

Forschungsberichtsblatt (Sachbericht)

Endversion (v1.4 29.09.2021)

Zuwendungsempfänger: Hochschule Offenburg Badstraße 24, 77652 Offenburg Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg im Breisgau	Förderkennzeichen: BWSGD 18001 BWSGD 18002
---	--

Vorhabenbezeichnung:

PV Vorhersagen für netzdienliche Steuerung von Wärmepumpen (PV²WP)

Laufzeit des Vorhabens:

01.07.2018 - 30.06.2021

Berichtszeitraum:

01.07.2018 - 30.06.2021

PV Vorhersagen für netzdienliche Steuerung von Wärmepumpen (PV²WP)

1 Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Der verstärkte Einsatz von Wärmepumpen bei der Realisierung einer klimaneutralen Wärmeversorgung führt zu einer signifikanten Zunahme und Änderung der elektrischen Lasten in den Verteilnetzen. Daher gilt es, Wärmepumpen so zu steuern, dass sie Verteilnetze wenig belasten oder sogar unterstützen.

Inhalt des Projekts „PV²WP - PV Vorhersage für die netzdienliche Steuerung von Wärmepumpen“ (Projektlaufzeit 1.07.2018 – 30.06.2021) war die Demonstration eines neuen Ansatzes zur Steuerung von Heizungssystemen, die auf Wärmepumpen und thermischen Speichern basieren und in Kombination mit einer Photovoltaikanlage betrieben werden. Das übergeordnete Ziel war dabei die Verbesserung der Netzintegration und Smart-Grid-Tauglichkeit entsprechender Heizungssysteme durch eine kostengünstige Technologie bei gleichzeitiger Erhöhung der Wirtschaftlichkeit.

Dabei wurden drei zukunftsweisende Technologien in Kombination genutzt und demonstriert: wolkenkamerabasierte Kurzfristprognosen, prädiktive Steuerung und Regelung sowie machine-learning-basierte Systemmodellierung als Basis für die Optimierung. Als Demonstrationsumgebung diente mit dem Projekthaus Ulm ein real bewohntes Einfamilienhaus.

Als wichtigste technisch-wissenschaftliche Ergebnisse des Projekts lassen sich zusammenfassen:

- (1) Umfangreiche Messdaten zum konventionellen Betrieb eines Heizungssystems mit Wärmepumpe, thermischen Speicher und PV-Anlage wurden analysiert in Hinblick auf Optimierungspotentiale aus Sicht des Hausbesitzers und Netzbetreibers.
- (2) Ein wolkenkamera-basiertes PV-Kurzzeitprognosesystem wurde von Fh-ISE zu einem stabil laufenden Prototyp weiterentwickelt und über mehrere Monate im realen Dauereinsatz getestet. Die Vorhersagealgorithmen wurden optimiert in Hinblick auf
 - a. eine genauere Berechnung der Wolkenbewegungen,
 - b. ein intelligentes Auffüllen von Lücken in den Eingangsdaten unter Verwendung aktueller Strahlungsmessungen,
 - c. eine Anpassung für den Umgang mit teilverschatteten Standorten,
 - d. eine automatische Erkennung von Clear-sky Bildern unter Verwendung von Wolkenhöhenmessungen,
 - e. einen verbesserter Strahlungsalgorithmus basierend auf KI-Methoden.
- (3) Das dynamische Verhalten des komplexen Heizungssystem mit Wärmepumpe, thermischem Speicher, Pelletofen, Fußbodenheizung, Heizkörpern und Warmwasserbezug wurde unter Einsatz von neuronalen Netzen modelliert und somit für Simulationsrechnungen und modellbasierte Optimierungen zugänglich gemacht.
- (4) Methoden des maschinellen Lernens wurden auch genutzt, um Vorhersagen für thermische Lasten zu ermöglichen und gestörte Messsignale zu bereinigen.
- (5) Die PV-Kurzzeitvorhersage wurde mit zwei unterschiedlichen Methoden für die vorausschauende Steuerung und Regelung des Heizungssystems verwendet:
 - a. Einerseits wurde die wolkenkamera-basierte 15 min- Vorhersage aus (2) zusammen mit einem vorausschauenden regelbasierten heuristischen Regler verwendet um den PV-Eigenverbrauch zu erhöhen.
 - b. Andererseits wurde die PV-Kurzfristvorhersage aus (2) durch weitere Datenquellen wie Satelliten zu einer 24h-Kombivorhersage erweitert und dann in Kombination mit einer modellprädiktiven Regelung verwendet. Dieser fortschrittlichere Ansatz erlaubt es, auch komplexere Optimierungsziele zu verfolgen und dabei komplizierte Randbedingungen zu beachten. Dabei kamen die Modelle aus (3) sowie die Vorhersagen und Datenbereinigungen aus (4) zum Einsatz. Beide Methoden wurden im Rahmen von kurzen überwachten Testreihen im Projekthaus demonstriert. Ein nicht überwachter Dauerbetrieb konnte leider nicht realisiert werden.
- (6) Eine Potentialabschätzung für ein Verteilnetz mit 100 Einfamilienhäusern wurde durchgeführt. Dabei kamen die im Projekt neu entwickelte flächige PV-Vorhersagen wie auch die Modelle des dynamischen Verhaltens von Heizungssystemen zum Einsatz.

2 Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?

Nach bestem Wissen der Projektbearbeiter*innen wurde im Projekt erstmalig eine Wolkenkamera-basierte PV-Vorhersage für die Steuerung eines Energiesystems in einem real bewohnten Wohnhaus demonstriert. Damit wurden mit dem Projekt Ergebnisse des früheren Stands der Wissenschaft und Technik (sowohl in Bezug auf Wolkenkamera-Vorhersagen als auch in Bezug auf vorausschauende Regelungen) von simulativen oder Laborumgebungen auf eine reale Wohnumgebung übertragen. Als Fazit ergibt sich also, dass im Projekt eine neue vorausschauende Regelungslösung für lokale Energiesysteme mit Wärmepumpen-basierten Heizsystemen und Fotovoltaikanlagen entwickelt und in einem realen Einfamilienhaus demonstriert wurde.

Dazu wurden verschiedene innovative Technologien (wolkenkamera-basierte 15 min Vorhersage und 24 h Kombivorhersage der Solarleistung, vorausschauende heuristische Regelung sowie modell-prädiktive Regelung des Heizsystems unter Nutzung von Methoden des maschinellen Lernens zur Modellierung, Lastvorhersage und Signalbereinigung) kombiniert, weiterentwickelt, in eine Praxisanwendung überführt und demonstriert.

Das Projekt beinhaltete auch die simulative Untersuchung eines Verteilnetzes mit 100 Haushalten und starker Durchdringung mit Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen, wobei die im Projekt entwickelten Modelle und Methoden genutzt wurden. Diese Untersuchung lieferte interessante Erkenntnisse für Netzbetreiber, wie beispielsweise die Häufigkeit von Lastspitzen durch Koinzidenz von Wärmepumpenbetrieb und elektrischem Laden, die in der turnusmäßigen Überarbeitung der Planungsgrundsätze in die Praxis übernommen wurden.

3 Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen

Eine Analyse historischer Betriebsdaten ergab, dass die Lastspitzen-Problematik für den Netzbetrieb durch Koinzidenz von Betriebsströmen von Wärmepumpen und Solarleistungseinbrüchen weit geringer ist als ursprünglich vermutet und die im Projekt entwickelte Regelungslösung daher für diesen spezifischen Anwendungsfall nur ein geringes Potential zur Verbesserung des Netzbetriebs entwickelt kann. Die entwickelten Technologien versprechen aber ein großes Anwendungspotential für die Regelung von lokalen Energiesystemen, die Solarstrom als wesentliche Energiequelle nutzen und bei denen komplexe Regelungsaufgaben zu bewältigen sind (z.B. komplexe Optimierungsziele und einzuhaltende Nebenbedingungen, ganzheitliche Regelung verschiedener Komponenten wie Wärmepumpen, Heizstäben, elektrischen Speichern, Ladesäulen, etc.). Sie scheinen daher gerade auch für SmartGrid-Anwendungen, die auch auf ein netzdienliches Verhalten des lokalen Energiesystems abzielen, besonders geeignet.

4 Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen

Die Projektergebnisse wurden in Rahmen von zwei Konferenzbeiträgen, einer Journal-Veröffentlichung sowie in zwei speziell organisierten Stakeholder-Workshops der Fachöffentlichkeit vorgestellt [1,2,3,4], ein Journal-Paper ist in Vorbereitung [5].

Die im Projekt weiterentwickelten Solarstrahlungs-Kurzfristvorhersage und Kombivorhersagen sind universell und branchenübergreifend einsetzbar, für alle Situationen, in denen lokale Einstrahlungsvorhersagen für die Steuerung lokaler Energiesysteme einen Vorteil bringen. Ebenso ist der Einsatz von modellprädiktiven Regelungsansätzen für die Steuerung lokaler Energiesysteme sehr aussichtsreich, wenn die bislang noch hohen Hürden für eine praktische Implementierung überwunden werden können. Dazu wurden erste Beiträge im Projekt geleistet. Für die Weiterentwicklung und weitere Nutzung der Projektergebnisse sind daher von den Projektbeteiligten Folgeprojekte aus dem R&D mit entsprechenden Nutzergruppen insbesondere aus der Wirtschaft angestrebt, wobei nun der Fokus auf höhere Technical-Readiness-Stufen gelegt werden soll. Dabei sollen v.a. Firmen aus dem Bereich Home-Automation, Energiemanagement und Verteilnetzbetrieb adressiert werden.

Publikationen (erschienen):

- [1] Dittmann, A., Kober, P., Lorenz, E. Mier, O. V., Ruf, H. & Schmidt, M. (2019) Optimierung der PV-Speisung von Wärmepumpen durch Kurzfristprognosen mit Wolkenkameras. In: Conexio GMBH: PV-Symposium. Pforzheim, pp. 433–452.
- [2] Mier, O. V. and Ruf, H. and Dittmann, A. and Kober, P. and Lorenz, E. & Schmidt, M. (2020) Systemmodellierung und Simulation zur Optimierung der PV-Speisung von Wärmepumpen durch Kurzfristprognosen mit Wolkenkameras. In: Conexio GmbH, C. (Ed.) Online-PV-Symposium. Pforzheim, pp. 399–414.
- [3] Mier, O. V., Niro, S., Alpi, F., Gasper, R. & Schmidt, M. (2021) Model-Predictive Control of a Residential Heating System with Machine-Learning based Models, Forecasts and Signal-Processing. Accepted for publication in Proceedings of the Upper-Rhine Artificial Intelligence Symposium 2021.
- [4] Dittmann, A., Holland, N., Lorenz, E. (2020). A new sky imager based global irradiance forecasting model with analyses of cirrus situations, Meteorologische Zeitschrift, Online: 10.1127/metz/2020/1024.

Publikationen (geplant):

- [5] Dittmann, A., Mier, O. V., Ruf, H., Kober, P., Schmidt, M., Lorenz, E., Gasper, G. (2021): Model-Predictive Control of a Building with Short-Term Solar Power Forecast

Patente

Im Rahmen des Projekts sind keine Patentanmeldungen geplant.

Dissertation im Zusammenhang mit dem Projekt:

- [6] Straub, N. (2020) Sky imager based modelling of solar irradiance using spatially distributed irradiance measurements and machine learning. Master thesis, Freiburg, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.

Studentische Arbeiten:

- [7] Alpi, F. (2021): Machine Learning for real-time signal processing and prediction of fresh water demand of a single family house; Master Thesis, Hochschule Offenburg.
- [8] Schad, P. (2018): Analyse von Betriebsdaten einer Wärmepumpe zur Identifizierung von Optimierungsoptionen. Bachelor Thesis Hochschule Offenburg.