

---

# Forum Produktion und Management 2025

## Forschungsgruppe Planung & Simulation Forschungsprojekt ENPro\*

FH-Prof. Priv. Doz. DI (FH) Klaus Altendorfer, PhD  
MMag. Wolfgang Seiringer  
Balwin Bokor, BA MSc



HAGENBERG | LINZ | STEYR | WELS



UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES  
UPPER AUSTRIA

*\*Diese Arbeit wurde durch das Forschungsprojekt ENPro unterstützt. Das Projekt ENPro wird durch Forschungsfördermittel der oberösterreichischen Landesregierung finanziert.*

# Vorstellung



**FH-Prof Priv.-Doz. DI (FH) Klaus Altendorfer, PhD**

**Themen Lehre:**

Produktionsplanung, Produktionswirtschaft, Simulation, wiss. Arbeiten

**Forschung:**

Informationsunsicherheit in Produktions- und Logistikmanagement  
Simulation und Stochastische Modellierung von Produktionssystemen mit Fokus Planung

# Vorstellung



## **MMag. Wolfgang Seiringer**

### **Themen Lehre:**

Produktionsplanung, Betreuung Unternehmensprojekte und Bakk. Arbeiten

### **Forschung:**

Simulation und Modellierung von Produktionssystemen  
Kapazitätsplanung im Bereich MRP  
Implementierung von Simulationsmodellen mit AnyLogic, Java, Python und SQL Datenbanken

# Vorstellung



**Balwin Bokor, BA MSc**

**Themen Lehre:**

Produktionsplanung, Betreuung Unternehmensprojekte

**Forschung:**

Simulation und Modellierung von Produktionssystemen

Produktionssystemen mit Fokus Planung

Scheduling (Algorithmen, Heuristiken, mathematische Optimierung)



UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES  
UPPER AUSTRIA

# ENPro

## Energy Neutral Production

Transformation hin zur energieneutralen  
Produktion durch Modellierung, Simulation  
und Optimierung

FTI-Projekt

Abt. Wirtschaft und Forschung, Land OÖ

Projektstart 01/2025



# Key Researcher

FH OÖ Center of Excellence for Smart Production



**Klaus Altendorfer**

Professor für Simulation und  
Produktionsplanung

**Campus Steyr**



**Holger Gröning**

Professor für  
Produktionstechnik

**Campus Wels**



**Roman Froschauer**

Professor für  
Produktionsinformatik

**Campus Wels**



**Stefan Wagner**

Professor für komplexe  
Softwaresysteme

**Campus Hagenberg**

# Motivation für das Projekt

## Ausgangssituation

## Reduktion des Energieverbrauchs in der Produktion als Zukunftsaufgabe

### → EU Ziel Klimaneutralität bis 2050

Sparsamer Einsatz von Energie ist eine zentrale Anforderung bei der nachhaltigen Herstellung von Gütern

### → Energiewende

Ausbau erneuerbarer Energiequellen führt zu komplexen Entscheidungsmöglichkeiten bzgl. Energiemanagement in der Produktion

### → Wirtschaftsstandort Oberösterreich

Wettbewerbsfähigkeit hängt (auch) von effizienter Energienutzung und angebotsbestimmtem Energieverbrauch ab

# Projekt ENPro

## Ausgangssituation

### ENPro – Energy Neutral Production

- Erforschung intelligenter Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz
- Visionäres Ziel der Energieneutralität des gesamten Produktionsprozesses
- Externer Energiebedarf beeinflusst durch
  - Fertigungstechnologie, Produktionsprozess, Materialauswahl
  - Planung des ganzen Produktionssystems
  - Nutzung eigenerzeugter Energie
- Modellierung, Simulation und Optimierung des Energieverbrauchs



# OÖ Forschungs- und Wirtschaftsstrategie

## Ausgangssituation

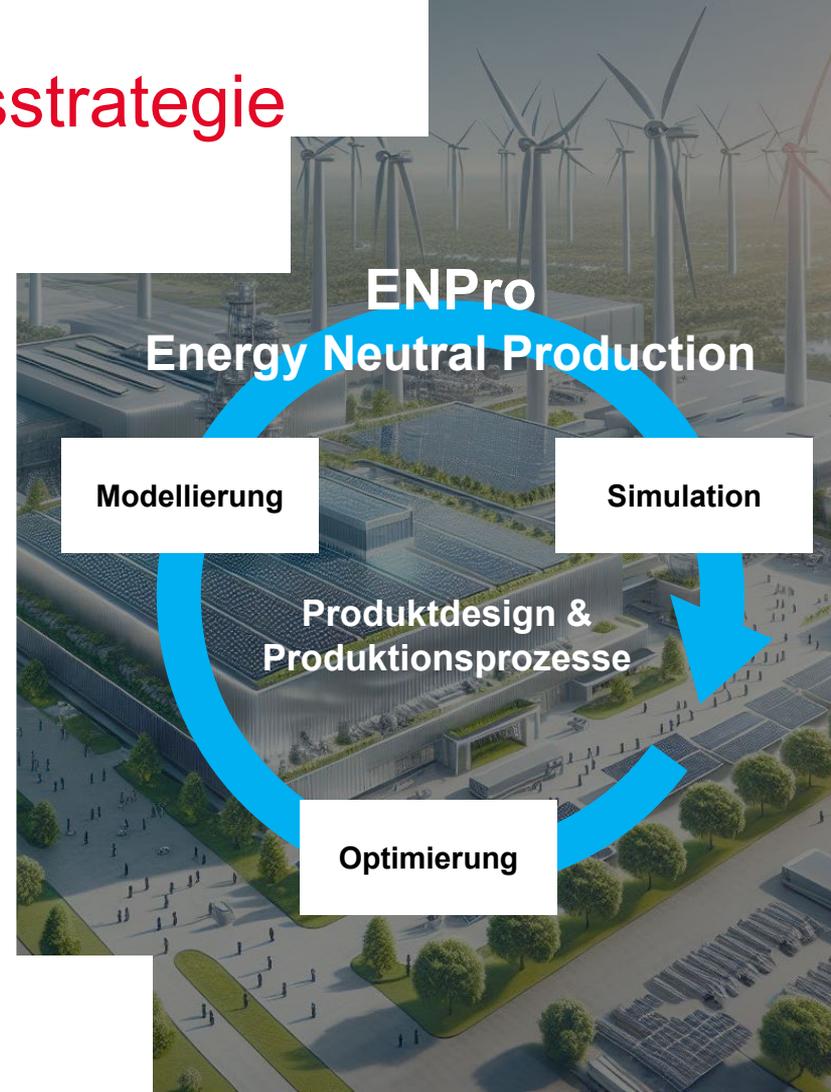
### Handlungsfelder in der #upperVISION2030

#### → Effiziente und nachhaltige Industrie & Produktion

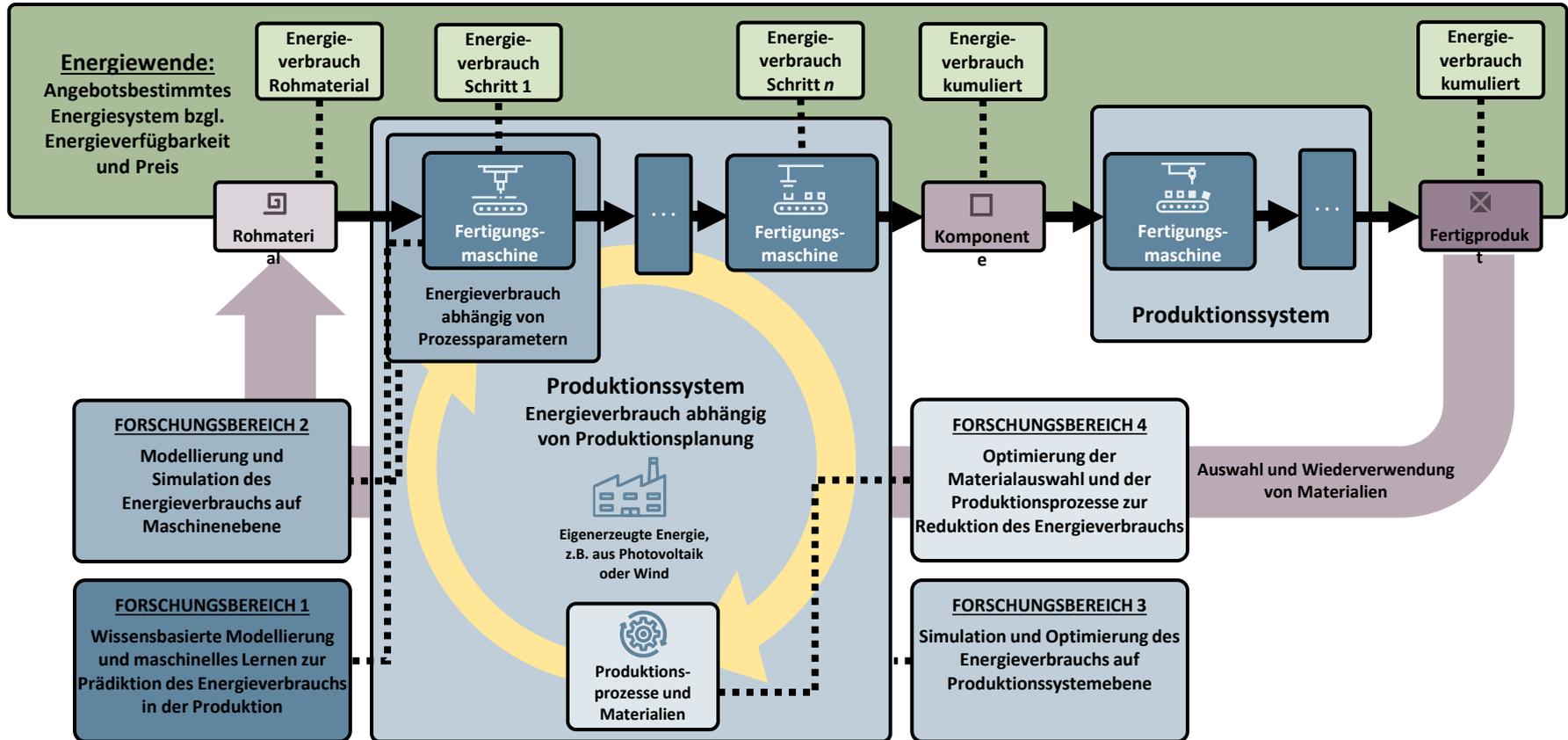
- Modellierung des Energieverbrauchs in der Produktion
- Fokus auf Energieverbrauch erhöht die Effizienz
- Reduktion extern bezogener Energie erhöht die Nachhaltigkeit
- Responsible Technologies & Management durch Optimierung der Materialauswahl

#### → Digitale Transformation

- Big Data Analysen als Basis für künftige Innovationen
- Ergebnisse als Grundlage für digitale Assistenzsysteme



# Energieverbrauch in der Produktion



# Ziel des Projekts

## Zielsetzung und Ergebnisse

### Reduktion des Energieverbrauchs in der Produktion durch:

#### → Datenmodelle zur Erfassung und Prognose des Energieverbrauchs:

Erfassung des Energieverbrauchs unterschiedlicher Fertigungstechniken und -anlagen in Abhängigkeit von Prozessparametern durch transparente und überprüfbare Modelle

#### → Simulationsmodelle zur Abbildung des Energieverbrauchs:

Simulation des Energieverbrauchs von ganzen Produktionssystemen unter Berücksichtigung der Prozessparameter und der Produktionsplanung sowie von Effekten aus der Energiewende

#### → Optimierungsmethoden zur Reduktion des Energieverbrauchs:

Optimierung des Energieverbrauchs durch Anpassung von Rohstoffen, Prozessparametern, Fertigungsschritten und Produkteigenschaften



# Forschungsfragen

## Problem- und Risikoanalyse

## Modellierung und Simulation auf Maschinenebene

### → Forschungsfrage 1

Wie können datenbasierte und wissensbasierte Modelle zur Abbildung des Energieverbrauchs von Produktionsmaschinen kombiniert werden, um die Simulation des Energieverbrauchs auf Maschinenebene bestmöglich zu unterstützen?

### → Forschungsfrage 2

Wie kann die Simulation des Energieverbrauchs auf Ebene der Produktionsmaschine flexibel gestaltet werden, um die Produktionsprozessgestaltung zur Energieverbrauchsreduktion bestmöglich zu unterstützen?

## Simulation und Optimierung auf Produktionssystemebene

### → Forschungsfrage 3

Was sind notwendige Rahmenbedingungen in Bezug auf die Energiebereitstellung und die Produktionssystemgestaltung zur Ermöglichung eines energieneutralen Produktionsstandorts?

### → Forschungsfrage 4

Wie kann der Energieverbrauch in der Produktion durch die Optimierung der Materialauswahl in Kombination mit der Gestaltung des Produktionsprozesses unter Berücksichtigung von wiederaufbereiteten Materialien und der Produktionsplanung reduziert werden?

# OÖ Forschungs- und Wirtschaftsstrategie

## Partnerschaften aus der Wissenschaft

### → National

- JKU Linz: Prof. Sophie N. Parragh und Prof. Alois Zoitl
- Uni Wien: Prof. Karl F. Dörner
- TU Wien: Prof. Günther Raidl
- FH St. Pölten: FH-Prof. Thomas Felberbauer
- Profactor: Robotics and Assistive Systems

### → International

- North Carolina State University: Prof. Reha Uzsoy
- University Politècnica de València: Prof. Angel A. Juan
- University Politecnico di Milano: Prof. Andrea Matta
- University of Calabria: Prof. Francesco Longo
- HSU Hamburg: Aljosha Köcher, MSc



universität  
wien



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITÀ  
DELLA  
CALABRIA



POLITECNICO  
MILANO 1863

# Kooperationspartner gesucht

→ 🍌 **Wir suchen Kooperationspartner aus der Wirtschaft**

→ Wir möchten gezielt mit Unternehmen zusammenarbeiten, die...

- **in der Fertigung und Montage** tätig sind und über relevante Wertschöpfungsanteile verfügen
- **Maschinen herstellen** oder **Automatisierungslösungen** anbieten
- **Eigene Energie erzeugen**, z. B. über eine **Photovoltaikanlage** oder ähnliche Systeme
- **Energieverbrauch in der Fertigung monitoren** und/oder Planung an dem Energiepreis orientieren

→ **Ihr Unternehmen passt ins Bild?**

Dann freuen wir uns auf den Austausch – für gemeinsame Innovation und konkrete Anwendung unserer Forschungsergebnisse!

# Weitere Forschungsprojekte...

# Abgeschlossene Forschungsprojekte im Überblick

- FFG Projekt SimGenOpt2:
  - > Heuristische simulationsbasierte Optimierung von Planungsparametern
  - > Zusammenarbeit HEAL Hagenberg
  - > 2 Unternehmenspartner: Oxaion, Banner Batterien
  - > MRP Planung für Academic Case und reales Unternehmen simuliert
  - > Bestand und Liefertreue wird optimiert

# Abgeschlossene Forschungsprojekte im Überblick

- FFG Projekt Optimal Workforce:
  - > Heuristische simulationsbasierte Optimierung von Mitarbeiter\*innenqualifikationen
  - > Zusammenarbeit mit HEAL Hagenberg
  - > 2 Unternehmenspartner: E+E Elektronik, Technosert
  - > Produktionssystem mit Qualifikationsanforderungen für Mitarbeiter\*innen für Academic Case und reale Unternehmen simuliert
  - > Liefertreue wird optimiert

# Abgeschlossene Forschungsprojekte im Überblick

- FFG Projekt InnoFIT:
  - > Analyse und Verbesserung der Bedarfsforecasts zur Verbesserung der Produktionsplanung
  - > 4 Unternehmenspartner: ZF, MWS, NKE, Lecapell
  - > 2 Forschungspartner: FH St. Pölten, Risc
  - > Forecastgenerierung wird mit verschiedenen Verhalten simuliert und deren Auswirkung auf Forecastqualität und Produktionsplanung untersucht
  - > Auswirkung Forecastverhalten und Forecastunsicherheiten auf die Planung

# Abgeschlossenes Forschungsprojekte im Überblick

- FWF Projekt „Hybrid algorithms for redesigning MRP“:
  - > Integration Kapazitätsbeschränkung in Materialbedarfsplanung bzw. MRP Lauf
  - > 1 Forschungspartner: Prof.<sup>in</sup> Sophie Parragh, JKU Linz
  - > MRP Planung wird simuliert und Verbesserungsalgorithmen werden evaluiert
  - > Optimierung wird mit Simulation verknüpft, Aufruf des Optimizers mehrmals während Simulationslauf

# Aktuelle Forschungsprojekte im Überblick

- FFG Projekt Sched-Energy:
  - > Reduktion Energieverbrauch durch verbesserte Reihenfolgenplanung
  - > Zusammenarbeit mit HEAL Hagenberg
  - > 2 Unternehmenspartner: E+E, Banner Batterien
  - > Verwendung Sensordaten um Reifeprozesszeiten besser abzuschätzen
  - > Simulation eines Fertigungsbereiches von Banner → Abschätzung der Reduktion des Energieverbrauchs
  - > Academic Cases zur Reduktion Energieverbrauch auf Basis Energieorientierter Produktionsplanung

# Ausgewählte Ergebnisse *SimGenOpt2*

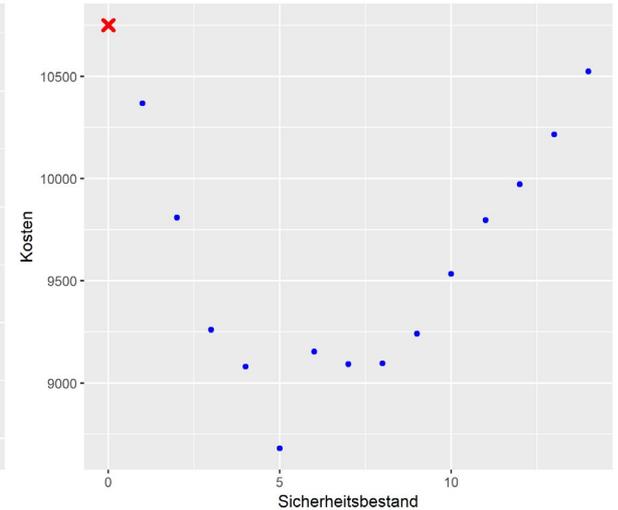
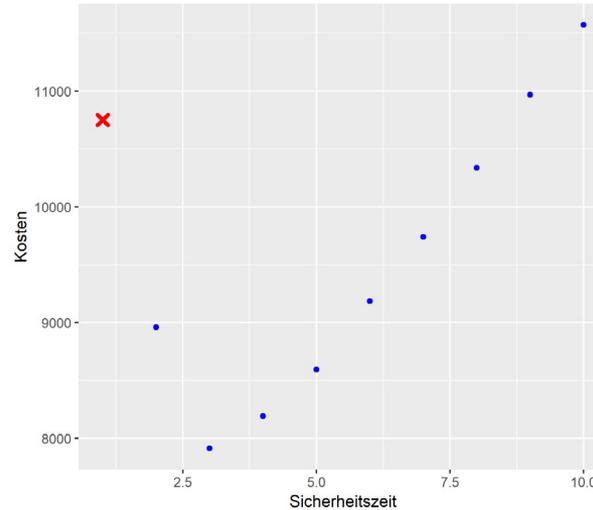
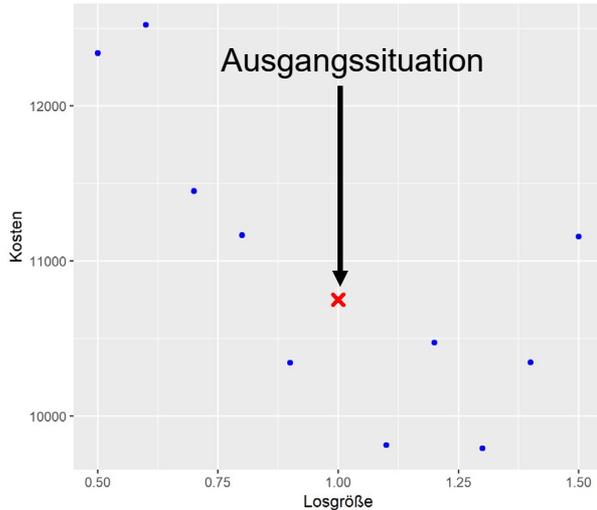
## Auswirkungen Planungsparameter in einem realen Case

- Teilbereich des Banner Produktionssystems in Simulation abgebildet
  - > Nur A-Materialien simuliert
  - > Bearbeitungszeiten und Rüstzeiten aus ERP System
  - > 3 Planungsparameter mittels Enumeration untersucht:
    - Produktionslosgröße (es gibt auch Rüstzeiten)
    - Planübergangszeit (Planendtermin – Planstarttermin)
    - Sicherheitsbestand (in Ausgangssituation mit 0 vorgegeben)
  - > Zusätzlich heuristische Optimierung der Parameter

# Ausgewählte Ergebnisse *SimGenOpt2*

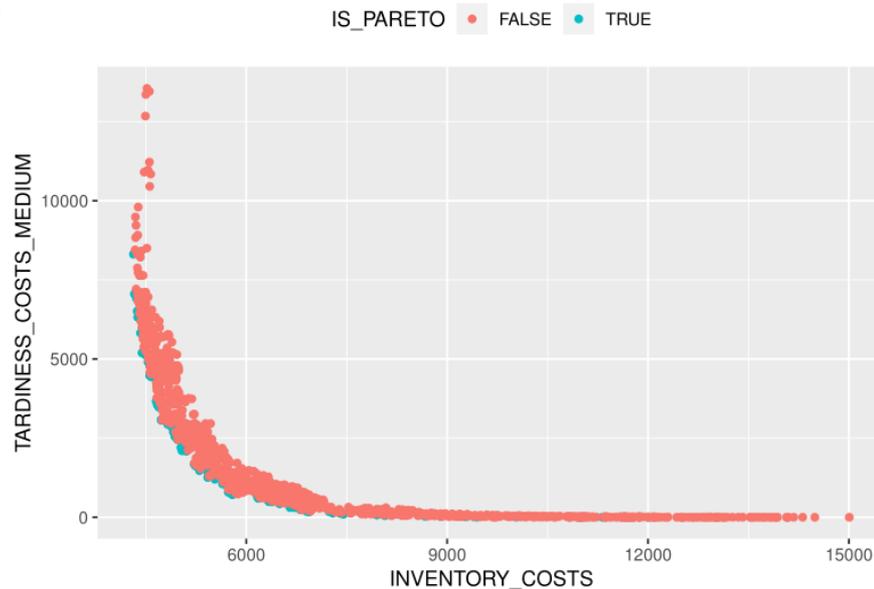
## Auswirkungen Planungsparameter in einem realen Case

- Ergebnisse der Enumeration (nur Faktoren wurden geändert)



# Ausgewählte Ergebnisse *SimGenOpt2*

Auswirkungen Planungsparameter in einem realen Case (Heuristische Optimierung bi-objective)

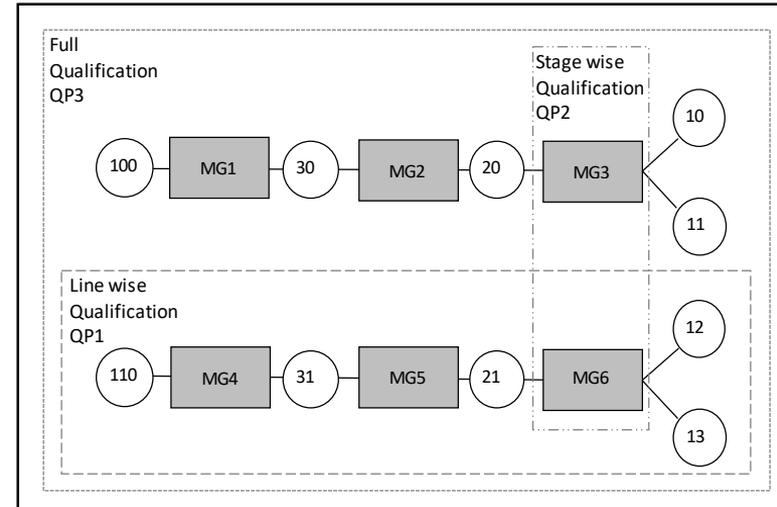


# Ausgewählte Ergebnisse *Optimal Workforce*

## Auswirkungen Mitarbeiter\*innenqualifikation in einem Academic Case

- Einfaches Produktionssystem
  - > 2 Fertigungslinien mit 3 Fertigungsstufen
  - > 16 Maschinen pro Stufe (je 8 pro MG)
  - > 4 Fertigprodukte
  - > Je Fertigungsstufe eigene Qualifikation
  - > 95% Auslastung
  - > Mehrmaschinenbedienung: 50% MA nötig
  - > Wechselzeiten zwischen Maschinengruppen

Untersuchtes Produktionssystem



# Ausgewählte Ergebnisse *InnoFIT*

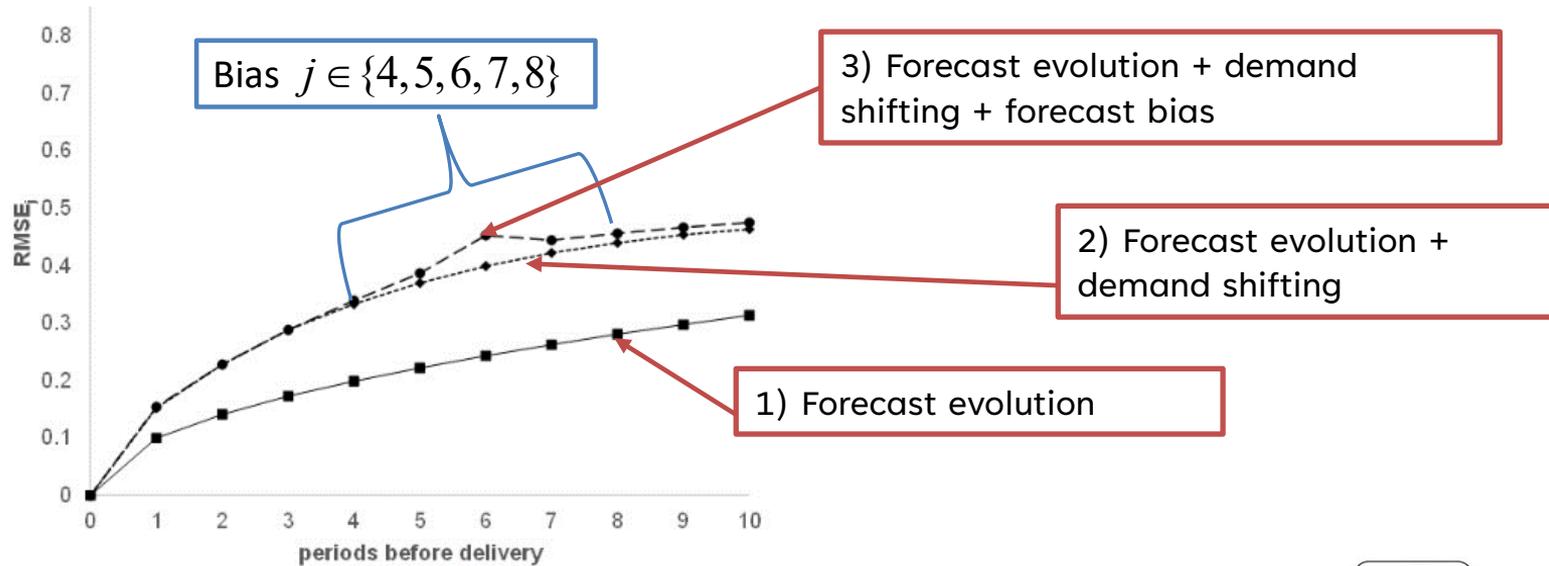
## Forecastqualität bei rollierenden Forecasts

- Annahme: Forecasts werden vom Kunden bereit gestellt und rollierend aktualisiert
- Fragestellung: Wie gut ist die Forecastqualität bzw. gibt es ein systematisches Verhalten?
- Verschiedene Fehlermaße für Forecasts untersucht
- Bezug zu Perioden vor Lieferung ist der Kernpunkt der Analyse
- Simulationsmodell zur Generierung von Forecasts erstellt:
  - > Einfaches Forecast Evolution Modell
  - > Erweiterung um beliebige Biases, Bedarfsmengenverschiebungen, temporäre Ausreißer

# Ausgewählte Ergebnisse *InnoFIT*

## Forecastqualität bei rollierenden Forecasts

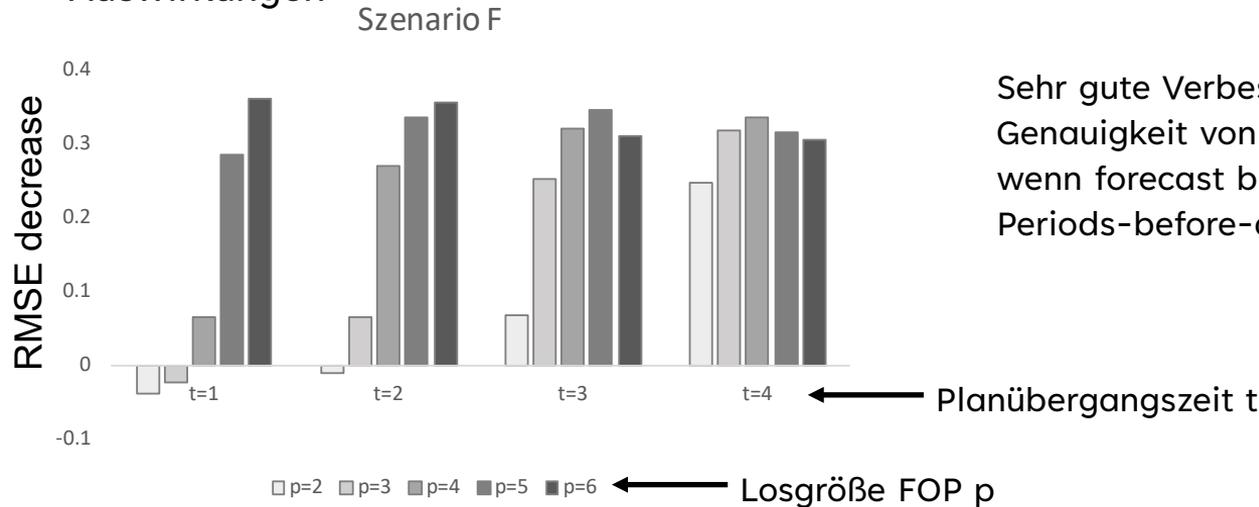
- RMSE (root-mean-squared-error) zur Bewertung Forecastqualität



# Ausgewählte Ergebnisse *InnoFIT*

## Forecastdatenanpassung bei systematischem Forecastverhalten - Überbuchung

- Nur Forecastqualität der planungsrelevanten Periods-before-delivery hat Auswirkungen



Sehr gute Verbesserung der Genauigkeit von Produktionsaufträgen wenn forecast bias in den „richtigen“ Periods-before-delivery liegt

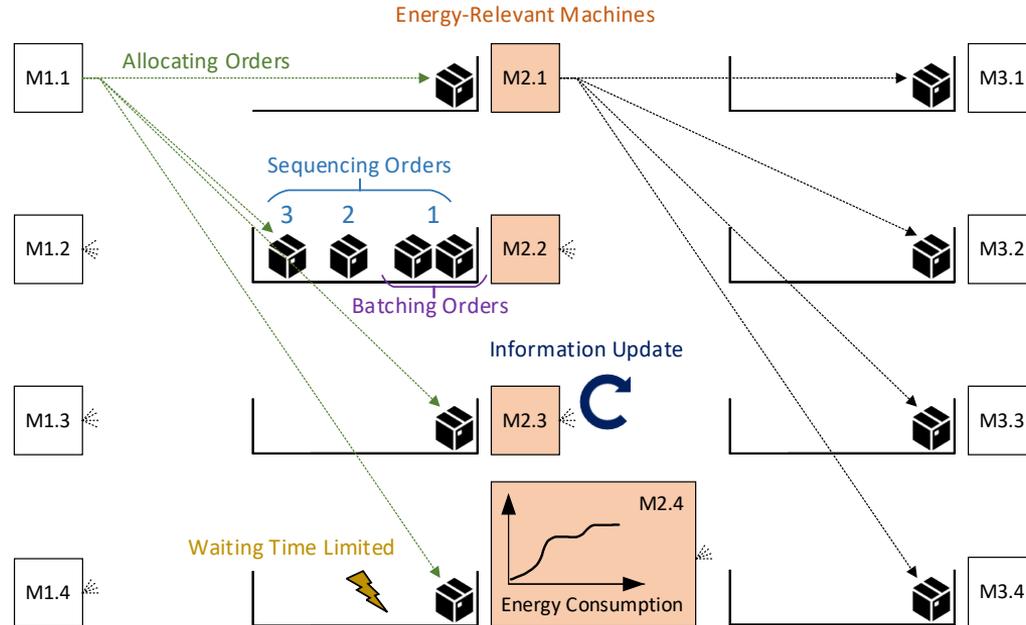
# Ausgewählte Ergebnisse Sched-Energy

## Energiereduktion durch angepasste Reife- und Trocknungszeiten

- Stochastischer Reife- und Trocknungsprozess von Bleiplatten in Batterien
- Frage nach idealer Prozesszeit für Reifung und Trocknung
- Aktuelle Abbildung der Zufälligkeiten auf Basis von Schätzwerten im „Academic Case“
- Nachreifung bzw. -trocknung impliziert zusätzliches Warm-up und Personalkapazität
- Trade-Off Prozesszeit zu Nachreifungshäufigkeit
- Simulationsmodell zur Abbildung Energiebedarf Reifekammer erstellt:
  - > Derzeit nur eine Reifekammer mit vielen Annahmen
  - > Geplante Erweiterung auf mehrere parallele Reifekammern

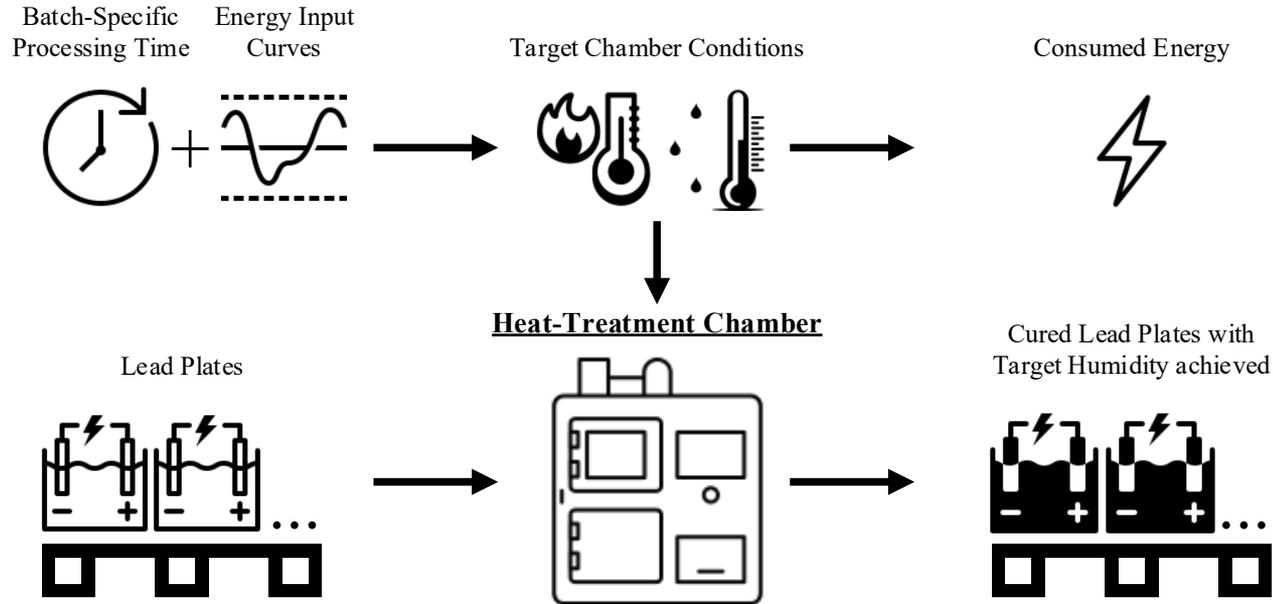
# Ausgewählte Ergebnisse Sched-Energy

## Produktionssystem abstrahiert



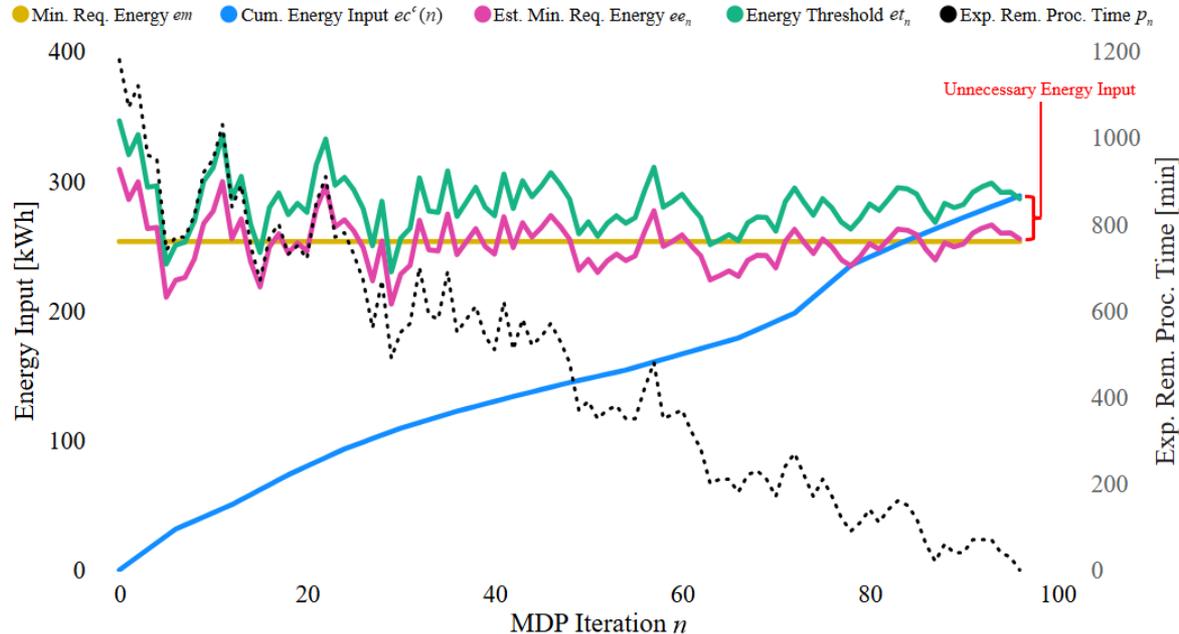
# Ausgewählte Ergebnisse Sched-Energy

## Wärmebehandlungsprozess abstrahiert

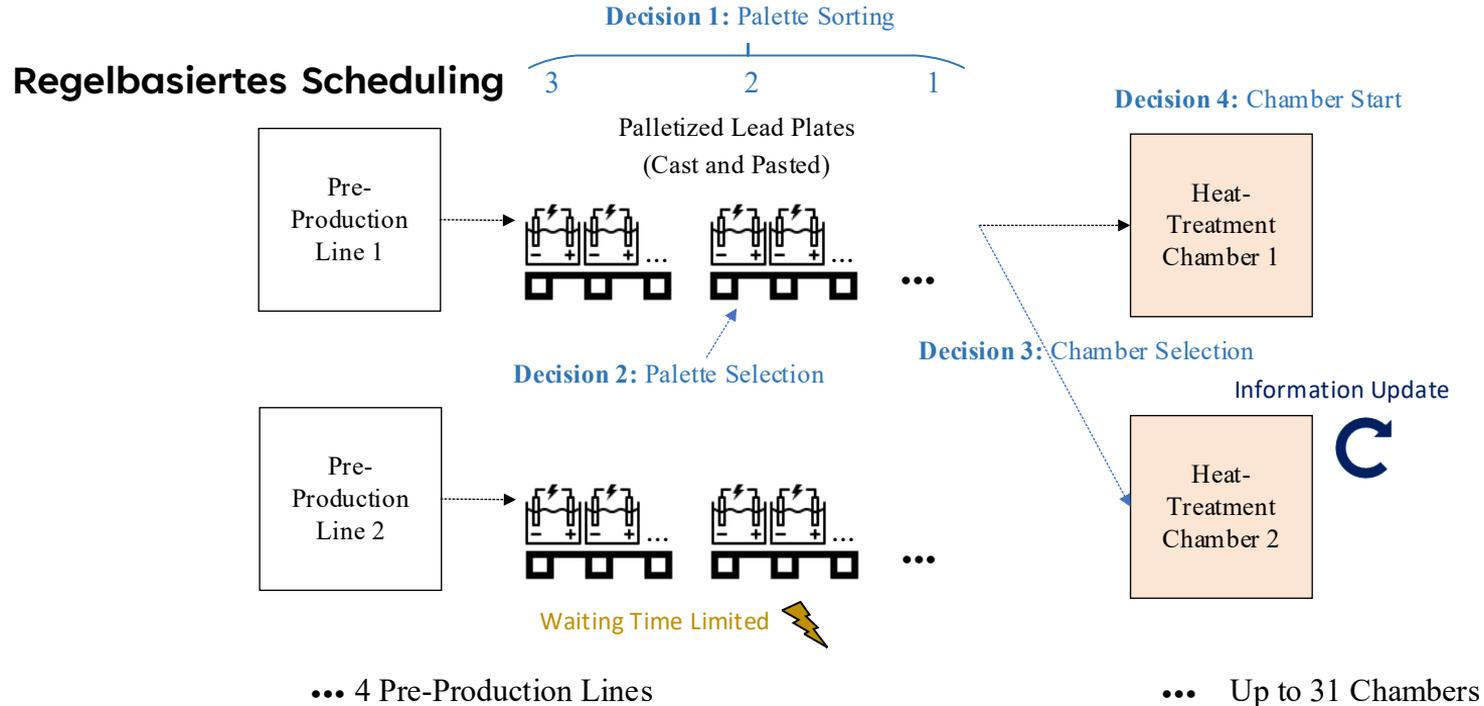


# Ausgewählte Ergebnisse Sched-Energy

## Abschätzung der Prozesszeit – „Stopping Problem“

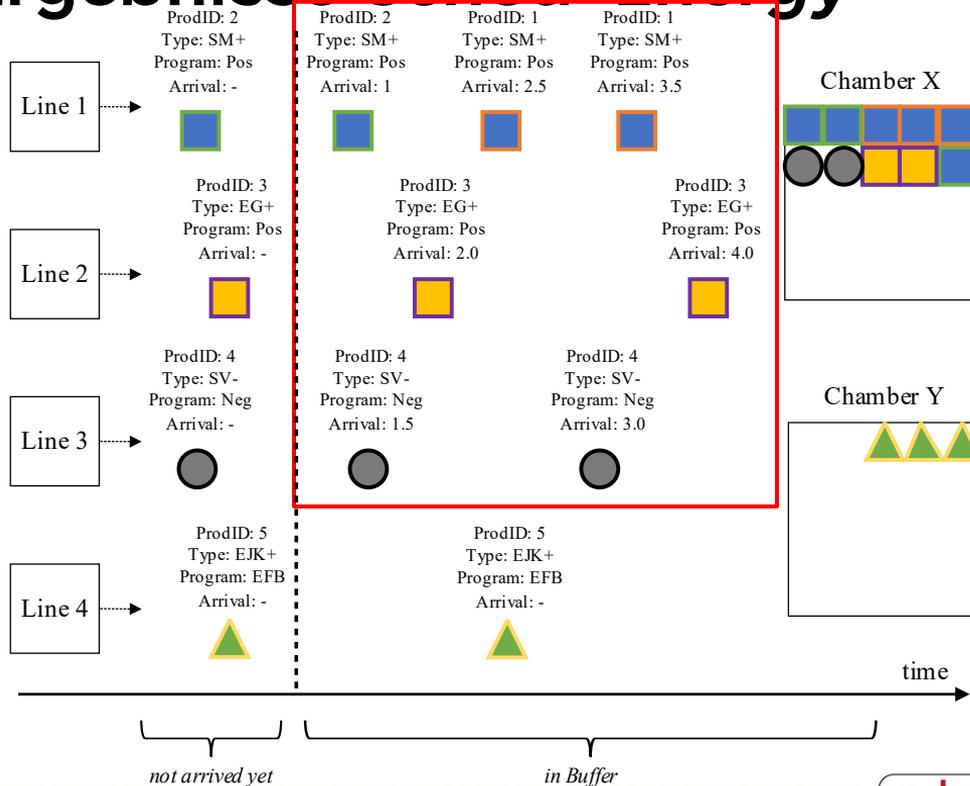


# Ausgewählte Ergebnisse Sched-Energy



# Ausgewählte Ergebnisse Sched-Energy

Regelbasiertes Scheduling

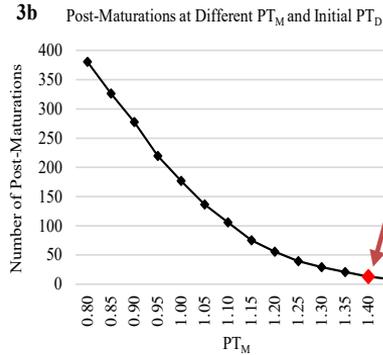
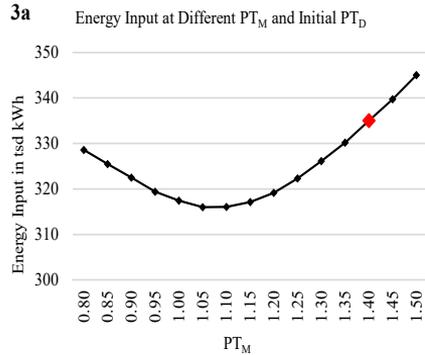


# Ausgewählte Ergebnisse Sched-Energy

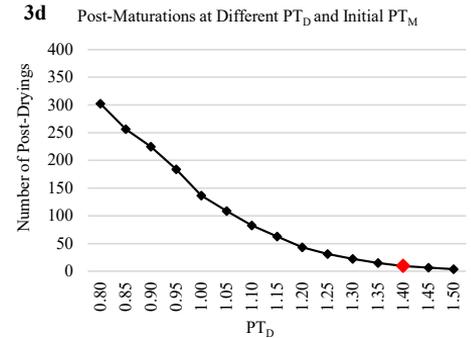
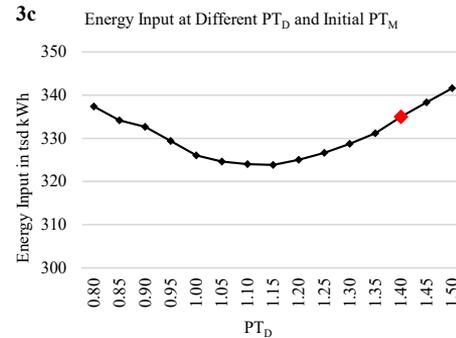
Erste Ergebnisse „Academic Case“

Roter Punkt = Derzeit verwendete Planbearbeitungszeit

Reifung

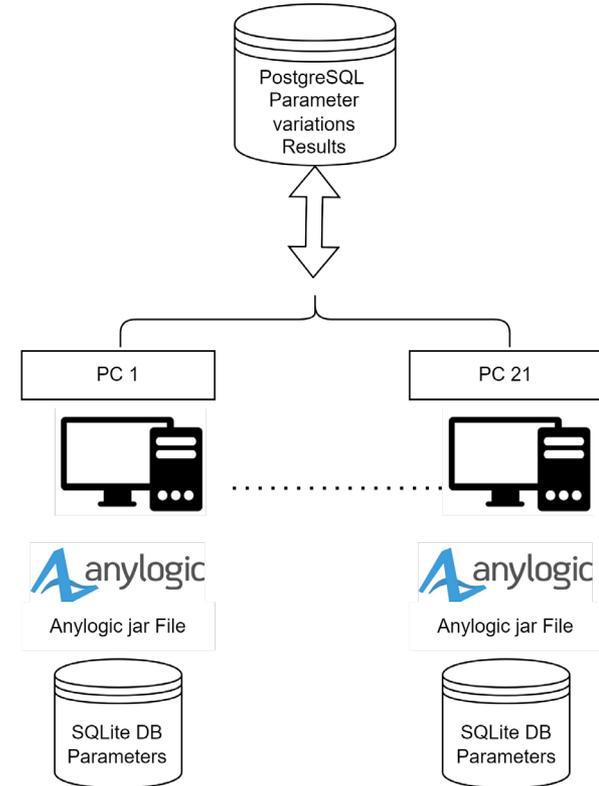
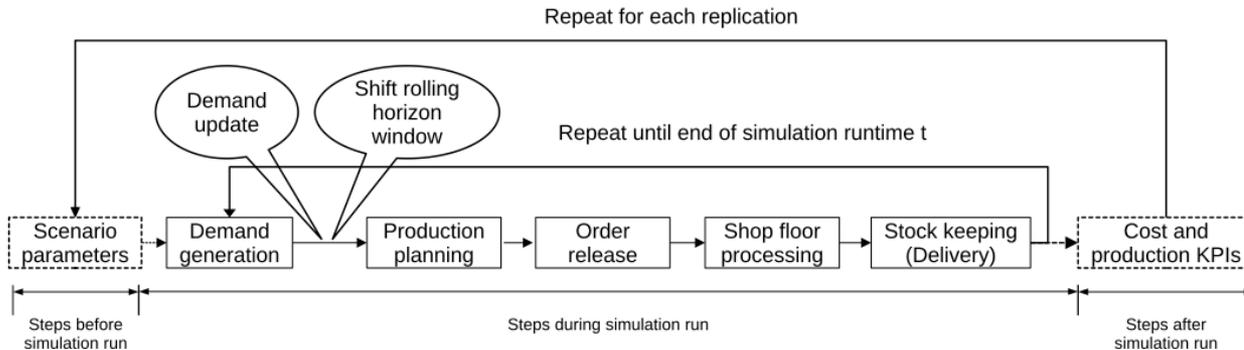


Trocknung

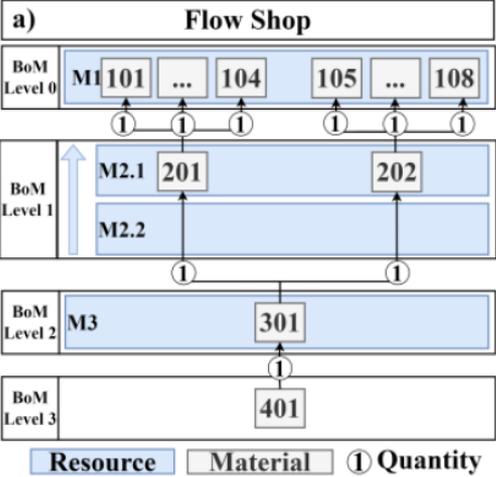


# Ausgewählte Ergebnisse MCRP

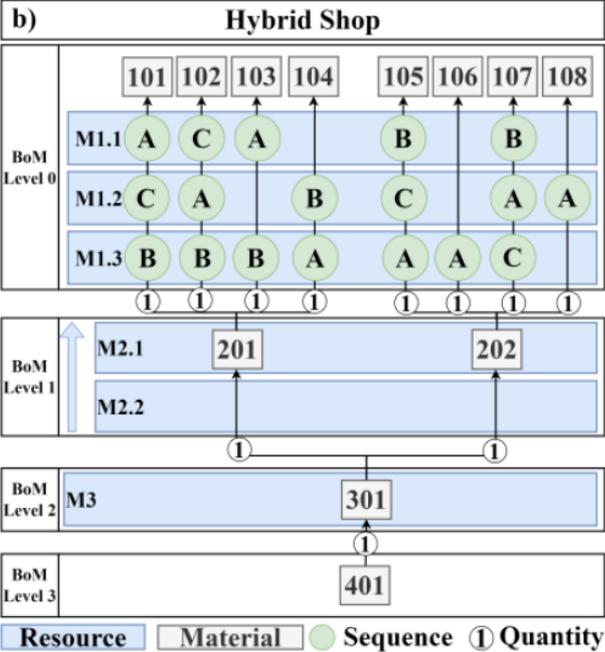
- Agent-based Anylogic simulation Model
  - > Distributed simulation experiments on 21 computers in parallel
- Anylogic jar file and local SQLite DB for model parameterization
- Central PostgreSQL DB for handling tested parameterizations and storing costing and inventory



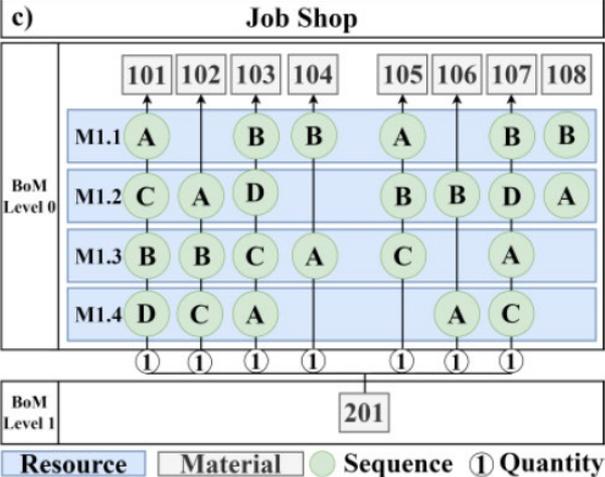
# Ausgewählte Ergebnisse MCRP



Flow Shop: Fixed, sequential process with minimal flexibility.



Combines flow and job shop characteristics.



Custom routes for different products. Only end items

**RPS:** Least effective due to high FGI costs and lack of demand info utilization.

**ConWIP vs MRP:** ConWIP performs better in flow and hybrid systems (0.85, 0.90 loads).  
 •MRP outperforms ConWIP at higher loads (0.95).

**Job Shop:** MRP generally superior, but ConWIP excels at a shop load of 0.95.

Cost Components ● Costs WIP Component ● Costs Component ● Costs WIP Item ● Costs FGI ● Costs Tardiness

