

# PVSwarm

Self-Adaptive Cross-Agent Intelligence for Photovoltaic Systems

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Digitale Technologien, Digitale Technologien, Digitale Schlüsseltechnologien: Ausschreibung 2022	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.01.2024	<b>Projektende</b>	31.12.2026
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2026	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Photovoltaik Systeme; Schwarmintelligenz; Maschinelles Lernen; Energieeffizienz Steigerung		

## Projektbeschreibung

Die Stromerzeugung aus Photovoltaik (PV) und der Bau von PV-Anlagen haben durch die aktuelle Energiekrise und die seit Jahren zunehmenden Umweltschutzinitiativen stark zugenommen. PV-Anlagen werden zu einem wesentlichen Bestandteil des Stromnetzes der EU. Obwohl die Leistung von Solarkraftwerken weiter zunimmt, werden die meisten PV-Anlagen derzeit nur sehr rudimentär überwacht. Eine zuverlässige Überwachung und Steuerung dieser Anlagen ist jedoch entscheidend, um auf potenzielle Probleme so früh wie möglich zu reagieren und ihre Leistung aufrechtzuerhalten. Es gibt mehrere physikalische Effekte und technische Einschränkungen, die die Effizienz von Photovoltaiksystemen beeinträchtigen, einschließlich lichtinduzierter Degradation (LID), die zu einem Verlust von 0,5 % bis 1,5 % der Gesamteffizienz führt, oder das Auftreten von Schnee, Eis oder Ablagerungen (Staub und Schmutz), wobei der Einfluss des Verschmutzungsverlusts zwischen 1,5 und 6,2 % [KIMBER2006] des Wirkungsgrads der PV-Anlage liegt. Dieser Wirkungsgradverlust führt zu einem effektiv geringeren Energieertrag und neben einem monetären Schaden zu weniger in das Stromnetz eingespeister Sonnenenergie.

Das Erkennen von abnormalem Verhalten in einer PV-Anlage ist jedoch eine komplexe Aufgabe, da viele Variablen berücksichtigt werden müssen (Temperatur, Sonneneinstrahlung, Hardwarealterung, Defekte verschiedener Komponenten, usw.). Um ein präzises Überwachungssystem zu realisieren, müssten daher alle beteiligten Komponenten einschließlich ihrer gegenseitigen Wechselwirkungen modelliert werden. Derzeit ist keine Überwachungstechnologie verfügbar, die solche komplexen Systeme modellieren kann. Dennoch hat uns die jahrelange Erfahrung gezeigt, dass maschinelles Lernen und selbstorganisierende Algorithmen mit solchen NP-schweren Problemen umgehen und gute Lösungen für solche hochkomplexen Probleme finden können.

Die Innovation von PVSwarm besteht darin, die PV-Anlage als selbstorganisierendes System mehrerer interagierender (physischen oder abstrahierten Software-) Agenten zu modellieren. Daher werden wir in PVSwarm die Vorteile zweier leistungsstarker KI-Methoden, maschinelles Lernen und Schwarmintelligenz, zu einem selbstadaptiven System kombinieren, das durch agentenübergreifende Vergleichbarkeit autonom lernt. Wir modellieren die PV-Anlage als einen heterogenen Schwarm interner Agenten (PV-Anlagen und -Strings, Wechselrichter, Sensoren und Aktoren usw.), die miteinander und mit externen Agenten (Wettervorhersage, Geoinformationen, usw.) interagieren. Dafür verwenden wir maschinelles Lernen (ML), um den Zustand eines einzelnen PV-Strings zu analysieren. Ein ML-Modell, das mit aktuellen halbüberwachten Lernmethoden

trainiert wird, analysiert mehrere Eingangsmerkmale (Stringstrom, Spannung, Plane-of-Array-Einstrahlung, Außen- und Modultemperatur, usw.) und berechnet Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Fehlermodi am PV-Array oder auf String-Ebene. Dann bilden die Agenten heterogene Schwärme, die gemeinsame Merkmale aufweisen (z. B. gemeinsame Orientierung, Geoinformationen, Hardwareinformationen des PV-Anlagenherstellers). Diese gemeinsamen Merkmale definieren eine Nachbarschaft und ermöglichen eine agentenübergreifende Vergleichbarkeit, die zur Verbesserung der Zustandsschätzung der einzelnen Strings verwendet werden kann. Anhand dieser Informationen können wir globale Einflussfaktoren (z. B. Wetter, Jahreszeit, Sonnenstand) von Problemen unterscheiden, die an einzelnen Strings auftreten, wie z. B. Kurzschluss, Alterung oder Verschattung. Diese Schlussfolgerungen können direkt von einem intelligenten Wartungsmanagementsystem (z. B. zur Planung von Wartungsintervallen) oder einem Informationssystem verwendet werden, das z. B. Informationen über die zu erwartende Leistung liefert.

Durch die Kombination der Vorteile dieser beiden Ansätze, Lernfähigkeit und agentenübergreifende Vergleichbarkeit durch Schwarmintelligenz, können wir die Gesamtenergieeffizienz steigern, die direkt der Energieunabhängigkeit entspricht.

## **Abstract**

Power generation from photovoltaic (PV) and the construction of PV systems have increased significantly due to the current energy crisis and years of growing environmental protection initiatives. They are becoming an essential part of the EU's electricity grid. Although the capacity of solar power plants continues to increase, most PV systems are currently only monitored at a very basic level. However, reliable monitoring and control of these plants is critical to respond to potential problems as early as possible and maintain their performance. There are several physical effects and technical limitations that degrade the efficiency of photovoltaic systems, including Light Induced Degradation (LID) that results in losses of 0.5% - 1.5% in overall efficiency, or the occurrence of snow, ice or debris (dust and dirt) where the impact of soiling loss ranges from 1.5 to 6,2% [KIMBER2006] of the PV system's efficiency. This loss of efficiency leads to an effectively lower energy yield and, in addition to monetary damage, less solar energy transmitted into the power grid.

However, detecting abnormal behavior in a PV plant is a complex task, as many variables have to be taken into account (temperature, solar irradiance, hardware aging, defects of various components, etc.). Therefore, in order to create a precise monitoring system, all contributing components would have to be modeled, including their mutual interactions. Currently there is no monitoring technology available that is able to model such complex systems. Nevertheless, years of experience showed us that machine learning and self-organizing algorithms can handle such NP-hard problems and find good solutions for these kinds of highly complex problems.

PVSwarm's innovation is to model the PV plant as a self-organizing system of multiple interacting types of "literal" (physical or abstracted software) agents. Therefore, in PVSwarm we will combine the benefits of two powerful AI methods, machine learning and swarm intelligence, to form a self-adaptive system that learns autonomously using cross-agent comparability. We model the PV plant as a heterogeneous swarm of internal agents (PV arrays and strings, power inverters, sensors and actuators, etc.) that interact with each other and with external agents (weather forecast, geo information, etc.). We use machine learning (ML) to analyze the condition of an individual PV string. An ML model, which is trained by current semi-supervised learning methods, analyzes several input features (string current, voltage, plane-of-array irradiance, external und module temperature, etc.) and computes probabilities for various failure modes on PV array or string level. Then, the agents form heterogeneous swarms that have common characteristics (e.g., common orientation, geo information, PV plant manufacturer hardware information). These common characteristics define a neighborhood, and allow a cross-agent comparability which can be used to improve the state estimation of the individual strings. Using this information we can distinguish global influence factors (e.g., weather, time of the year, sun position) from problems that arise on individual

strings, such as short circuits, aging or shading. These conclusions can be directly used by an intelligent maintenance management system (e.g., to plan maintenance intervals) or an information system that provides information on, e.g., the performance to be expected.

Combining the benefits of these two approaches, learning ability and cross-agent comparability and reasoning using the emergence of swarm intelligence, will allow us to increase the overall energy efficiency that directly corresponds to energy independence.

### **Projektkoordinator**

- Lakeside Labs GmbH

### **Projektpartner**

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
- W.I.R. Sonnen Contracting GmbH
- Novunex GmbH
- CAMPUS 02 Fachhochschule der Wirtschaft GmbH