

Energiemanagement in der Produktion durch digitale Technologien

Web-Seminar: Energiemanagement bei Unternehmen der Fahrzeugindustrie
10.12.2024

Philipp Schworm, M. Sc.,
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Lehrstuhl für Fertigungstechnik & Betriebsorganisation
RPTU Kaiserslautern-Landau



Gliederung des Vortrags

- Kurze Vorstellung

- KI-gestützte Energiesteuerung am Beispiel einer Lernfabrik
 - Beschreibung des Produktions- und Energiesystems
 - Modellierung des Energieflusses mittels Reinforcement Learning (RL)
 - Simulatives Training eines RL-Agenten
 - Evaluation am Beispiel einer Lernfabrik

- Produktionsplanung unter der Berücksichtigung von Energie durch Quanten-Annealing
 - Berücksichtigung von Energie in der Produktionsplanung
 - Einführung zum Quanten-Annealing
 - Ergebnisse zur energieorientierten Produktionsplanung mittels Quanten-Annealing

FBK – Wer sind wir?

- Forschung zur Fertigungstechnik und der industriellen Produktion
- Spektrum von Grundlagenforschung bis hin zu Anwendungsforschung mit Kooperationspartnern
- Interdisziplinäres Team aus Wissenschaftlern verschiedener Bereiche:
 - Maschinenbau
 - Wirtschaftsingenieurwesen
 - Informatik
 - Verfahrenstechnik



Forschungsfelder

- 

Mikro- und Ultrapräzisionsbearbeitung

 - Untersuchung des Mikrofräsens, -bohrens, -schleifens
 - Werkzeugdurchmesser zwischen 500 µm und 5 µm
 - Prozessuntersuchung und Modellierung

- 

Zerspantechnologie

 - Zerspantung von Hochleistungswerkstoffen wie Titan
 - Anpassung und Modellierungen des Zerspanprozesses
 - Einsatz kryogener Medien

- 

Additive Fertigung

 - Untersuchung von Hochgeschwindigkeitslaserauftragsschweißen & pulverbettbasiertes Laserstrahlschmelzen
 - Prozessparameter, Bauteileigenschaften, Nachbearbeitungsstrategien

- 

Digitale Technologien für Produktionssysteme

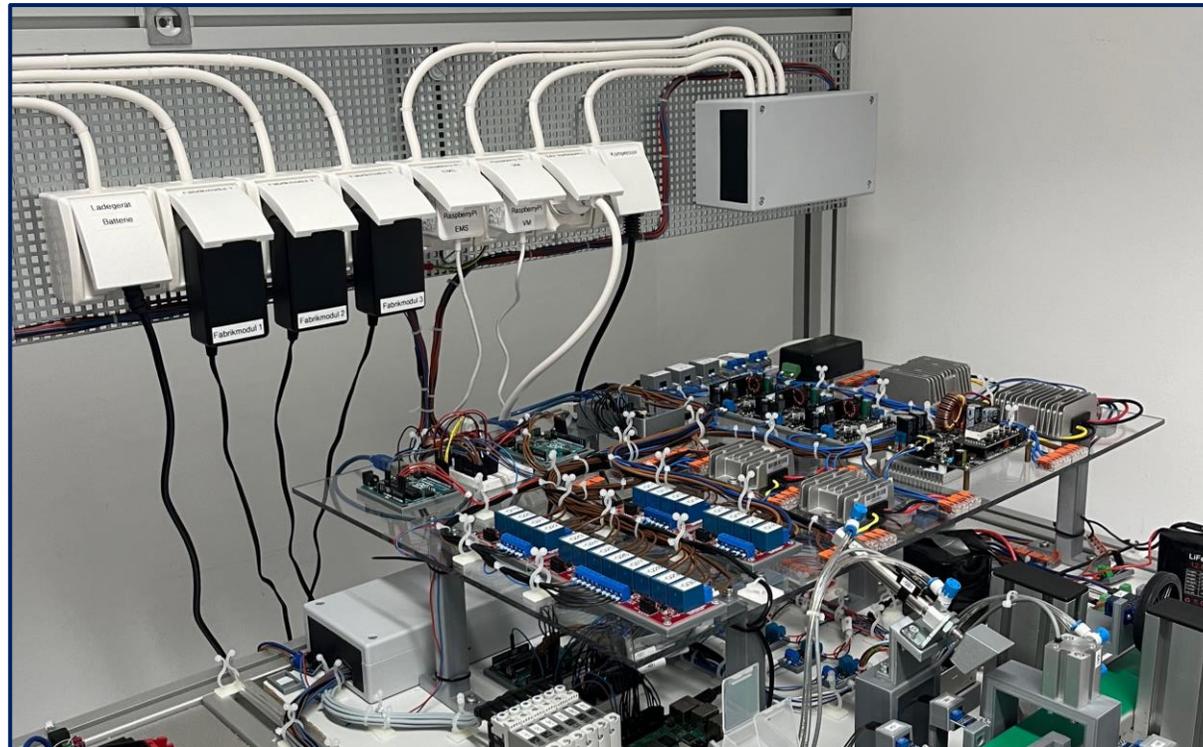
 - Verknüpfung von digitalen Modellen mit realen Prozessen
 - Entwicklung von KI-Lösungen für die Produktion
 - Nutzbarmachung technologischer Trends für die Produktion (VR, QA)

- 

Nachhaltigkeit in der Produktion

 - Planung und Bewertung der Nachhaltigkeit in der Produktion
 - Untersuchung der Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion
 - Lebenszyklusorientierte Analyse industrieller Wertschöpfungsprozesse

KI-gestützte Energiesteuerung am Beispiel einer Lernfabrik



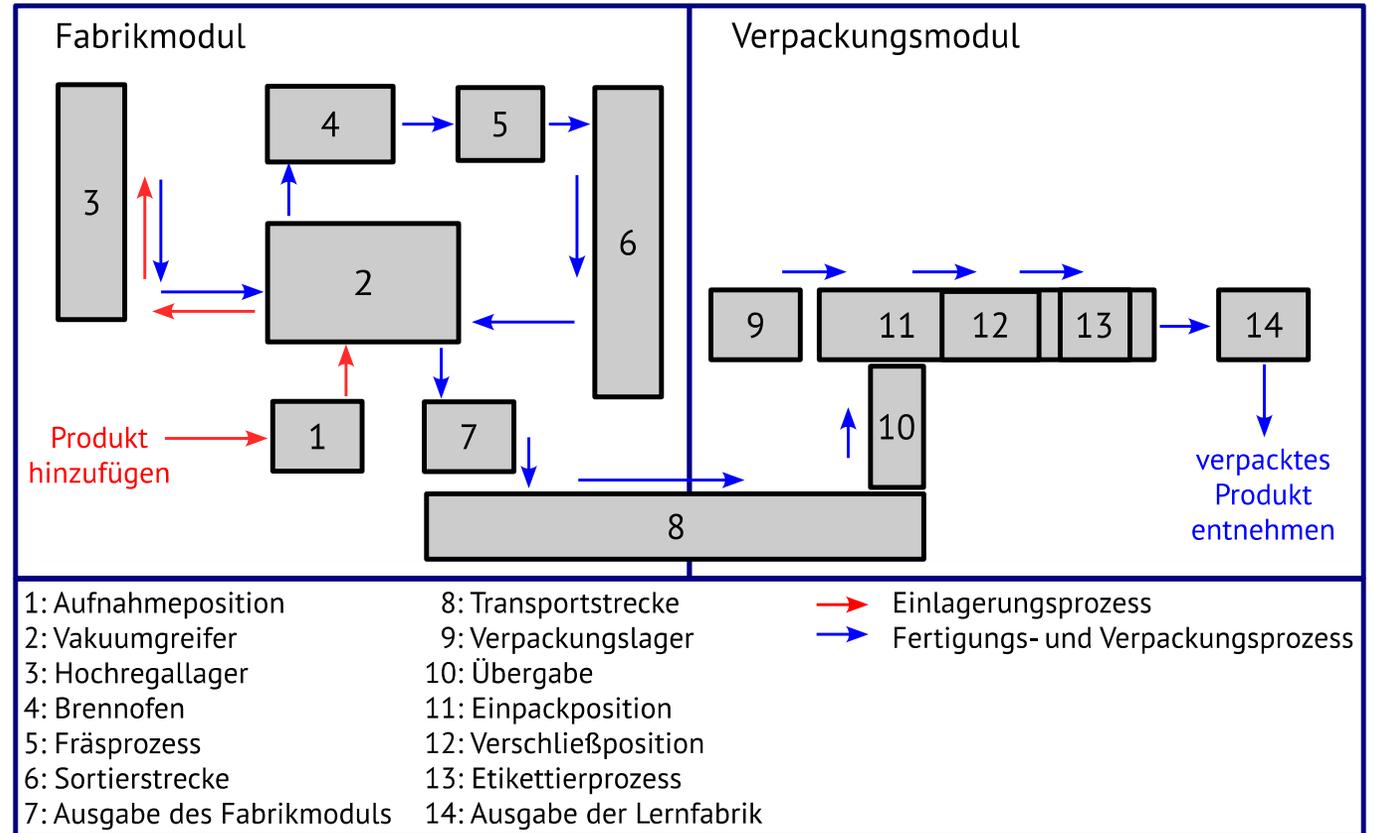
Beschreibung des Produktionssystems

Fabrikmodul

- Automatisierter Einlagerungs- und Auslagerungsprozess
- Nachbildung von Prozessen wie Fräsen, Sortieren, Transport, Lager, etc.

Verpackungsmodul

- Automatisierter Verpackungsprozess
- Nachbildung von Prozessen wie Transport, Einpacken, Verschließen, Etikettieren



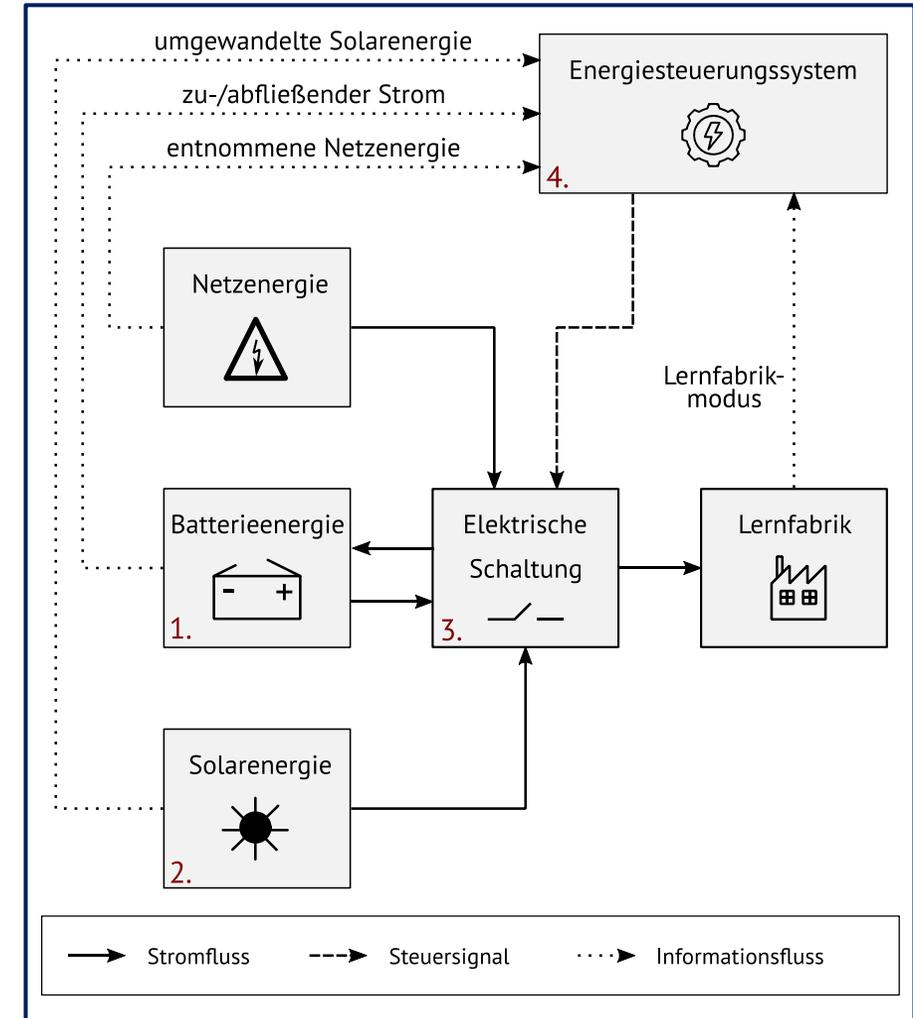
Beschreibung des Energiesystems

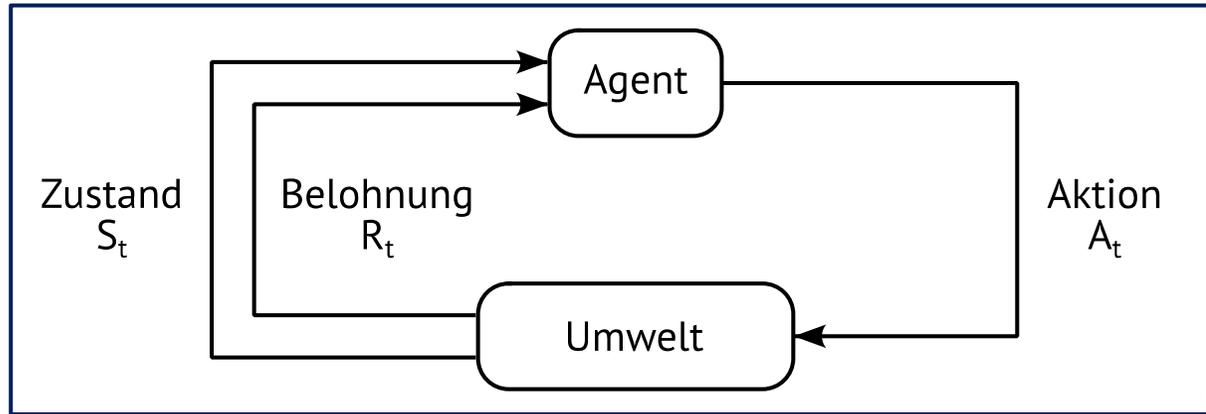
Elemente des Energiesystems

- Steuerungssystem bestehend aus Raspberry Pi
- 2 Batteriemodule mit 3 Ah und 6 Ah Kapazität
- Einzelnes Solarmodul mit 30 W Leistung

Anforderungen an des Energiemanagementsystem

1. Einsparung von Energiekosten durch vorausschauende Energiespeicherung
2. Nachhaltige Gestaltung der Lernfabrik durch das Integrieren einer erneuerbaren Energiequelle
3. Konstante Energieversorgung der Lernfabrik
4. Erhöhung der Wirtschaftlichkeit durch die Reduzierung der Energiekosten





Umwelt

- Wird gebildet durch Produktions- und Energiesystem
- Digitaler Zwilling und reales System

Agent

- wählt Aktionen auf Basis von Zuständen
- wird durch künstliches neuronales Netz modelliert

Zustände

- Messbare oder errechnete Größen des Systems
- Bspw. Ladezustand Batterie, Strompreis, erwartete Leistung für Produktionssystem

Belohnung

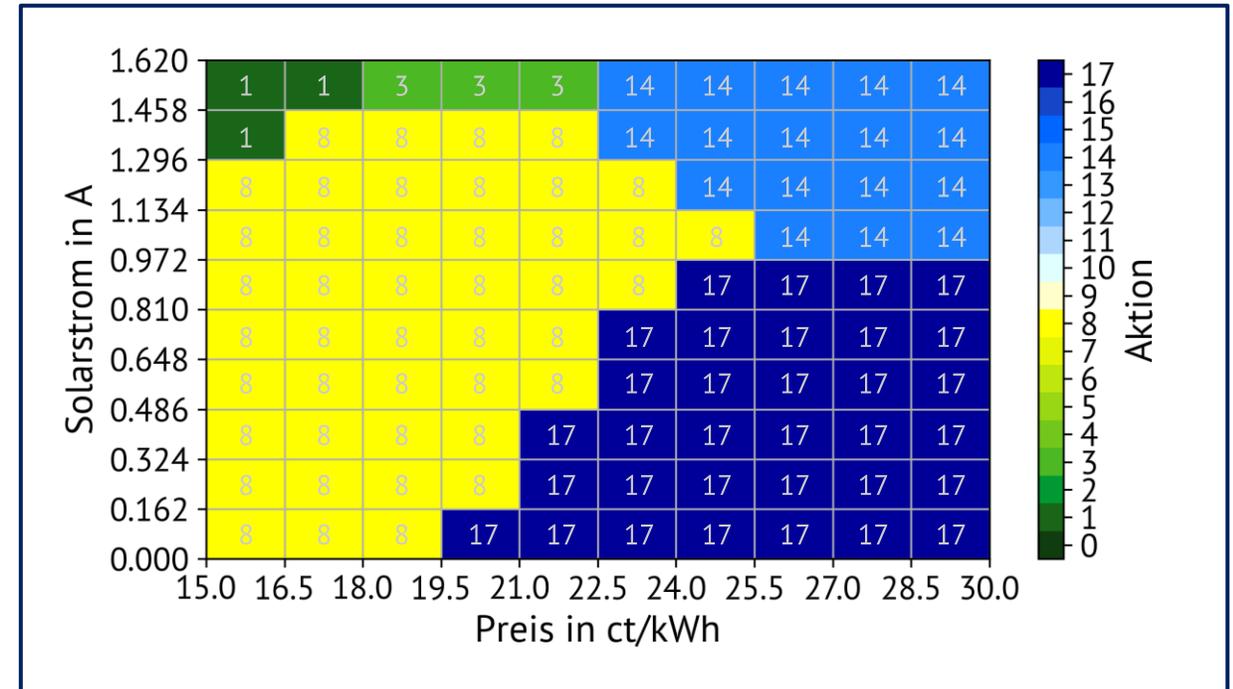
- Numerischer Wert als Feedback für Aktion
- Gekoppelt an Einsparung des Systems

Aktionen

- Schaltzustände des Energiesystems
- Bspw. Laden bzw. Entladen der Batterie

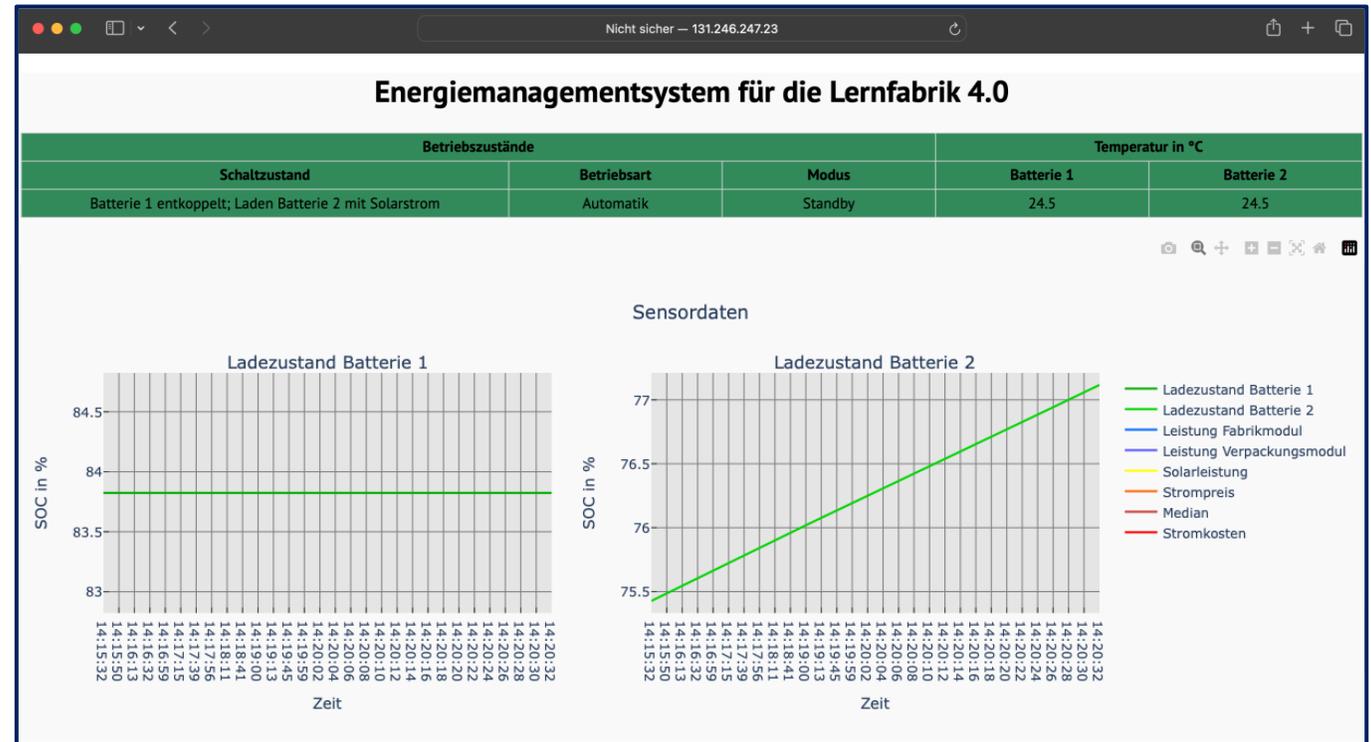
Simulatives Training eines RL-Agenten

- Beim Training des Agenten werden Aktionen zufällig gewählt
- Erkundung der Umwelt zum Finden einer optimalen Strategie
- Auftreten von Aktionen die zur Schädigung der Komponenten führen können
- Simulatives Anlernen des Systems mithilfe eines Digitalen Zwilling
- Digitaler Zwilling über Messungen erstellt zum Verhalten des Systems
- Sicherung der Strategie über Mechanismen der erklärbaren KI

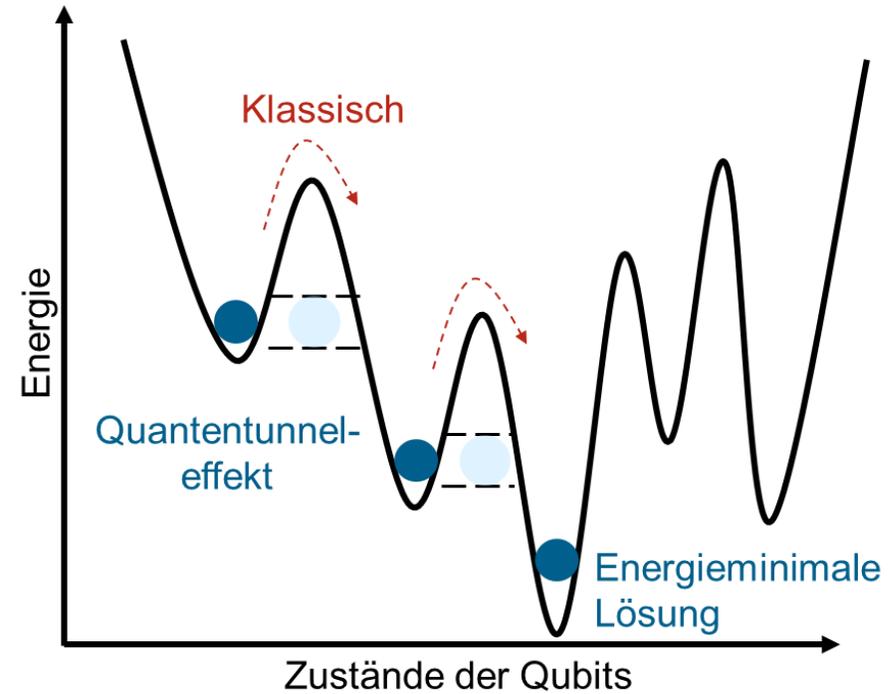
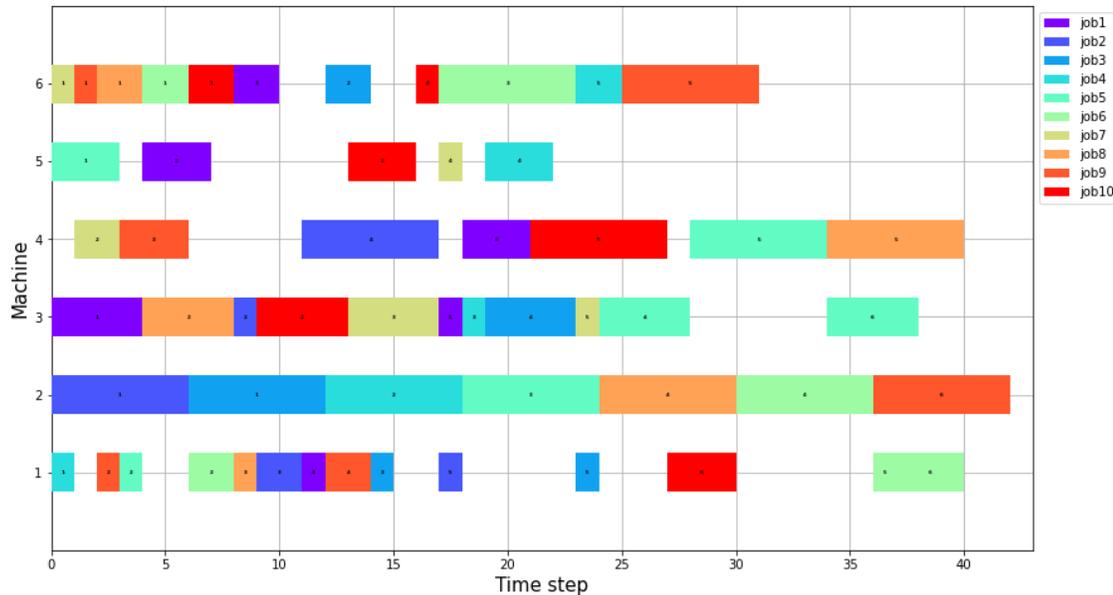


Evaluation am Beispiel der Lernfabrik

- Programmierung einer Weboberfläche zum Monitoring des Systems
- Untersuchung über Testzyklen mit unterschiedlichen Ladezuständen der Batterien
- Agent präferiert das Aufladen der Batterien mit Solarstrom
- Energiespeicher werden ab einem Ladezustand von 33 % Restladung geladen
- Durchschnittliche Einsparung des Systems lag bei 47 % der Energiekosten



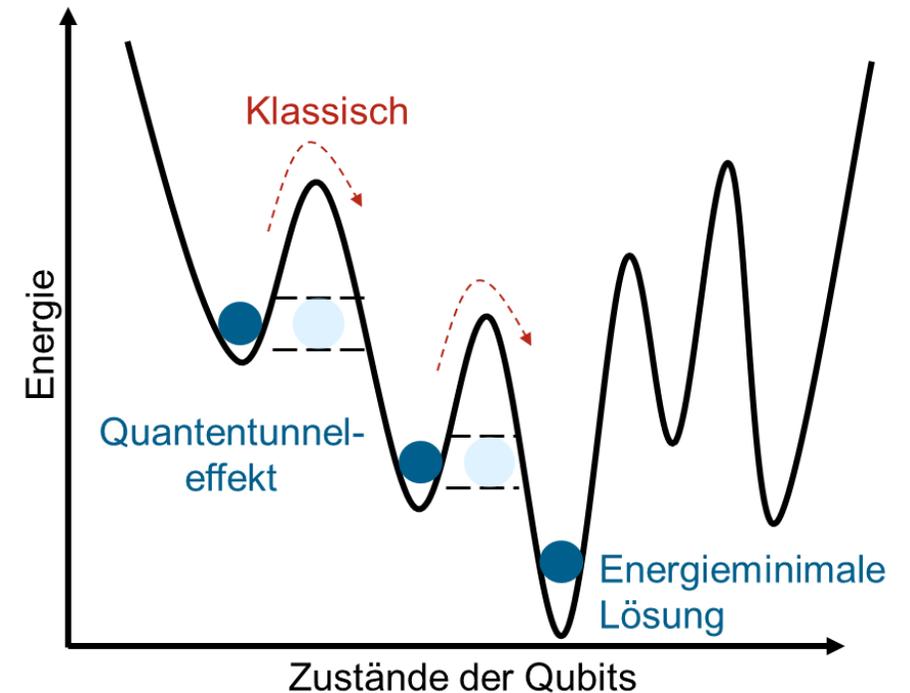
Produktionsplanung unter Berücksichtigung von Energie durch Quanten-Annealing



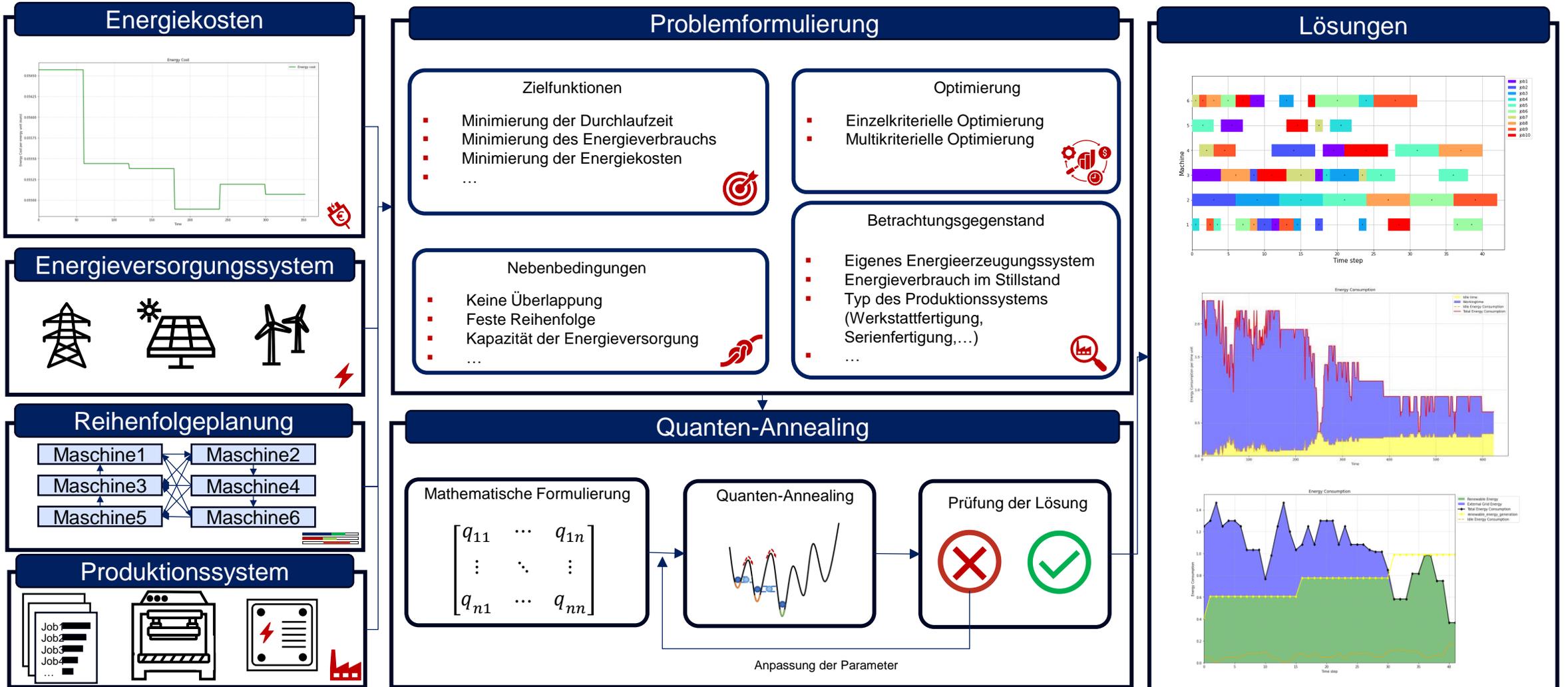
Quanten-Annealing

Das Finden der optimalen Lösung aus einer Menge möglicher Lösungen lässt sich als Energieminimierungs-Problem formulieren

- Nutzung quantenmechanischer Effekte:
- **Quantentunneleffekt:** Jede mögliche Lösung weist spezifische Energie auf. Durch „Tunneling“ strebt das System stets den energieminimalen Zustand an. Klassische Algorithmen bleiben oft in lokalen Minima „hängen“.
- **Superposition:** Alle möglichen Lösungen werden gleichzeitig evaluiert
- Metaheuristisches Optimierungsverfahren „Quanten-Annealing“

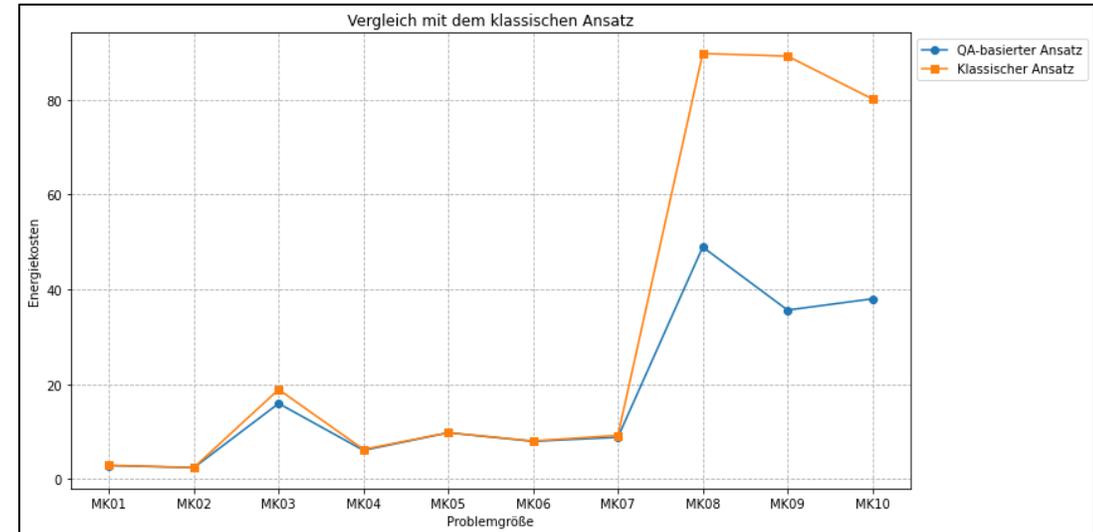
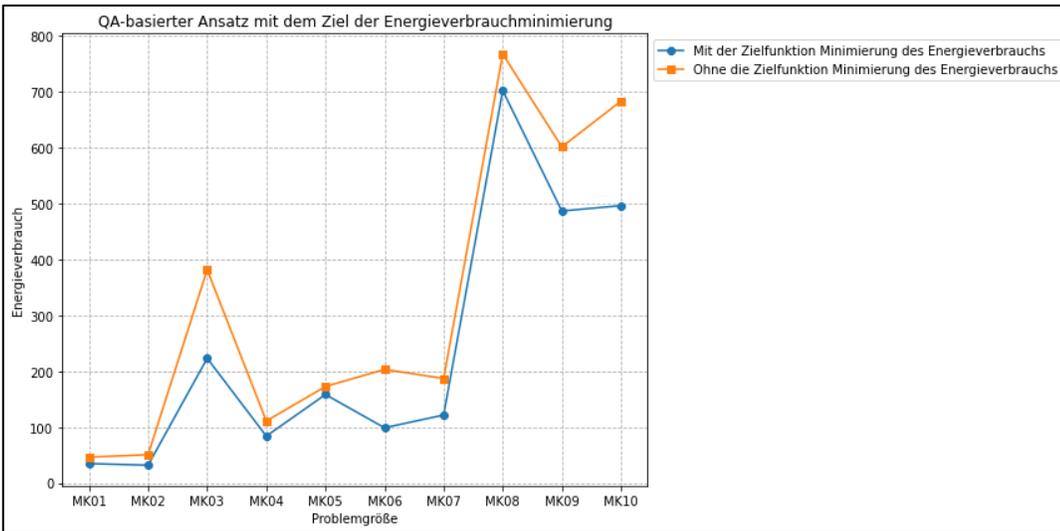
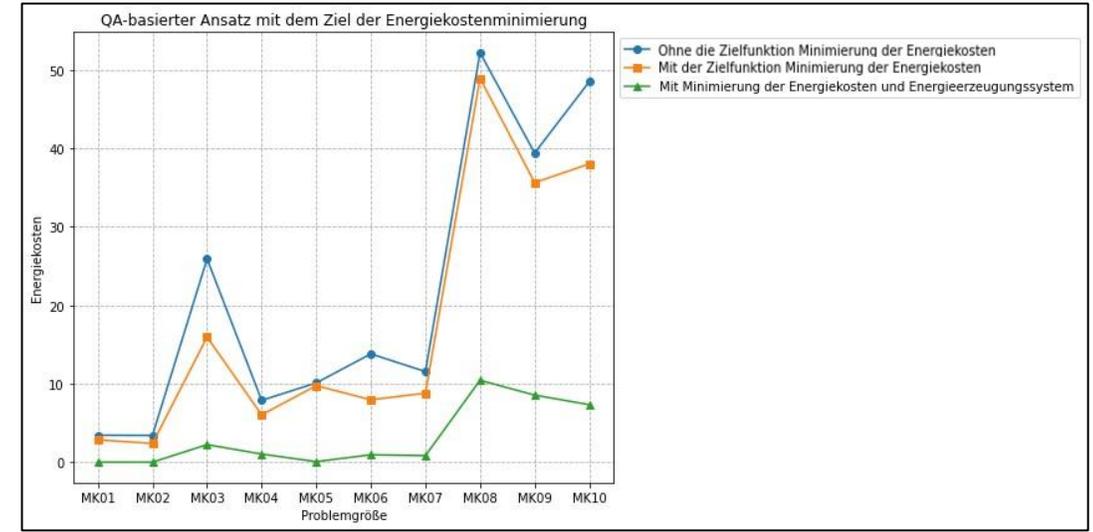


Energieorientierte Reihenfolgeplanung mittels Quanten-Annealing

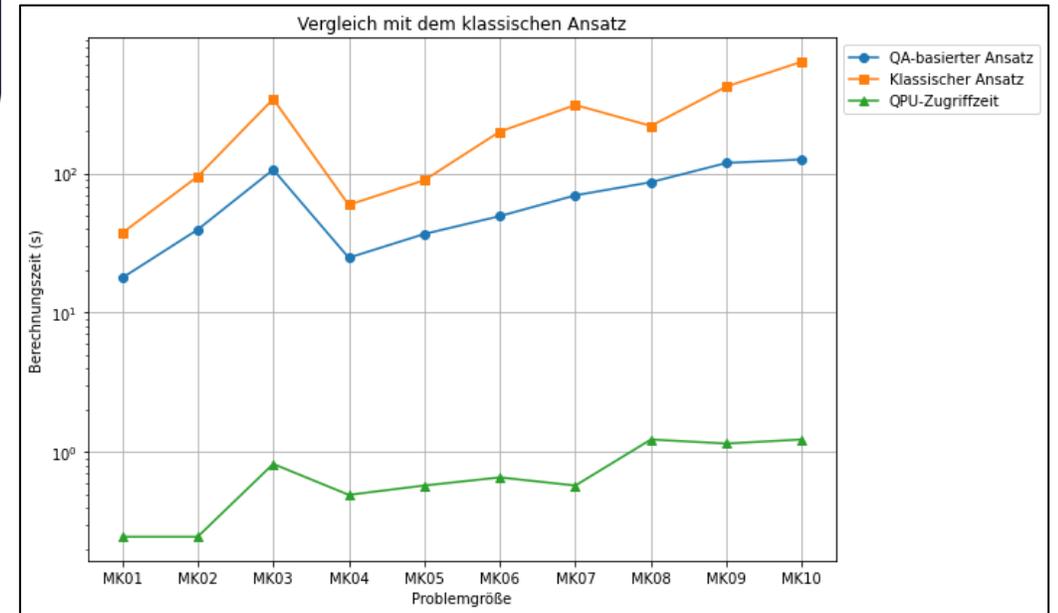
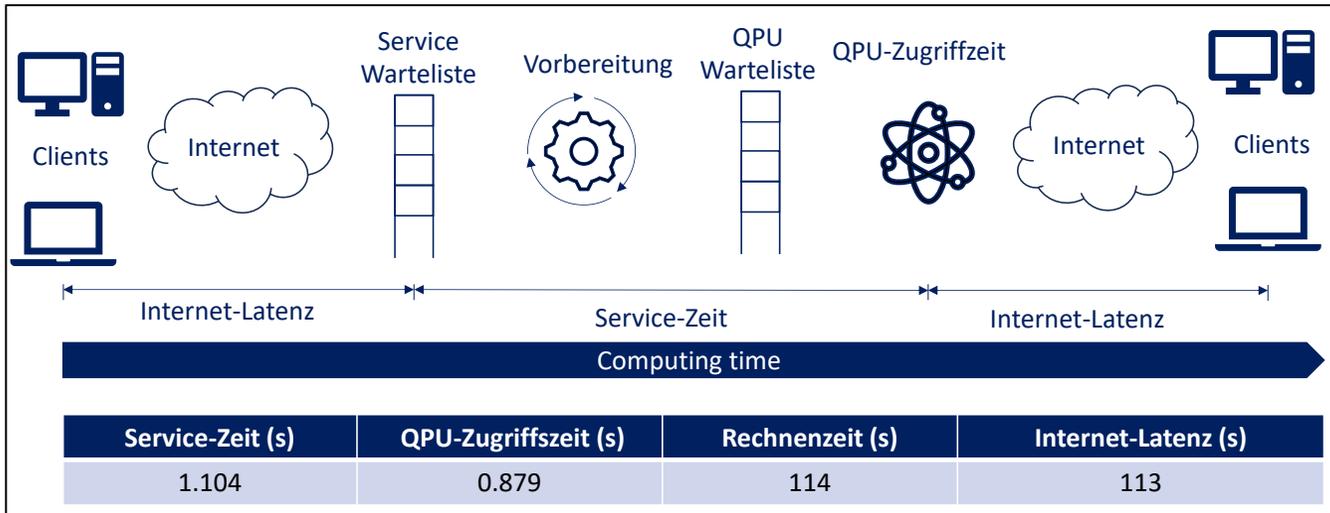


Ergebnisse

- Einkriterielle Optimierung
- Minimierung der Energiekosten
- Minimierung des Energieverbrauchs
- Energieversorgung nur von externem Stromnetz
- Betrachtung von eigenen Energieerzeugungssystem
- Bessere Lösungen von QA-basierten Ansätzen (bis zu 60% bei Problemgröße MK10)



- Geringere Berechnungszeiten bei größeren Problemgrößen
- Konstant niedrige Zugriffszeiten auf den Quanten-Annealer (im Bereich einer Sekunde)



- Die energieorientierte Reihenfolgeplanung kann die Energiekosten und Energieverbrauch deutlich minimieren
- Die gleichzeitige Berücksichtigung von Energieaufteilung und Reihenfolgeplanung in Produktionssystemen maximiert die Nutzung eigener Energieerzeugungssysteme
- Die Berechnung auf Quanten-Annealern bietet Vorteile im Vergleich zu konventionellen Ansätzen
- Der Ansatz des Quanten-Annealings ermöglicht auch eine schnelle multikriterielle Optimierung, die sowohl Energieeffizienz als auch höhere Produktivität in kurzer Zeit realisiert.

Ansprechpartner



Philipp Schworm, M. Sc.

 philipp.schworm@rptu.de



+49 631 205 4066



Marco Hussong, M. Sc.

 marco.hussong@rptu.de



+49 0631 205 4305



Xiangqian Wu, M. Sc.

 xiangqian.wu@rptu.de



+49 631 205 5783



Dr.-Ing. Matthias Klar

 matthias.klar@rptu.de



+49 631 205 5629