th_h_ref [W]	Thermal heating power at -7°C / 52°C	2400 to 69880 W

Quelle: hplib v1.9 veröffentlicht unter:
<https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/hplib>

Agenda

- Motivation
- Vorstellung
 - Zur Person
 - Projekt PIEG-Strom
- **hplib – heat pump library**
 - Hintergrund
 - **Anwendung**
 - Fazit
- Diskussion



Anwendung der hplib

Konferenz-Veröffentlichung und Web-Tool

T. Tjaden, H. Hoops, J. Rolink; „Einfluss konkreter Wärmepumpen-Typen auf die Wirtschaftlichkeit und Netzverträglichkeit von PV-Wärme-Systemen in Wohngebäuden“. 37. PV-Symposium, 21.-23. Juni 2022.

DWD Testreferenzjahre

Wetterdaten für 15 Referenzregionen

Wetterjahre 2015
2045

Kategorien durchschnittliches Jahr
extremer Winter
extremer Sommer

Synthetisierung auf 1min Datenreihen
mit dem Algorithmus von Hofmann et. al.
<http://pvmodelling.org/>



133.320

Jahressimulationen

thermisches Gebäudemodell

Neubau
0,6 W/(m² K)
35 / 28 °C



Altbau
1,2 W/(m² K)
55 / 45 °C

4000 kWh Haushaltstromverbrauch



hplib - Bibliothek

<https://github.com/RE-Lab-Projects/hplib>
Parameter und Simulationsmodell für Wärmepumpen
--> mehr als 500 reale Geräte + generische Modelle



bslib - Bibliothek

<https://github.com/RE-Lab-Projects/bslib>
Parameter und Simulationmodell für Batteriespeicher
--> basierend auf PerMod der HTW Berlin



pvlib - Bibliothek

<https://github.com/pvlib/pvlib-python>
Parameter und Simulationsmodell der Photovoltaik
--> Verwendung der PVWATTS-Modelle

- Berechnung der **Norm-Heizlast** für jedes **Gebäude** über die Norm-Außentemperatur an jedem **Standort**.
- **Zuordnung** von maximal 15 passenden **marktverfügbaren** Wärmepumpen pro Standort und Gebäudetyp.

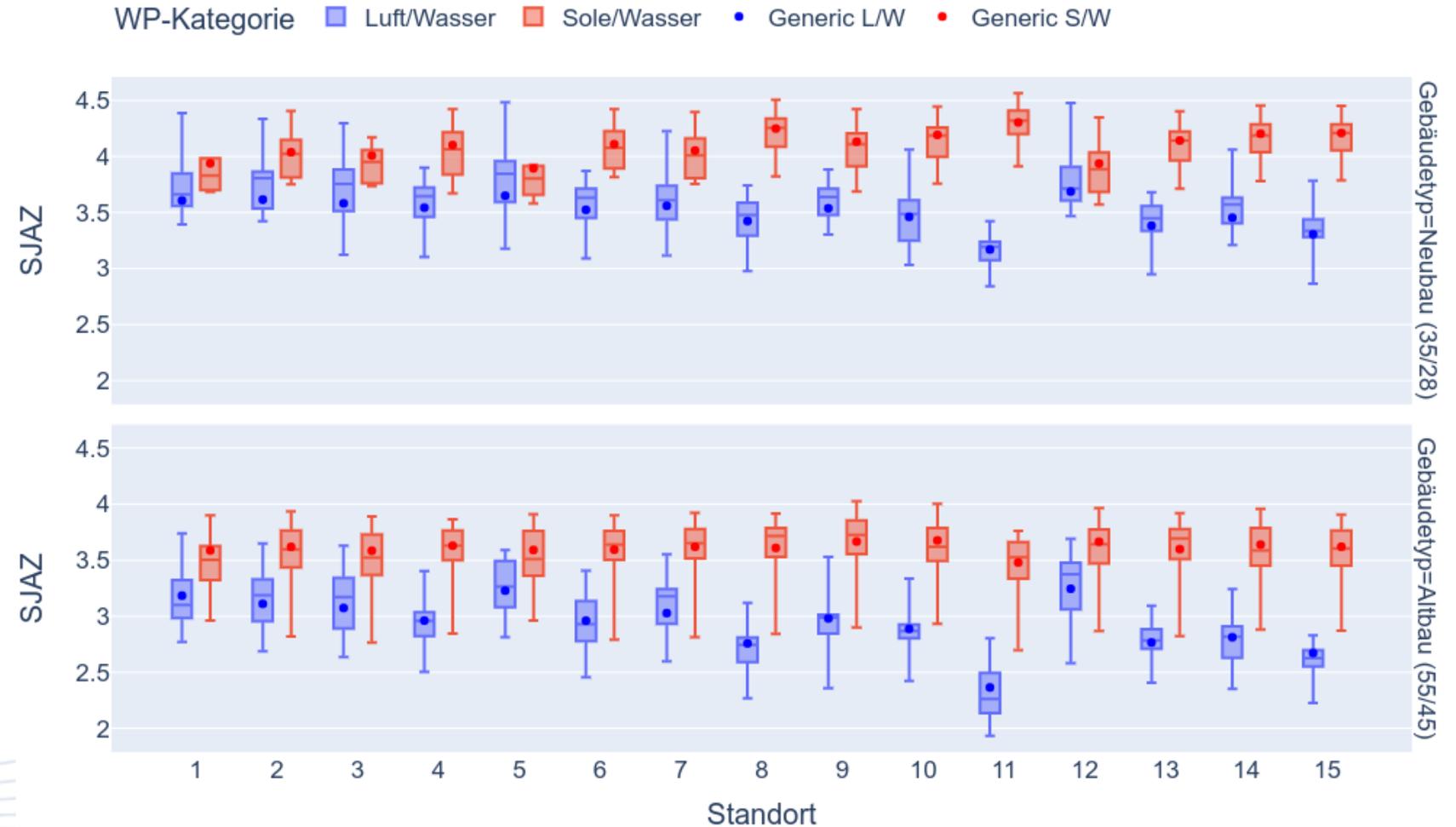


Ergebnisse als Open Data und Web-Tool

Anwendung der hplib

Verteilung der Systemjahresarbeitszahlen (SJAZ) getrennt nach Standort und Gebäudetype

- **SJAZ** von **Luft/Wasser-WP** weisen sowohl **starke Abhängigkeiten** vom Standort als auch vom konkreten Modell auf.
- **Generische Modelle** bilden **Marktdurchschnitt** gut ab.

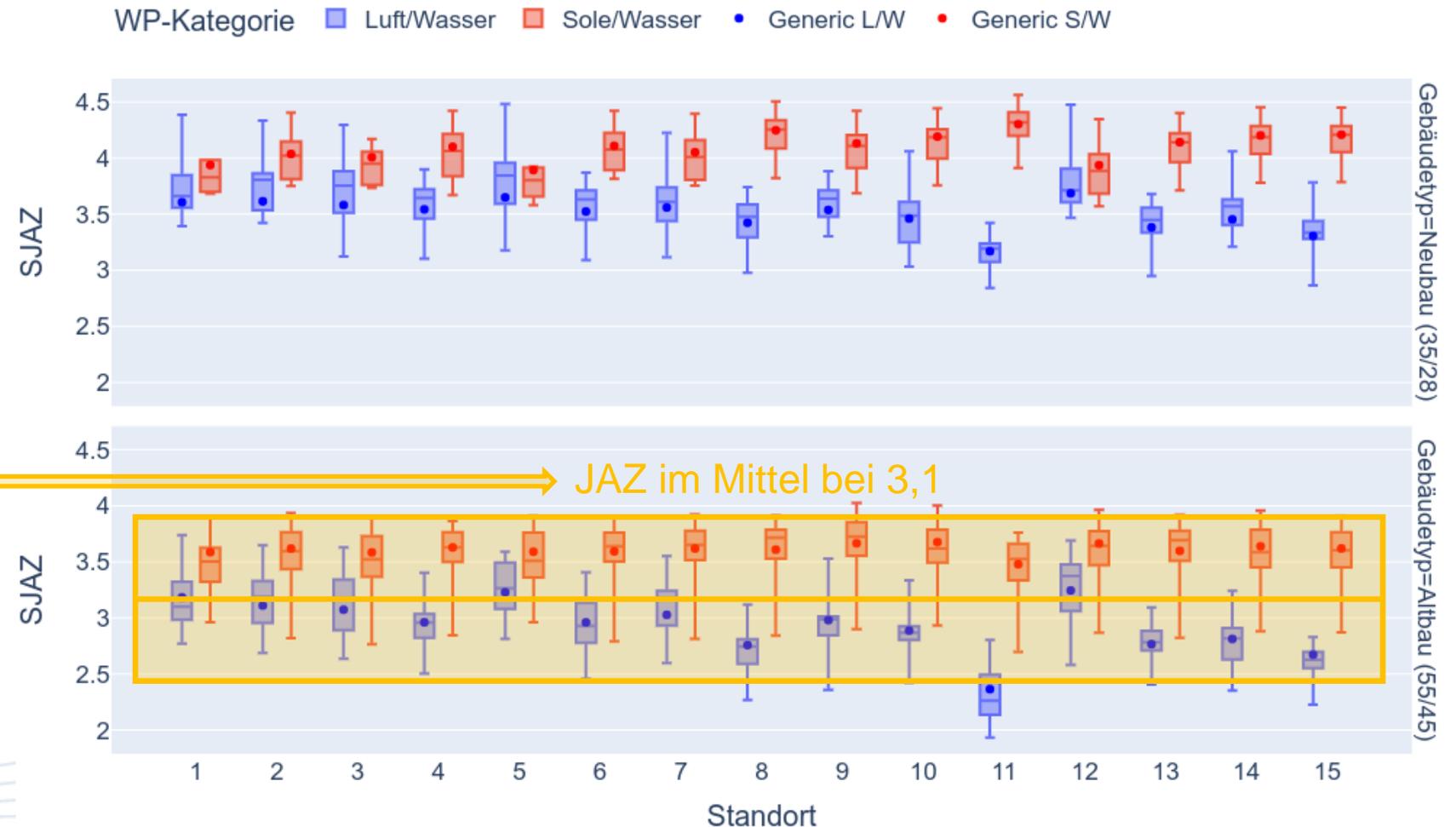


Anwendung der hplib

Verteilung der Systemjahresarbeitszahlen (SJAZ) getrennt nach Standort und Gebäudetype

- **SJAZ** von **Luft/Wasser-WP** weisen sowohl **starke Abhängigkeiten** vom Standort als auch vom konkreten Modell auf.
- **Generische Modelle** bilden **Marktdurchschnitt** gut ab.
- **Simulationsergebnisse** robust und **valid** im Vergleich zur Monitoring „WPsmart im Bestand“.

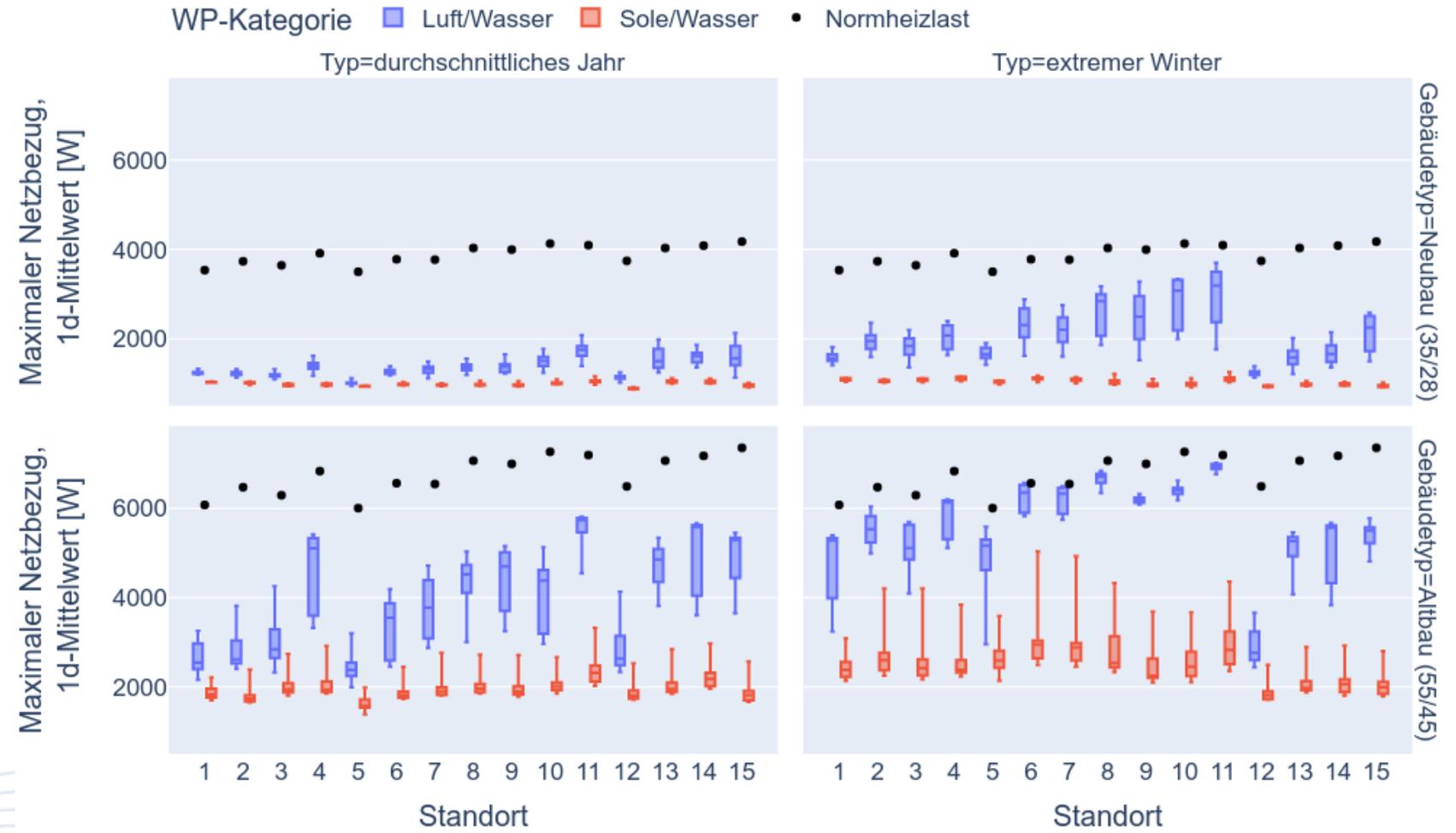
<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/wp-smart-im-bestand.html>



Anwendung der hplib

Verteilung des maximalen Netzbezugs getrennt nach Standort und Gebäudetype

- Wärmepumpen in **Neubauten** und gut **sanieren Altbauten** mit Flächenheizungen sollten bei **Auslegung** auf die **Normheizlast** auch bei flächendeckendem Einsatz **kaum** für nennenswerte **Probleme** im Verteilnetz sorgen.
- Im **Bestand** bleibt die **Herausforderung** (noch) sehr hoch. **Positiv** zeigen sich jedoch in der Praxis die Verbreitung von Propangas-Wärmepumpen (**R-290**) und zu **groß dimensionierte Heizflächen**.

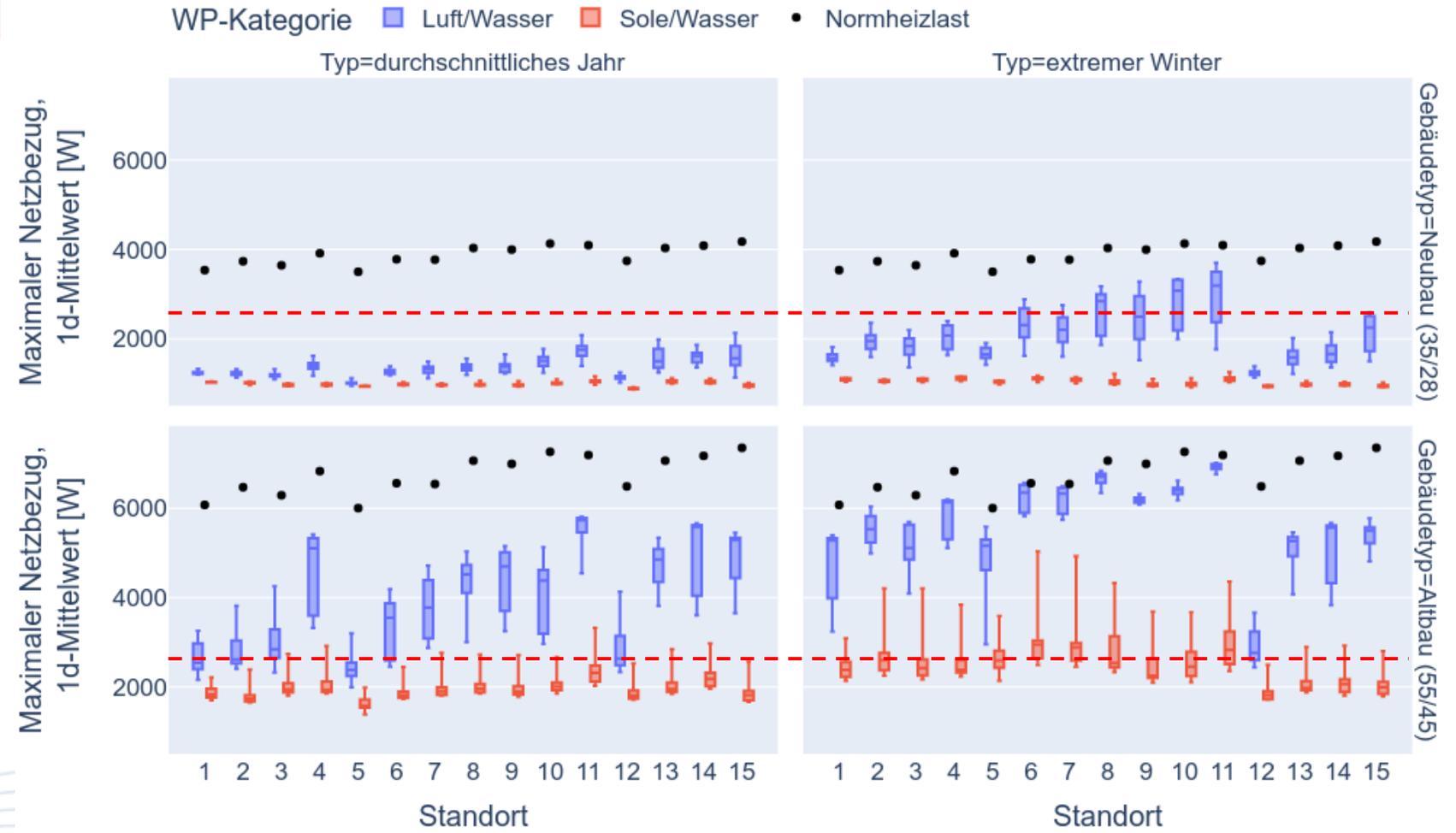


Anwendung der hplib

Verteilung des maximalen Netzbezugs getrennt nach Standort und Gebäudetype

Annahme eines kritischen Netzbezugs mit 2,5 kW pro Gebäude

- Wärmepumpen in **Neubauten** und gut **sanieren Altbauten** mit Flächenheizungen sollten bei **Auslegung** auf die **Normheizlast** auch bei flächendeckendem Einsatz **kaum** für nennenswerte **Probleme** im Verteilnetz sorgen.
- Im **Bestand** bleibt die **Herausforderung** (noch) sehr hoch. **Positiv** zeigen sich jedoch in der Praxis die Verbreitung von Propangas-Wärmepumpen (**R-290**) und zu **groß dimensionierte Heizflächen**.



Anwendung der hplib

Verteilung der bilanziellen Stromkosten: Abhängigkeit des Gebäudetyps und Speicherkapazität

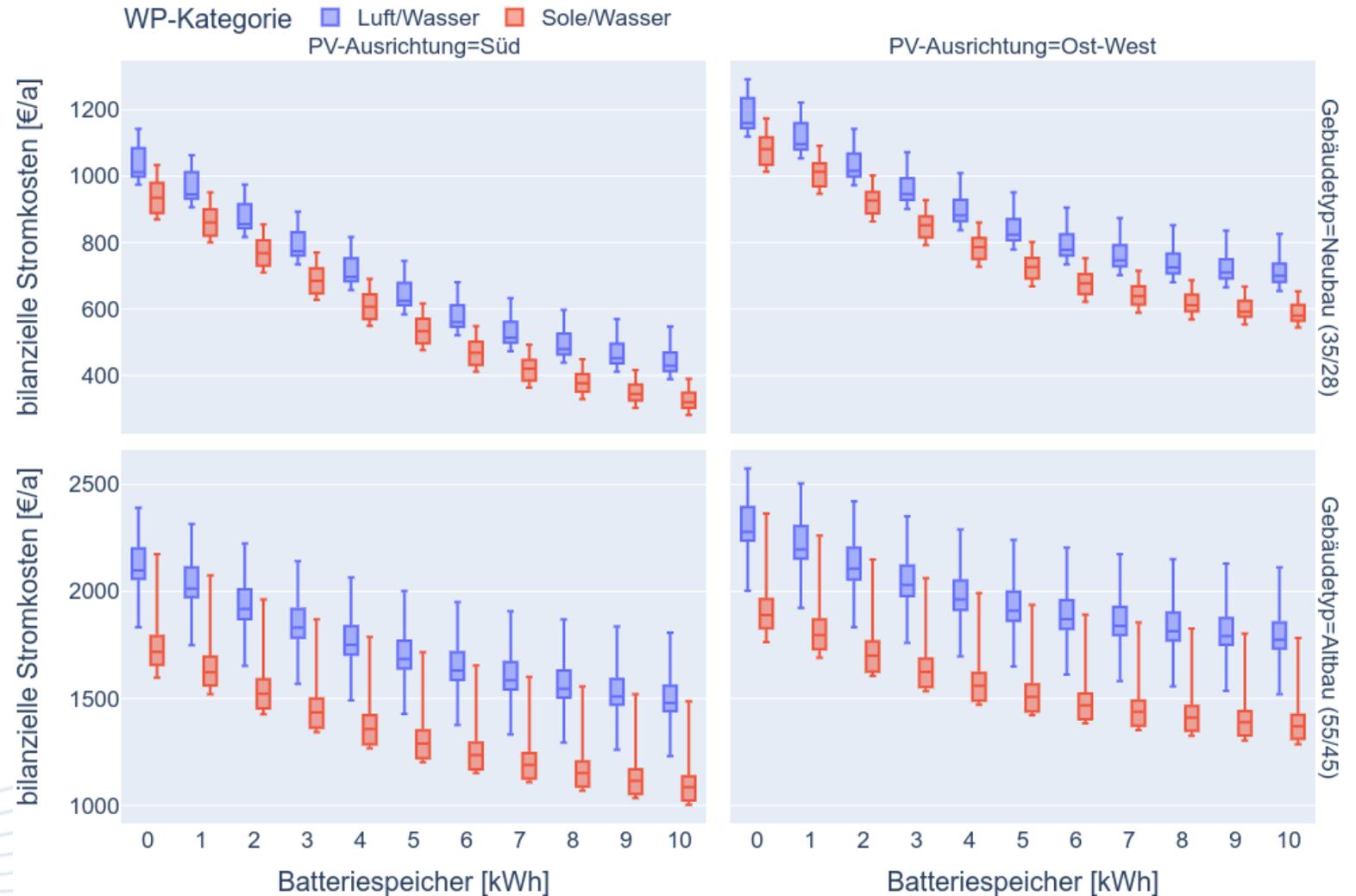
Bilanzielle Stromkosten

= Netzbezugskosten – Einspeisevergütung

Berechnungsannahmen

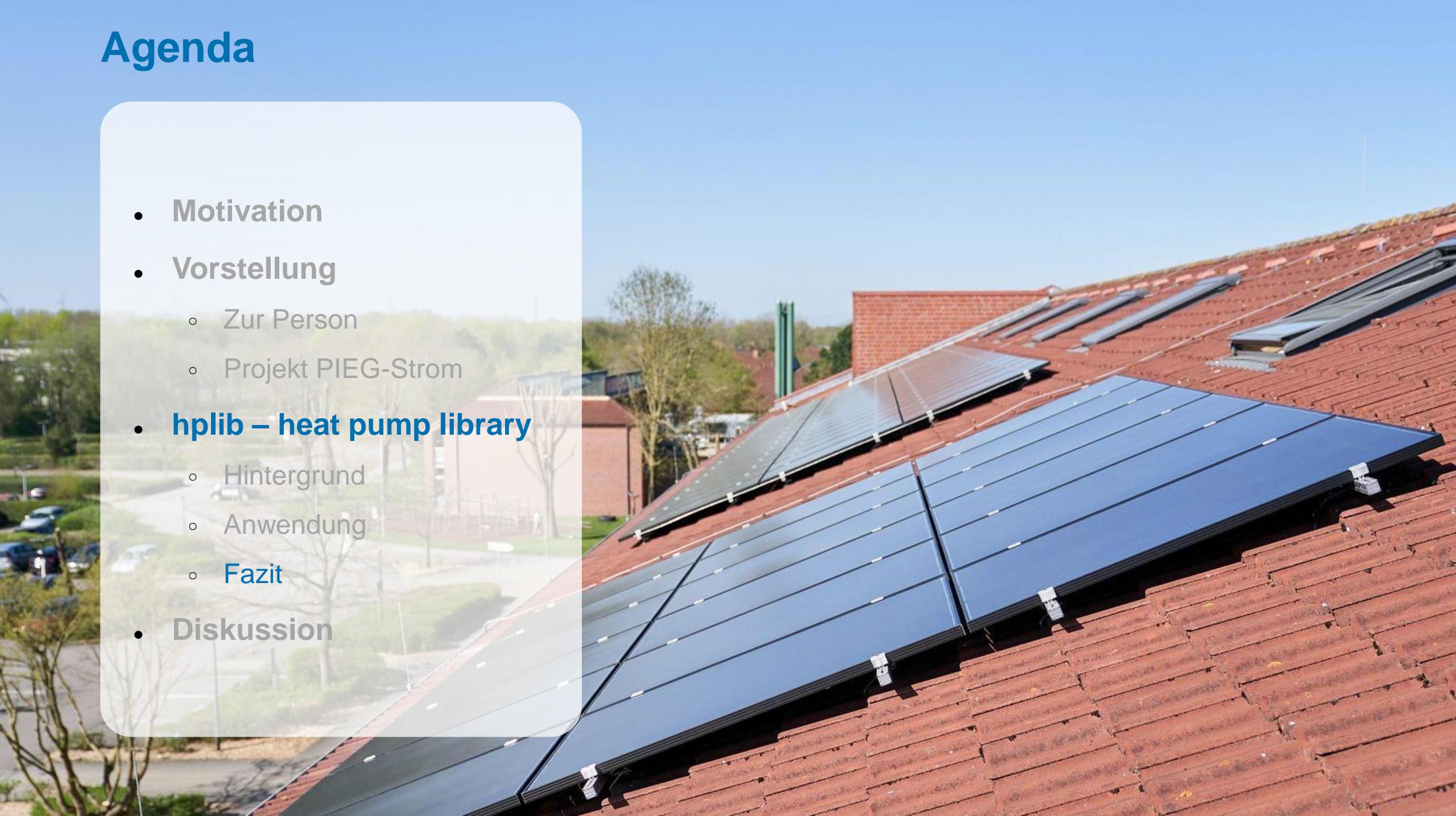
- 4000 kWh Haushaltsstromverbrauch
- 10 kWp Photovoltaik, Standort Potsdam
- 6,5 Cent/kWh Einspeisevergütung
- 35 Cent/kWh Netzbezug

- **Batteriespeicher** und **Wärmepumpen** führen zu einem verstärktem **Vorteil** von **Süd-Ausrichtungen** gegenüber Ost-West.
- Vor allem in Bestandsgebäuden kann die Auswahl einer **konkreten Wärmepumpe** einen **größeren Einfluss** haben als mehrere kWh **Batteriespeicher-Kapazität**



Agenda

- Motivation
- Vorstellung
 - Zur Person
 - Projekt PIEG-Strom
- **hplib – heat pump library**
 - Hintergrund
 - Anwendung
 - **Fazit**
- Diskussion



Fazit

- **Photovoltaik-Systeme** (Module, Wechselrichter, Speicher) **unterscheiden sich** zwischen Herstellern und Produkten in **Bezug auf die Betriebseffizienz** bei Prosumer-Anwendungen **deutlich weniger** als Wärmepumpen-Typen und Modelle.
- Vor allem **neue Kältemittel** (wie R32 oder R290) sorgen bei Luft/Wasser-Wärmepumpen für **hohe Effizienzen** und mögliche **hohe Vorlauftemperaturen**. Mittelfristig wird R290 (Propan) auch in Innengeräten und damit Sole/Wasser-Wärmepumpen nochmal für eine verbesserte Effizienz sorgen.
- Es gibt einen Mangel an (freien) Auslegungs-Tools, die die Effizienz-Unterschiede zwischen konkreten Wärmepumpen-Modellen im Systembetrieb quantifizieren und in Kosten umrechnen.
- **Hilfreich** sind offene **Produktdatenbanken**, wie die GET Produktdatenbank (<https://www.produktdatenbank-get.at/>) sowie die neue Produktdatenbank und **Simulationsbibliothek** hplib (<https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/hplib>)
- Zur **schnelleren Verdrängung** von älteren / **ineffizienten Wärmepumpen-Modellen** sollten die **Förderbedingungen** stärker auf die Effizienz, z.B. den SCOP, abzielen. Denkbar wäre auch eine €/kWh-Förderung der quellenseitig entnommenen Energie.

Agenda

- **Motivation**
- **Vorstellung**
 - Zur Person
 - Projekt PIEG-Strom
- **hplib – heat pump library**
 - Hintergrund
 - Anwendung
 - Fazit
- **Diskussion**



„Wer verstanden hat und nicht handelt, hat nicht verstanden.“

Josef Jenni, Schweizer Solarpionier

