

Goslar, 14.06.2016

A photograph of a modern, two-story white passive house with a dark grey tiled roof. Several solar panels are mounted on the roof. The house has large windows with white shutters and a small outdoor seating area with a table and chairs. A blue car is parked in the driveway. The sky is blue with some light clouds.

**Messtechnische Evaluation
einer modernen Strom-
Wärme-Systemlösung
in einem Passivhaus**

Quelle: Arno Kahle

Dipl.-Ing. Matthias Littwin
Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH)

- Motivation und Ziel
- Das Passivhaus
- Messtechnik- und Analysekonzept
- Einige Messergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

- Motivation und Ziel
- Das Passivhaus
- Messtechnik- und Analysekonzept
- Einige Messergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

- Die Wärmewende ist ein bedeutender Teil der Energiewende
- Häuser mit niedrigem Wärmebedarf sind dafür notwendig; Gebäudekonzepte sind vorhanden und werden realisiert.
- Ebenso die einzelnen Komponenten der Haustechnik zur regenerativen, dezentralen Strom- und Wärmeversorgung (residential power-to-heat, RP2H).
- Bislang liegen für solche Gebäude keine zeitlich hoch aufgelösten gemessenen Last- und Erzeugungsprofile unter realen Betriebsbedingung vor (Gleichzeitigkeit).
- Welcher Deckungsanteil ist mit welchen Speichergrößen und welcher Speicherstrategie möglich?

- Energie-Monitoring und damit Aufnahme von Last- und Erzeugungsprofilen der Strom- und Wärmeversorgung eines solaren Passivhauses mit hohem Deckungsanteil
- Bewertung der kombinierten Strom- und Wärmeversorgung dieses Passivhauses im realen Betrieb, insbesondere
 - Gleichzeitigkeit von PV-Stromdargebot und Wärmebedarf
 - das dynamische Betriebsverhalten der Komponenten und
 - die dynamische Interaktion der Komponenten im System
- Bewertung und Optimierung der Systemregelung, um den solaren Deckungsanteil zu maximieren

- Motivation und Ziel
- **Das Passivhaus**
- Messtechnik- und Analysekonzept
- Einige Messergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Das Passivhaus steht im „zero:e park“ in H-Wettbergen, Europas größter Null-Emissionssiedlung.

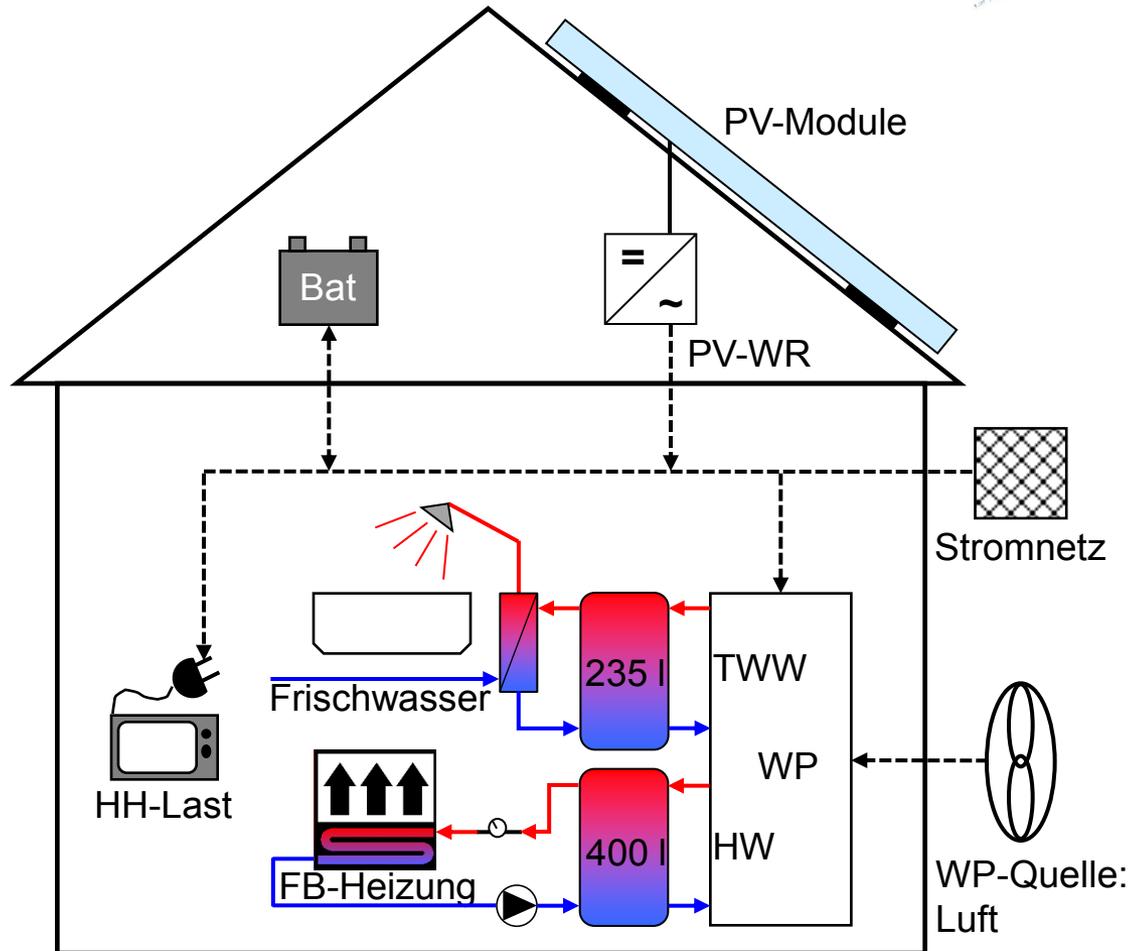
- Gebäudedaten:**
- **Baujahr 2015**
 - **Passivhausstandard**
 - **Wohnfläche: 128 m²**
 - **Bewohner:**
Berufstätiges Ehepaar

Quelle: Arno Kahle

- Stromversorgung (zusätzlich zum Netzanschluss):
 - PV-Anlage mit 7,2 kW, Süd- und West-Ausrichtung
 - Batteriespeicher mit 2,5 kW maximale Be- und Entladeleistung und 4 kWh nutzbare Kapazität
- Hoher Stromverbrauch durch mehrere Server

- Wärmeversorgung:
 - Luft-Wasser-Wärmepumpe (4,3 kW therm. bei A2/W35)
 - Trinkwasserspeicher (235 l)
 - Pufferspeicher (400 l) im Winter als Heizungspuffer, im Sommer als Kältepuffer betrieben
 - Fußbodenheizung
 - Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Das Passivhaus Gesamtsystem, schematisch

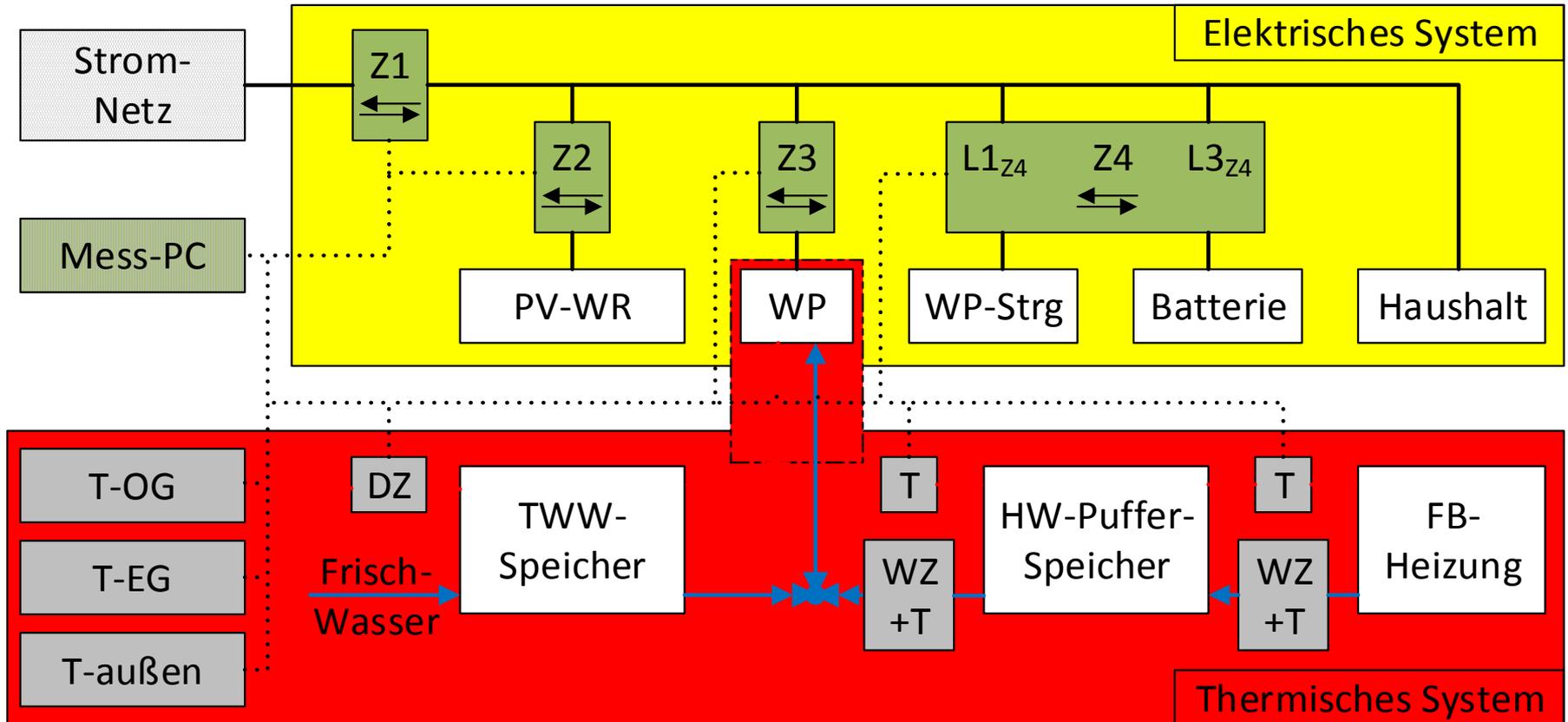


- Motivation und Ziel
- Das Passivhaus
- **Messtechnik- und Analysekonzept**
- Einige Messergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

- Zeitlich hoch aufgelöste Daten
 - liefern Erkenntnisse zum dynamischen Betriebsverhalten der Komponenten und des Gesamtsystems,
 - ermöglichen exakte Modellbildung der Komponenten und Systemsimulationen und
 - ermöglichen detaillierte Optimierungen solcher Anlagenkonzepte z. B. auf den solaren Deckungsanteil, den Eigenverbrauchsanteil, oder die Arbeitszahl der Wärmepumpe.

- Zentrale Messdatenerfassung im Passivhaus
- Zentrale Datenbank am ISFH für den Zugriff auf Monitoringdaten mehrerer Gebäude
- Alle wesentlichen Wärme- und Kälteströme werden in einem 15 s-Intervall gemessen
- 4 Zweirichtungsstromzähler erfassen in einem 1 s-Intervall 3-phasig alle wesentlichen elektrischen Größen von Erzeugern und Verbrauchern

Messtechnikinstallation, schematisch



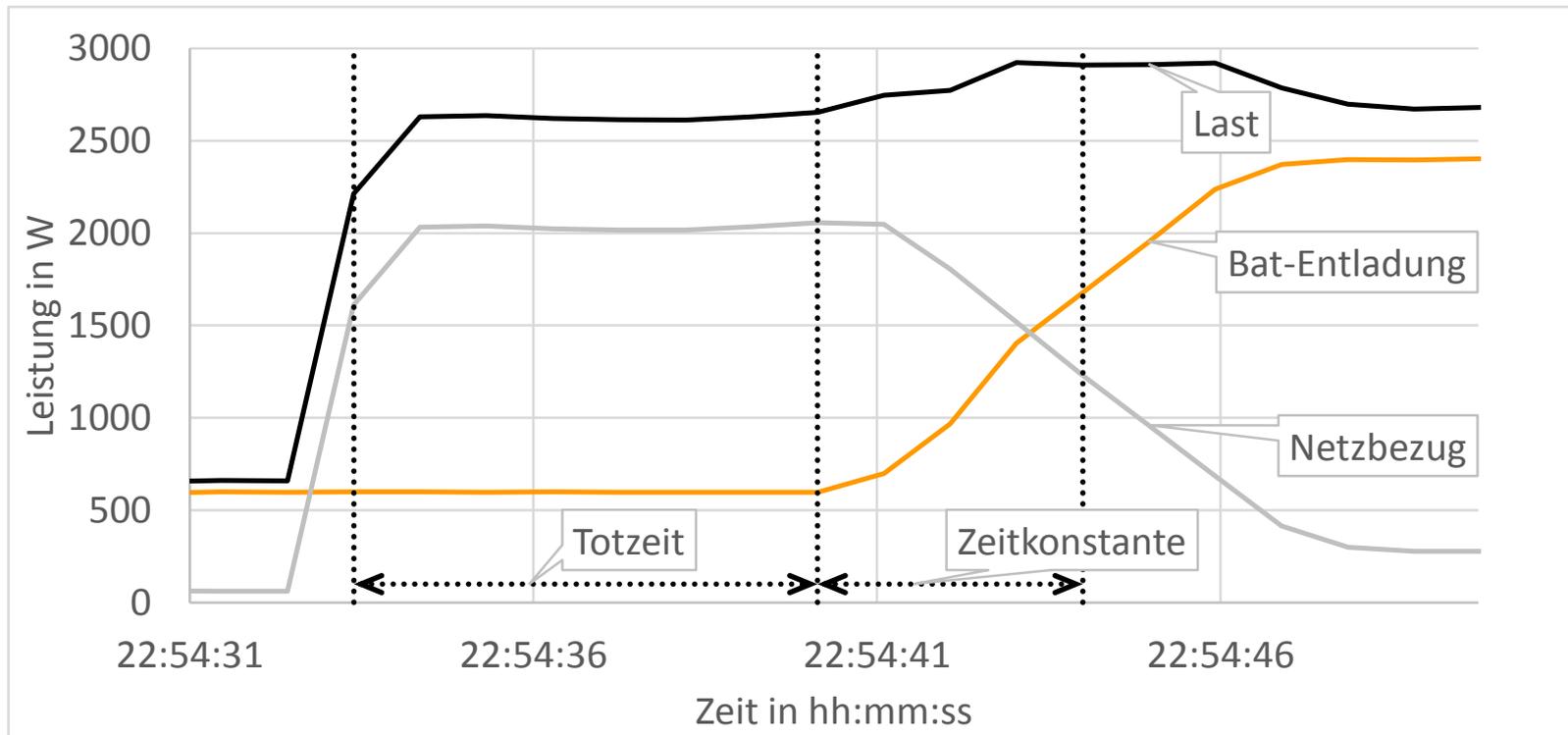
- Motivation und Ziel
- Das Passivhaus
- Messtechnik- und Analysekonzept
- **Einige Messergebnisse**
- Zusammenfassung und Ausblick

Batteriespeicher (SoC > 50 %)

Reaktion auf pos. Lastsprung



- Reaktion auf einen positiven 2 kW Lastsprung



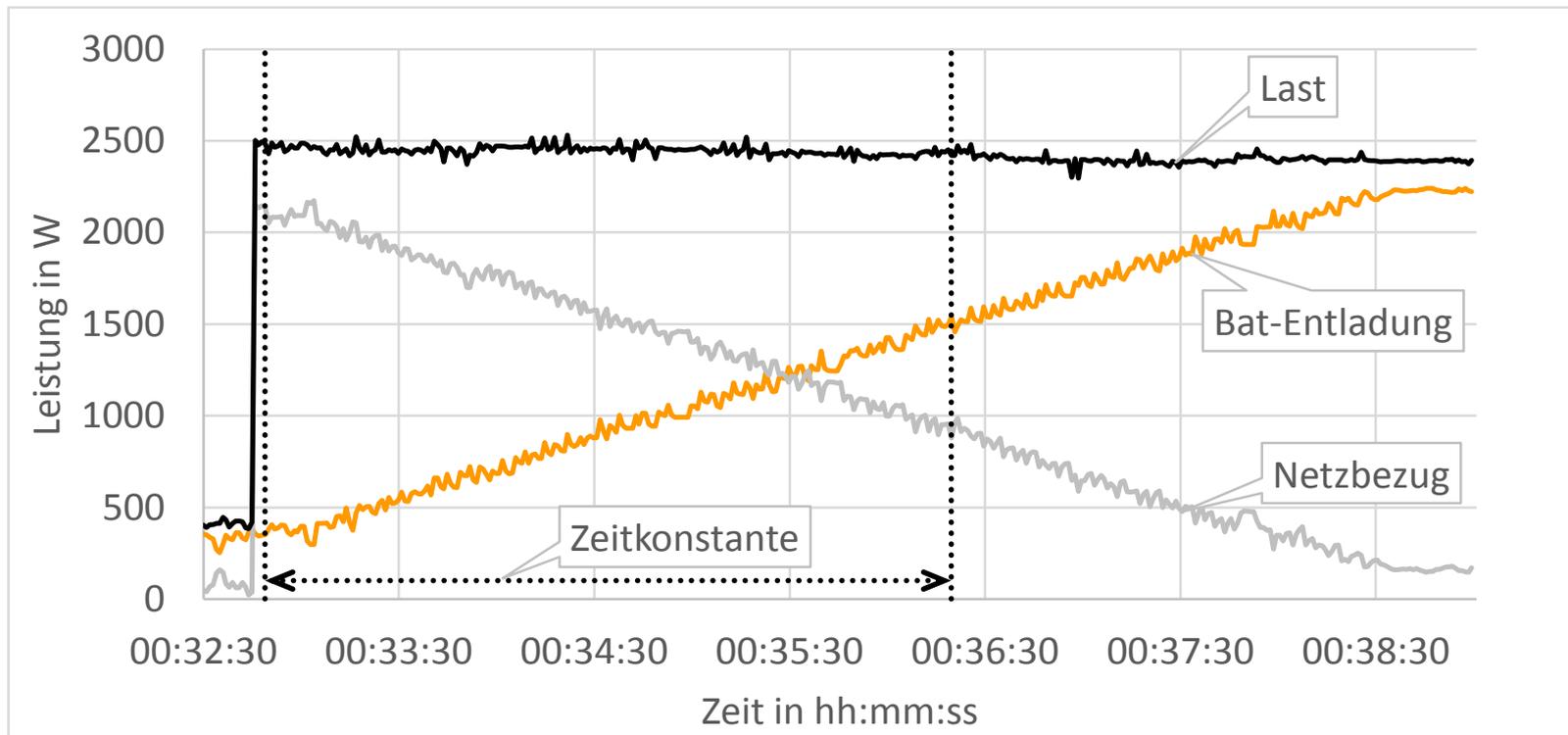
- Totzeit ca. 7 s, Zeitkonstante ca. 4 s, insgesamt ca. 16 s bis der Speicher seinen Endwert erreicht hat.

Batteriespeicher (SoC < 50 %)

Reaktion auf pos. Lastsprung



- Reaktion auf einen positiven 2 kW Lastsprung:



- Totzeit ca. 7 s, Zeitkonstante ca. 3,5 min, insgesamt ca. 5 min bis der Speicher seinen Endwert erreicht hat.

Wärmeversorgung

Pufferspeicher Temperatur



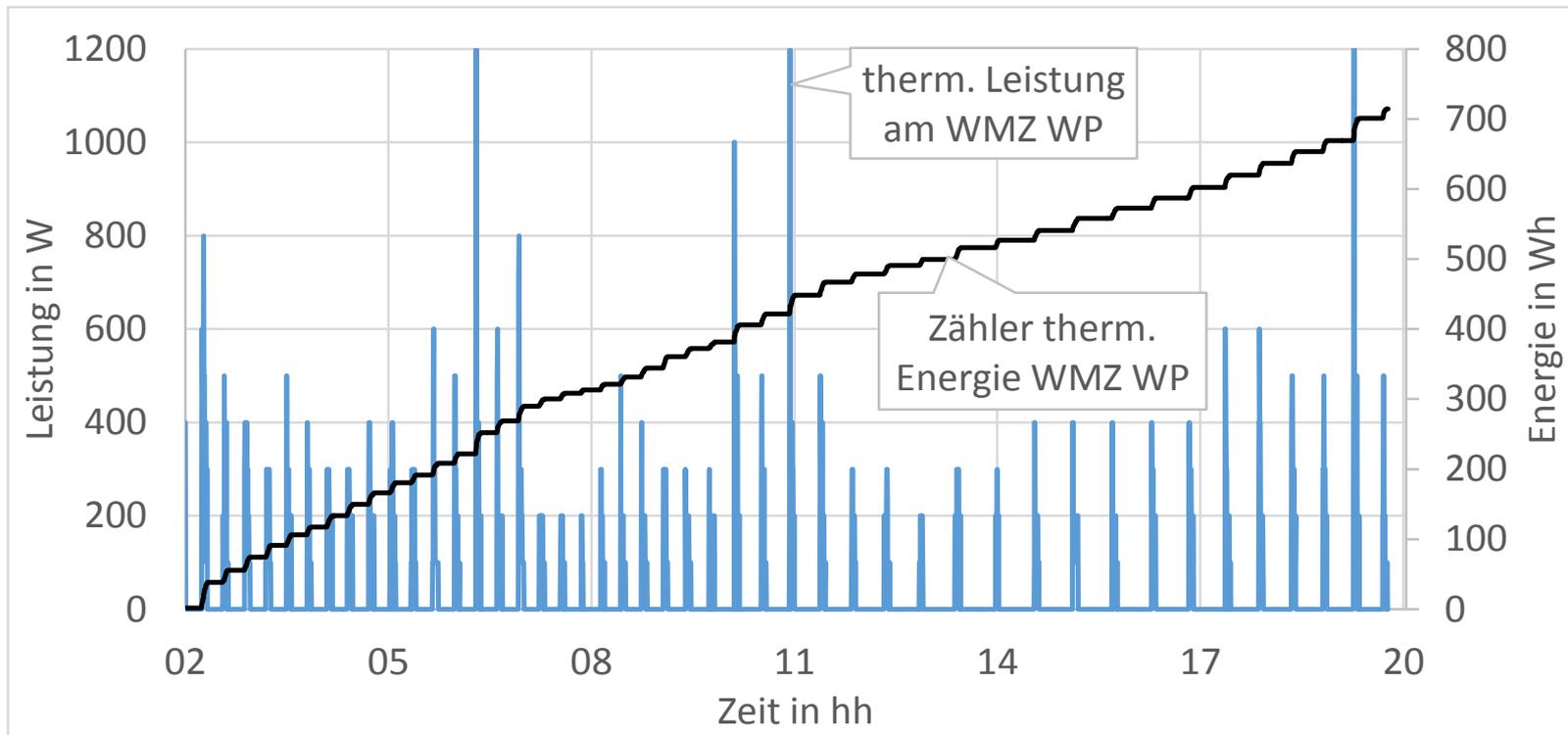
- Keine Temperatursensoren am Pufferspeicher
- Messung der Temperatur im Pufferspeicher erfolgt in der Wärmepumpe durch Rückwärtspumpen des Wärmeträgers
 - Im März 2016 dadurch täglich 1,2 kWh Wärmeverluste (nicht isolierte Leitungen zw. WP und Pufferspeicher)
 - Spez. Wärmeverlust des Pufferspeichers: 3 W/K
 - Über 200 kWh/a ungerichteter Wärmeeintrag in den Hauswirtschaftsraum

Wärmeversorgung

Pufferspeicher Temperatur



- Wärmeverluste zwischen 2 Beladungen des Pufferspeichers



Solarer Deckungsanteil der Gebäudeenergieversorgung

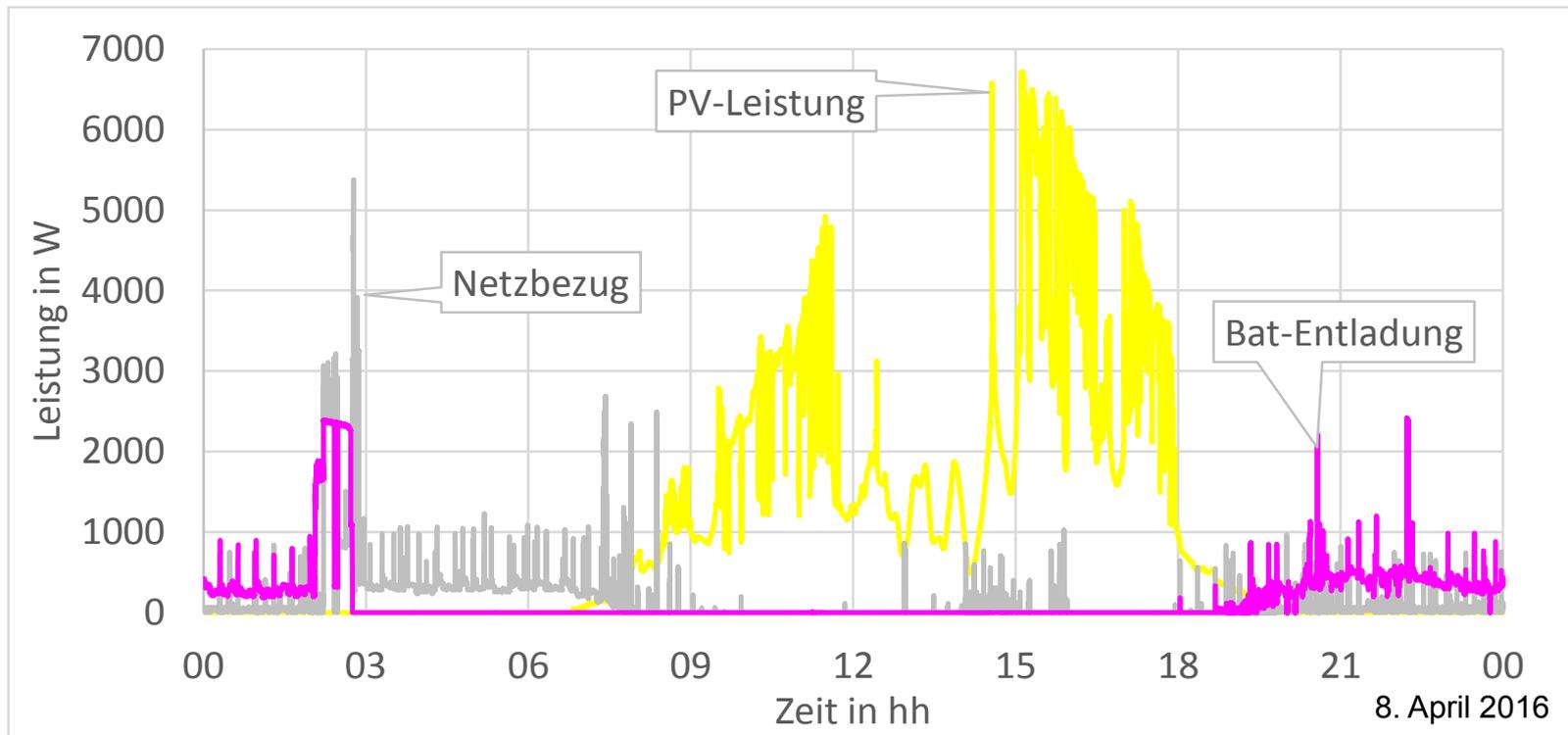


- An einstrahlungsschwachen Tagen im März nur ca. 16%
- An wechselnd bewölkten Tagen im März bis zu 70%

Solarer Deckungsanteil der Gebäudeenergieversorgung

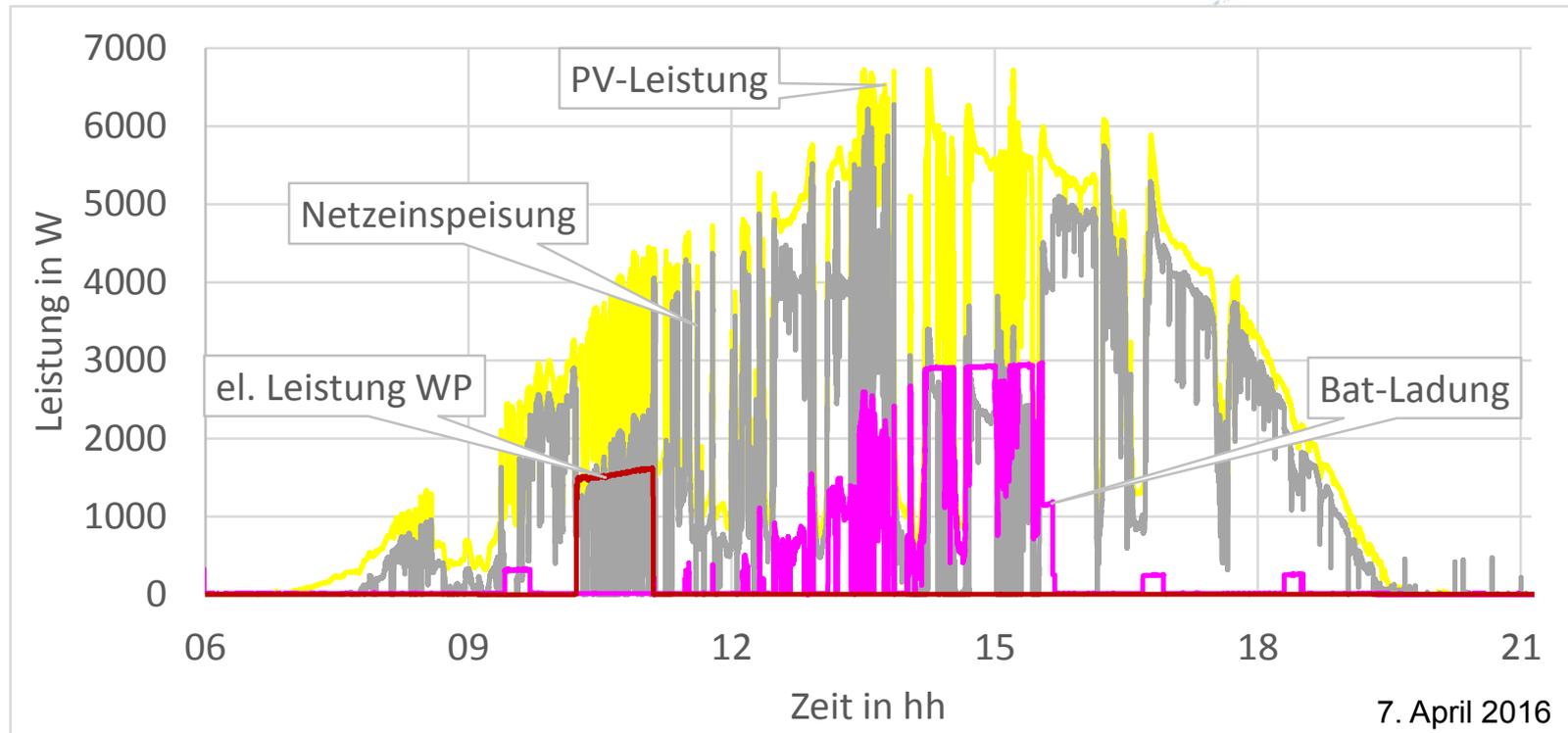


- Erzeugungs- und Lastprofile am 8. April 2016



- An einstrahlungsschwachen Tagen im März nur ca. 16%
- An wechselnd bewölkten Tagen im März bis zu 70%
- Beispiel 8. April 2016
 - Ca. 72% solarer Deckungsanteil durch direkte Nutzung des PV-Ertrags und des Batteriespeichers
 - Netzbezug nur in den Morgenstunden nachdem die Batterie vollständig entladen ist.
 - Ca. 38% solarer Deckungsanteil durch alleinige direkte Nutzung des PV-Ertrags

Aspekt Netzdienlichkeit der Gebäudeenergieversorgung



- Vollständige Beladung der Speicher (je 5 kWh) durch PV-Energie an wechselnd bewölkten Tagen
- Eingeschränkte Netzdienlichkeit bei aktueller Betriebsweise

- Motivation und Ziel
- Das Passivhaus
- Messtechnik- und Analysekonzept
- Einige Messergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

- Der größten Teils unkoordinierte parallele Betrieb der einzelnen Anlagenkomponenten hat im März 2016 einen solaren Deckungsanteil von 64% ermöglicht.
- Ein (prognosebasierter) koordinierter Betrieb bietet Optimierungspotenzial bzgl. des solaren Deckungsanteils und der Netzdienlichkeit.
- Das Potenzial der Nachheizung der Wärmespeicher mittels Heizstäben (Anheben der Speichertemperatur $> 55\text{ °C}$)
- und/oder der Betrieb des Pufferspeichers als Klima-Kältespeicher im Sommer werden untersucht.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!