

## SwarmIn

Swarm Intelligence and Combinatorial Optimization for Energy Efficient and Adaptive Industry 4.0

|                                 |   |                        |               |
|---------------------------------|---|------------------------|---------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | Produktion der Zukunft, Produktion der Zukunft, 41. Ausschreibung Produktion der Zukunft (KP)                         | <b>Status</b>          | abgeschlossen |
| <b>Projektstart</b>             | 01.09.2022  | <b>Projektende</b>     | 31.08.2025    |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2022 - 2025   | <b>Projektlaufzeit</b> | 36 Monate     |
| <b>Keywords</b>                 | Swarm Intelligence, Artificial Intelligence, Industry 4.0, Energy and Resource Efficiency, Combinatorial Optimization |                        |               |

### Projektbeschreibung

Klimaschutzziele bei steigender Energie- und Ressourcennachfrage, wie auch Ressourcenknappheit, motiviert Energie- und Ressourceneffizienz besonders im Industriesektor. Industrie 4.0 und Cyber-Physische Fertigungssysteme ermöglichen nicht nur Echtzeitinteraktion, künstliche Intelligenz (KI) und vereinfachte Überwachungsfunktionen, sie werden über die Verfügbarkeit von Echtzeitdaten und der Berechnung On-The-Edge auch als Möglichkeit zur Verbesserung von Energie- und Ressourceneffizienz betrachtet. Die Komplexität wird durch die hohe Produktvielfalt zusammen mit historischem Wachstum einer Industrieanlage weiter erhöht und führt zu einem NP-harten Problem. Die derzeitige Situation in der Halbleiterindustrie erfordert ein Scheduling von vielen Maschinenschritten (rund 400 bis 1.200 verschiedene Stationen). Diese produzieren oft mehr als 1.500 Produkte in rund 300 verschiedenen Prozessschritten. Lineare Optimierungsmethoden kommen nicht mit dem hoch komplexen, großen und dynamischen Suchraum aufgrund ihrer exzessiven Berechnungszeit klar. Diese Methoden können nur auf Teile der Fabrik angewendet werden, aber nicht das gesamte Systemverhalten berücksichtigen, und somit nicht das gesamte Optimierungspotential ausnützen.

Das Hauptziel in SwarmIn ist das Ausbalancieren der WIP Wellen und des Flussfaktors mithilfe der Optimierung der Produktionsanlage mit zusätzlichen Parametern für die Energie- und Ressourceneffizienz. Um dieses Ziel zu erreichen, wird als erstes High-Level Optimierung (kombinatorische Optimierung) für die globale Schätzung von Konfigurationsparametern angewendet. Diese reduziert den Suchraum und wird dann als zweites als Input für die Low-Level Optimierung verwendet, die Multi-Agenten, Bottom-Up Schwarmintelligenz Algorithmen anwendet. Dies wiederum stellt eine Innovation dar, da gemischte Schwärme bestehend aus Agenten von Cyber-Physischen Systemen (CPS, wie z.B. Maschinen oder Lots) und Menschen, und ihre Auswirkungen auf Energie- und Ressourceneffizienz vorher in diesem Umfeld noch nicht untersucht wurden. In der Low-Level Optimierung wird jeder Agent mit einem Satz an lokalen Regeln ausgerüstet. Die Verbindung zwischen High- und Low-Level Optimierung ist eine Neuheit, für die die Produktionsanlage als selbstorganisierendes System von Agenten modelliert wird.

Die Low-level Optimierung basiert auf Schwarmintelligenz, einem Teilgebiet der KI, und somit auf lokalen Regeln auf Maschinen oder Losen, wohingegen die High-Level Optimierung zentral erfolgt, z.B., als Cloud-basierter Service eng verbunden mit einem globalem ERP System. Beide Level sind stark miteinander über (drahtlose) Kommunikation verbunden, wobei 5G eine Technologie darstellen kann, welche die Industrie 4.0 Anforderungen hinsichtlich Latenz und Zuverlässigkeit

erfüllen kann. Zusätzlich werden Parameter zur Messung der Energie- und Ressourceneffizienz mithilfe von Retrofit-Sensoren im Produktionsprozess und Feedback von menschlichen Akteuren identifiziert. Neben der Analyse dieser Parameter ist es eine Innovation diese mit der High- und Low-Level Optimierung zu kombinieren und so Energie- und Ressourcen-basiertes reaktives Verhalten für CPSs und Mensch (-Maschinen) Interaktionen im Produktionsprozess zu erzeugen. Das übergeordnete Resultat von SwarmIn sind Algorithmen und Simulationen für die High- und Low-Level Optimierung in Form von Software Bibliotheken, welche sich der hohen Komplexität in der Produktion in Industrie 4.0 und ihren Anforderungen hinsichtlich Energie- und Ressourceneffizienz annehmen. Im Gegensatz zu anderen Projekten in diesem thematischem Umfeld, kreiert SwarmIn eine radikal neue Architektur um verschiedene KI Ansätze (kombinatorischen Optimierung und Schwarmintelligenz) erstmals miteinander anhand ihrer Vorteile zu verbinden. Zusätzlich integriert die SwarmIn Architektur den Menschen als Schwarmteilnehmer sowie Parameter der Ressourcen und Energieeffizienz als zusätzliche Dimensionen für die Optimierung einer nachhaltigen Produktionsanlage der Zukunft.

## **Abstract**

Climate goals, rising energy and resource demand and a history of supply difficulties, motivate the identification of energy and resource efficiency potentials as one of the main priorities of the industrial sector in the near future. A sustainable Industry 4.0 and cyber-physical manufacturing systems not only enable real time interaction, machine-learning (artificial intelligence) and eased monitoring, they are viewed as potentially energy and resource efficiency-enhancing based on their ability to provide real time data via computation on the edge. A high mixture of product diversity together with historical growth of the industrial plant further induce complexity leading to an NP-hard problem. In the current exemplary situation of a semiconductor plant, multiple machines need to be scheduled (between 400 and 1.200 different stations). They typically produce more than 1.500 different products in around 300 different process steps. Linear optimization methods cannot cope with the highly complex, large, and dynamic search space due to excessive computation time. These methods can only be used on a subset of the plant, do not consider the entire system behavior, and thus, do not exploit the optimization potential.

In SwarmIn the overall goal is to balance WIP waves and flow factors along with production plant optimization featured with energy- and resource-efficiency parameters. To reach this goal we design a new architecture to combine different methods of artificial intelligence (AI) in an advantageous way: first, we apply combinatorial optimization as a high-level optimization approach for a global estimation of configuration parameters. It reduces the solution space that is used as input for second, the low-level optimization that applies swarm intelligence as a multi-agent, bottom-up approach. This is an innovation, as a mixed-swarm approach that considers both cyber-physical systems (CPSs, e.g., machines, lots) and humans as agents impacting energy and resource efficiency in an industry 4.0 setting has not been investigated in this field before. In the low-level optimization, each agent is equipped with a set of local rules. The connection between high- and low-level optimization is a novelty, for which we model the production plant as a self-organizing system of agents that work together.

Low-level optimization based on swarm intelligence (which is a subfield of AI) is performed locally (on machines/lots, close to the process), whereas the high-level optimization (combinatorial optimization) is done centrally, e.g., as a cloud-based service closely connected to a factory-ERP system. Both levels strongly interact with means of (wireless) communication where 5G can be the technology to provide industry 4.0 requirements in terms of latency and reliability. Additionally, parameters to measure energy and resource efficiency via retrofit sensors in the production process and feedback from human actors are identified. Beside the analysis of these parameters, one innovation is to include them into high- and low-level optimization to produce energy- and resource-based reactive behavior for CPS and human(-machine) interaction in the production process. The overall result of SwarmIn will be algorithms and simulations for high- and low-level optimization to

cope with the high complexity in production in industry 4.0 and with energy- and resource-efficient requirements in the form of a software library. In contrast to other projects in this field Swarmln builds a radically new architecture to combine different AI approaches for the first time (combinatorial optimization and swarm intelligence) according to their advantages. Additionally to that, the Swarmln architecture includes humans as swarm members as well as resource and energy efficiency as another dimension for the optimization of a sustainable production plant of the future.

### **Projektkoordinator**

- Lakeside Labs GmbH

### **Projektpartner**

- Universität Graz
- Infineon Technologies Austria AG
- Novunex GmbH
- Messfeld GmbH
- Universität Klagenfurt