

INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND -SYSTEME (IPTS)

Modellierung und Simulation technischer
Systeme und Prozesse

2026



ARBEITSGRUPPE MODELLIERUNG UND SIMULATION TECHNISCHER SYSTEME UND PROZESSE



Prof. Dr.-Ing. Jens Heger

Modellierung und Simulation technischer
Systeme und Prozesse

Institut für Produktionstechnik und -systeme
Universitätsallee 1, 21335 Lüneburg
jens.heger@leuphana.de
Tel.: 04131/677-1881



www.leuphana.de/institute/ipts/modellierung-und-simulation-technischer-systeme-und-prozesse.html



Kristin Müller, M.Sc.
kristin.mueller@leuphana.de



Ole Christian Prüfer, M.Eng.
ole.pruefer@leuphana.de



Marvin Chyke Hempel, M.Sc.
marvin.hempel@leuphana.de



Bek-Myrza Nurmatov, M.Sc.
bek-myrza.nurmatov@leuphana.de



Lea Wollschläger, M.Sc.
lea.wollschlaeger@leuphana.de



Roman Krämer, M.Sc.
roman.kraemer@leuphana.de



Niklas Peter, M.Sc.
niklas.peter@leuphana.de

AKTUELLE PROJEKTE & THEMEN

Multiblis5G

Prädiktive Prozesssteuerung und -optimierung im Bereich Arzneimittelversorgung

DFG SPP 2422

Datengetriebenes Modell zur Wirkflächenauslegung von Tiefziehwerkzeugen

TriCo

Netzwerkaufbau „Nachhaltige Produktion“ zur Verzahnung von Forschung und Industrie

EVOLVE5G

Entwicklung von Methoden für 5G-gestützte Prozessoptimierung in KMU

ZLW

Prädiktive Pumpensteuerung zum Hochwasserschutz in Küstenregionen

AutoSim

LLM & SLM Multi-Agenten-Systeme zur Generierung von Simulationsmodellen (DES)

KoboHand

Kollaboratives KI-gestütztes Handling biegeschlaffer Bauteile

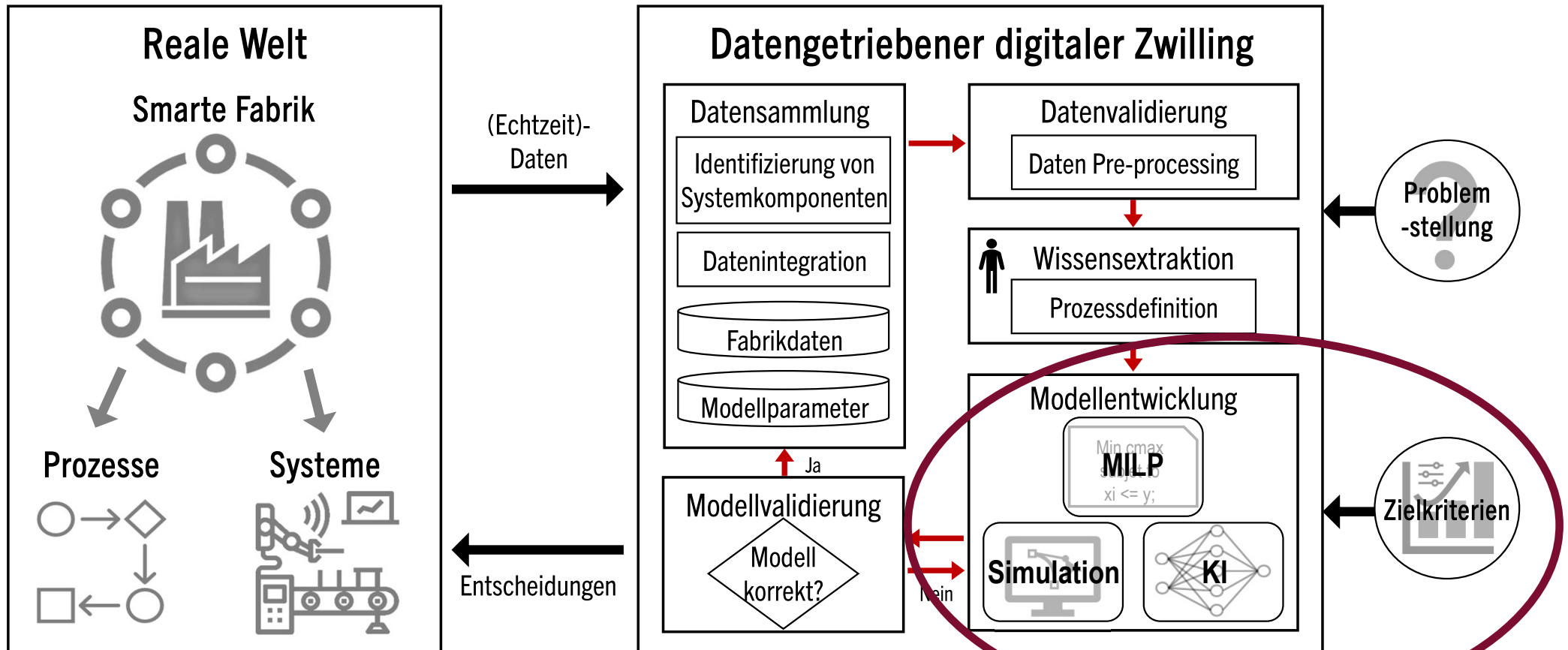
SEFLI

Entwicklung eines datenschutzkonformen LKW-Überwachungssystems

Industrie & OR

ML-gestützte Lösungen für Produktionsplanung und -steuerung

DATENGETRIEBENER DIGITALER ZWILLING



In Anlehnung an: Friedrich, J., Francis, D. P., Lazarova-Molnar, S., et al. (2022). A framework for data-driven digital twins of smart manufacturing systems. Computer in Industry, 136

AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE UND -THEMEN

Prozessoptimierung und Entscheidungsunterstützung

Reale Welt



Modellierung & Simulation



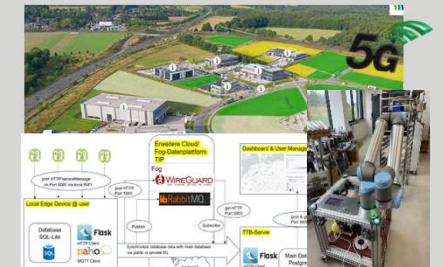
Reihenfolge-/Layoutplanung mit Reinforcement Learning



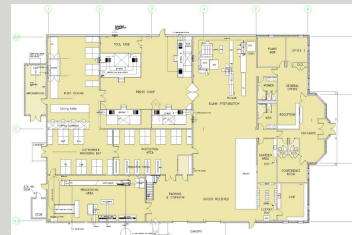
Datengetriebene Modellierung im Tiefziehen



5G zur Prozessoptimierung Technologiepark Buchholz

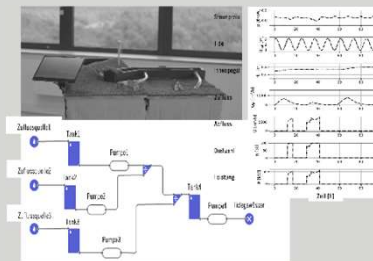


Simulationen Fabriklayoutplanung (Industrieaufträge)

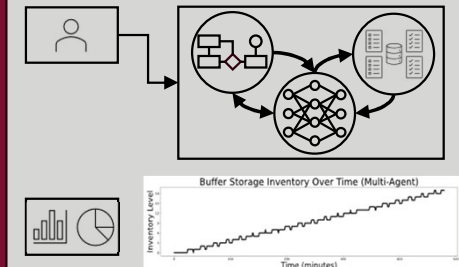


Quelle: <http://mhad.co.uk/zenphoto/index.php?album=technical-rubber-products-hereford&image=usa-layout.jpg>

Energieflexibilität Steuerung Entwässerungssysteme



LLM Multi-Agenten-Systeme für Simulationserstellung



Prof. Dr.-Ing. Jens Heger

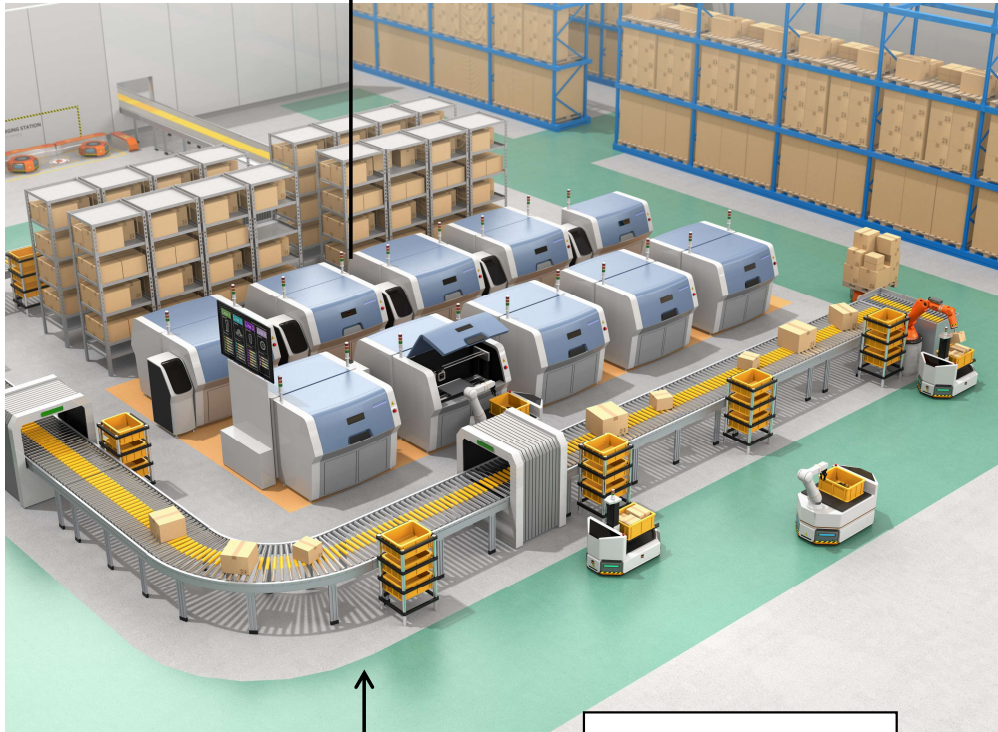
Modellierung und Simulation technischer Systeme und Prozesse

Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Produktionstechnik und –systeme (IPTS)
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg

Fon 04131.677-1881
jens.heger@leuphana.de

www.leuphana.de/institute/ipts

Real world
Production – Factory layout

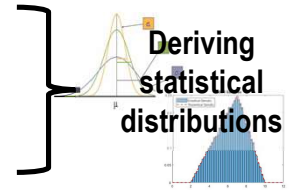


Customization of the factory layout

Digital twin
Simulation model

Data collection

- Historical production & order data
 - Processing times
 - Personnel requirements
 - Order quantities
- Current vs. future factory layout



Creation of a digital twin of the planned production

Validation and verification of the model

Model ok?

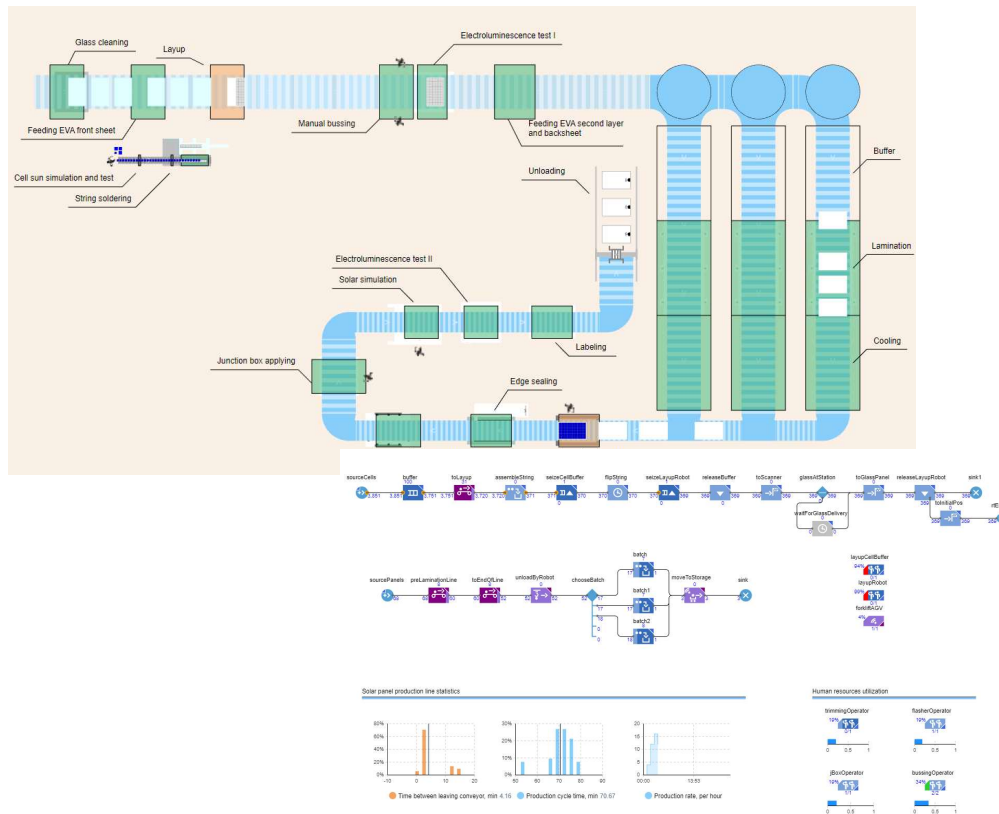
Implementation of simulation studies

Statistical evaluation of the results

Adaptation of the model

OPTIMIERUNG VON PRODUKTIONS- UND LOGISTIKPROZESSEN

INDUSTRIEAUFTRÄGE / GRUNDLAGENFORSCHUNG



Motivation:

- Einsatz von Simulationsmodellen und Simulationsstudien zur Optimierung von Routen- & Reihenfolgen in der Produktion und Logistik
- Einsatz von bestärkendem Lernen zur Weiterentwicklung vorhandener Routen- & Reihenfolgeregeln

Ziele:

- Mit einem Simulationsmodell Erkenntnisse erlangen, die auf die Wirklichkeit übertragen werden können
- Mittels ereignisdiskreter Simulation Produktionsplanung und -steuerung automatisieren und optimieren
- Mit Hilfe eines Simulationsmodells die Produktions- / Logistikprozesse möglichst optimal – entsprechend der gewählten Zielgröße - gestalten

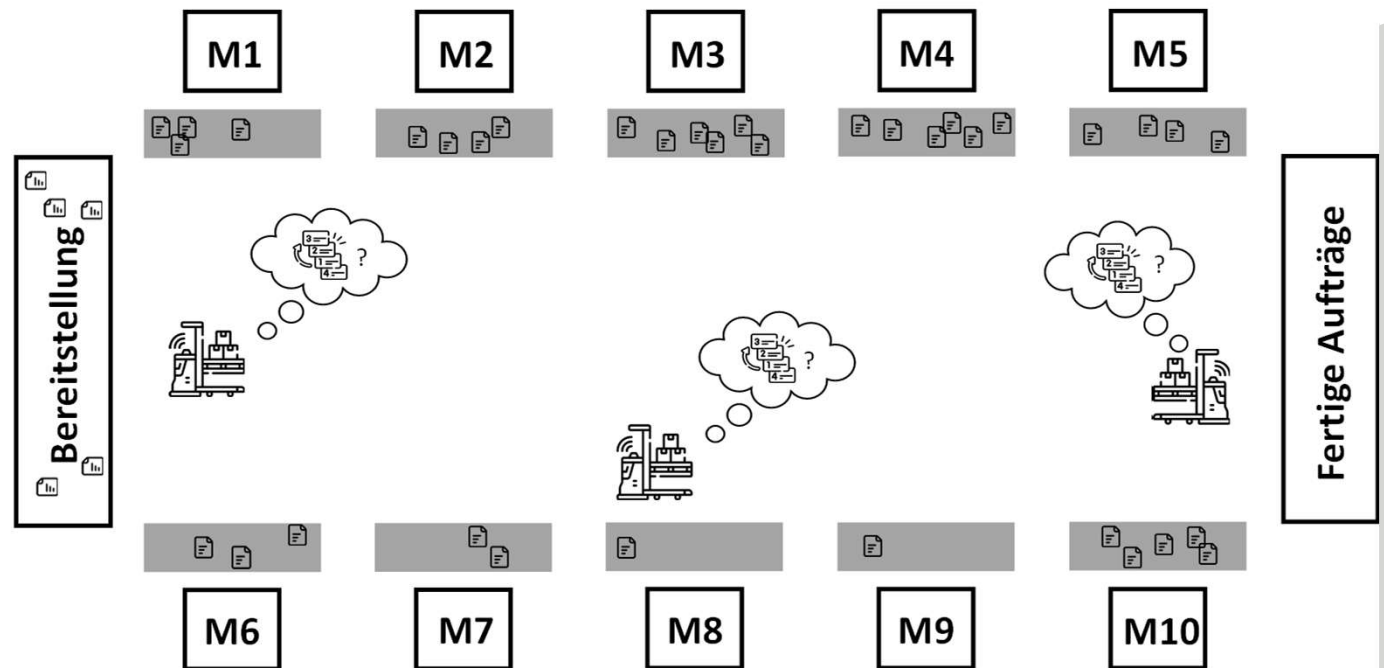
Anwendungsbeispiele:

- The Impact of AGVs and Priority Rules in a Real Production Setup – A Simulation Study (→ https://doi.org/10.1007/978-3-031-56826-8_19)
- Dynamische Losgrößenoptimierung mit bestärkendem Lernen (→ <https://doi.org/10.1515/zwf-2021-0195>)
- Einsatz von bestärkendem Lernen in der Reihenfolgeplanung mit dem Ziel der platzeffizienten Produktion (-> <https://doi.org/10.25368/2025.233>)

REIHENFOLGEPLANUNG MIT BESTÄRKENDEM LERNEN

GRUNDLAGENFORSCHUNG

- Die Produktion besteht aus zehn identischen Maschinen.
- Jede Maschine hat einen Eingangspuffer.
- Der Transport zwischen den einzelnen Stufen wird durch einen automatischen Transport realisiert.
- Die Kapazität jeder Transporteinheit ist auf eins begrenzt.
- Die Anzahl der verfügbaren Transporteinheiten ist drei.
- **Prioritätsregeln:** FIFO, FOPNR, NINQ
- RL-Agent mit **PPO** trainiert
- **KPIs:** Durchlaufzeit, Pufferauslastung



Produktionssetup für die Simulationsstudie.

MULTIBLIS 5G KOOPERATION

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ansprechperson: Niklas Peter

Kooperationspartner – multidos GmbH

- Verblisterung patientenspezifischer Medikamente
- 5000 Präparate im Sortiment
- Lieferzeit von 1 ½ Tagen nach der Bestellung
- 12 Maschinen
 - 400 – 600 Produkte pro Maschine
 - Hohe Umrüstzeiten
 - Statische Planungsheuristik
 - 3 Stunden Stillstand pro Produktionstag



<https://www.multidos.de/>

Problemstellung

Da herkömmliche Blisterautomaten nur über eine begrenzte Kapazität an Steckplätzen verfügen, führen starre und rein statische Tagesplanungen im Praxisbetrieb zu massiven Effizienzverlusten. Ohne eine zukunftsorientierte Planung und softwaregestützte Echtzeitreaktion auf kurzfristige Medikationsänderungen kommt es zu unvorhergesehenen Produktionsstopps, die tägliche hohe Maschinenstillstände verursachen.

MULTIBLIS 5G ZIEL

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ansprechperson: Niklas Peter

Intelligente Steuerung

Entwicklung eines adaptiven Steuerungsverfahrens für die proaktive und dynamische Maschinenbelegung in Echtzeit.



<https://www.apotheke-adhoc.de/nachrichten/detail/markt/blister-5-wird-multidos-blisterzentren/>

Modulares Retrofit-Konzept

Schaffung einer herstellerunabhängigen Lösung, die mit geringem Implementierungsaufwand auf bestehende Blisterautomaten übertragbar ist.

Effizienz & Auslastung

Drastische Reduktion täglicher Anlagenstillstände sowie Rüstzeiten und damit einhergehende Erhöhung der Maschinenauslastung.

EVOLVE5G

5G-BASIERTE PROZESSOPTIMIERUNG IN KMU

Motivation

5G-gestützte autonome Prozesse gelten als Schlüssel-Enabler, um KMUs trotz begrenzter Ressourcen flexibler, nachhaltiger und effizienter aufzustellen. Das volle Potenzial entfaltet sich aber erst in Synergie mit KI und Edge-Computing. Herausforderungen auf dem Weg der 5G-Adoption in KMUs:

- Beschaffungskosten der Infrastruktur
- Grundlagentechnologie 5G
- Know-how für Komponenten und Implementierung

Technologie und Innovationspark (TIP) Buchholz

Unternehmen und Hochschulen eines der deutschlandweit leistungsfähigsten und flexibelsten 5G-Campusnetze für Forschung, Entwicklung und Technologietransfer zur Verfügung



Kofinanziert von der Europäischen Union



EUROPA FÜR NIEDERSACHSEN

EVOLVE5G

5G-BASIERTE PROZESSOPTIMIERUNG IN KMU

Ziele

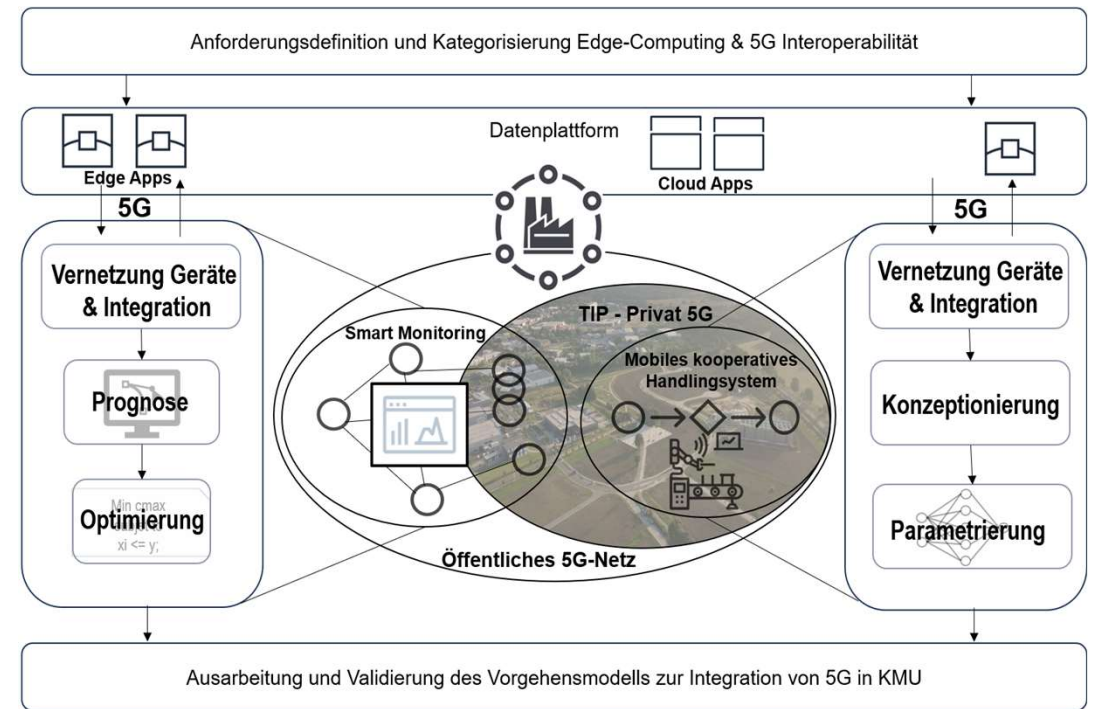
Edge- & 5G-Gerätecatalog: Entwicklung eines anwendungsorientierten Katalogs von Edge- und 5G-Geräten für KMUs, der Hardware nach Interoperabilität, Performance und Effizienz klassifiziert und die Schnittstelle zwischen 5G und Edge-Computing nutzbar macht.

Effiziente, robuste Prozesse: Realisierung datengetriebener Echtzeit-Entscheidungen und dynamischer Parameteranpassung, demonstriert über zwei Applikationen:

- Smart Monitoring zur prognosegesteuerten Prozessplanung sowie
- teilautonomes cyberphysisches Produktionssystem

Vorgehensmodell: Ausarbeitung und Validierung eines praxisnahen, kosteneffizienten Vorgehensmodells zur niedrighwelligen 5G-Integration in KMUs, erprobt in realen KMU-Umgebungen bei den Kooperationspartnern.

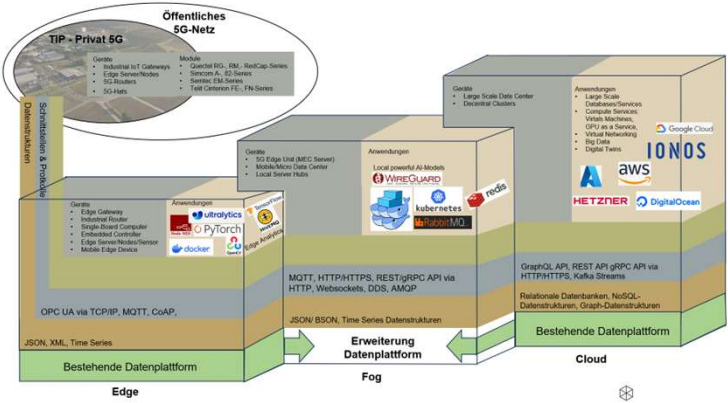
Vorgehen



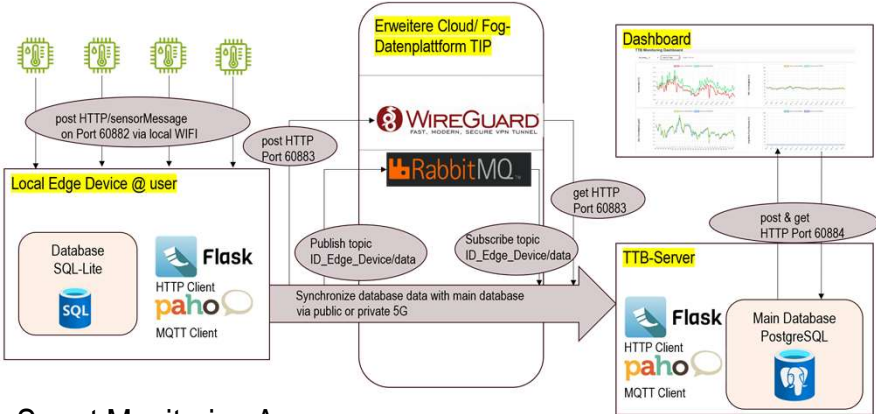
EVOLVE5G

5G-BASIERTE PROZESSOPTIMIERUNG IN KMU

Bisher entwickelte Methoden und Systeme



Standardkatalog für Datenanbindung/-integration an Plattform 5G/Edge/KI



Smart Monitoring App

Work In Progress

- Autonomes Handling-System
- Validiertes Vorgehensmodell

Publikationen

[Prue25_CMS]: Prüfer, Ole Christian; Heger, Jens: Enhancing SME Production Efficiency: A Case Study on Autonomous Manufacturing Systems, Procedia CIRP, Volume 134, 2025.

[Prue25_ASIM]: Prüfer, Ole Christian; Heger, Jens: Simulative analysis for the reconfiguration of plug & produce production systems using the NSGA2 algorithm, Konferenzbeitrag 21. ASIM-Fachtagung SPL, 2025.

KOBOHAND

KOLLABORATIVES KI-GESTÜTZTES HANDLING BIEGESCHLAFER BAUTEILE

Motivation

Das adaptive, feinmotorische Handling biegeschlaffer Textilien ist bislang nur manuell möglich und macht allein rund 59 % des Veredelungsprozesses aus. Materialbedingte Qualitätsschwankungen (Fadenspannung, Maschenweite, Dehnverhalten etc.) verhindern eine prozesssichere Automatisierung, während Fachkräftemangel und demografischer Wandel diese monotonen, körperlich belastenden Tätigkeiten zunehmend unbesetzbar machen. Bestehende Lösungen aus Computer Vision und Greifrobotik adressieren nur Teilaspekte. Um die wettbewerbsfähige Produktion am Hochlohnstandort Deutschland zu sichern, braucht es daher einen neuartigen, intelligenten Ansatz, der Objektdetektion, adaptive Greiftechnik und Echtzeit-Prozesskontrolle verzahnt.



uvex



KOBOHAND

KOLLABORATIVES KI-GESTÜTZTES HANDLING BIEGESCHLAFER BAUTEILE

Ziele

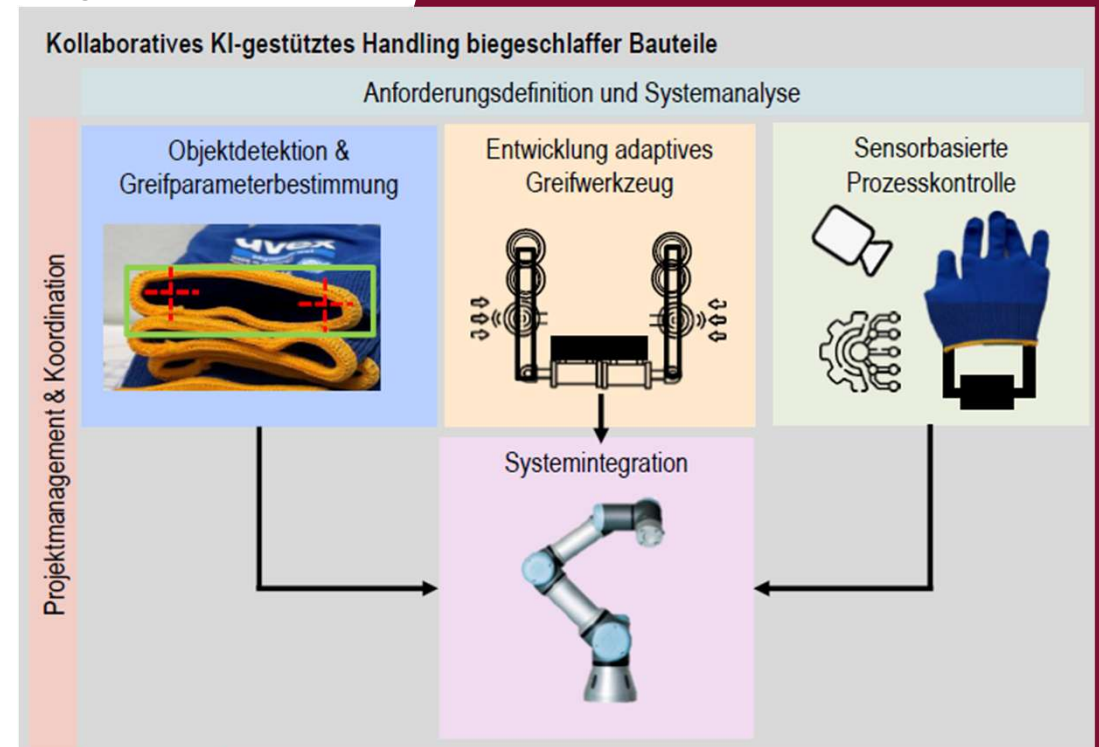
Zuverlässige Greifparameterbestimmung: Entwicklung eines Bildverarbeitungssystems zur robusten Detektion biegeschlaffer Handschuhrohlinge in teilstrukturierter, gestapelter Anordnung, das Lage und Form einzelner Bauteile identifiziert und geeignete Greifparameter ableitet

Adaptives Greifwerkzeug: Konstruktion eines flexiblen Endeffektors für das Handling biegeschlaffer Textilien, der in das Handschuhbündchen einfährt, vereinzelt, aufdehnt und über taktile sowie kraftmessende Sensorik situativ auf Materialvarianzen reagiert.

Sensorbasierte Prozesskontrolle: Realisierung einer prozessbegleitenden Greif- und Aufziehkontrolle, die über kamerabasierte Rückmeldung und taktile Sensorik den Greiferfolg bewertet und Cobot-Pfad sowie Werkzeugposition in Echtzeit anpasst, um eine selbstständige Fehlerkorrektur zu gewährleisten.

→ Ganzheitliche Systemintegration

Vorgehen



DFG SPP 2422

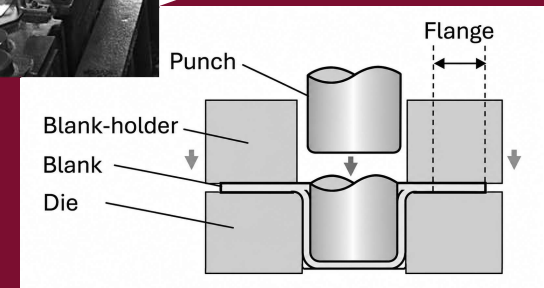
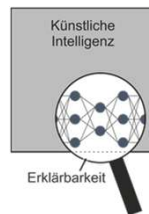
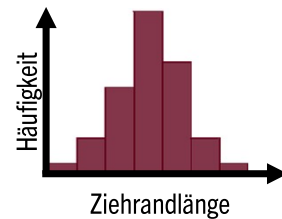
WIRKFLÄCHENAUSLEGUNG VON TIEFZIEHWERKZEUGEN

Motivation

Während des Tiefziehens von Blechteilen können Parameterschwankungen und Störungen, auch als Prozessrauschen bezeichnet, zu Qualitätsabweichungen beim gewünschten Bauteil führen. Künstliche Intelligenz und Algorithmen zunehmend fähig Prozessverhalten erklärbar zu machen sowie diese in die Prediktionsmodellierung einzubinden.

Ziele

Mit Hilfe von KI sollen die Einflüsse des Prozessrauschens identifiziert und eine Methodik zur Bewertung der Prozessrobustheit herausgearbeitet werden. Resultat ist ein interpretierbares Modell für Prozessrauschen zur Auslegung eines robusten Werkzeugs, um die Fertigung qualitativ hochwertiger Bauteile zu gewährleisten.



Tiefziehverfahren

Das Tiefziehverfahren ist nach DIN 8584 das Wirken von Zug- und Druckkräften eines Blechzuschnitts in einen Hohlkörper. Hierbei bleibt die Dicke des Blechs konstant.

DFG SPP 2422

WIRKFLÄCHENAUSLEGUNG VON TIEFZIEHWERKZEUGEN

Vorgehen und bisherige Ergebnisse	Publikation
Synthetische und experimentelle Daten lassen sich durch „Transfer Learning“ kombinieren	Link
Die Erweiterung zu „Transfer Active Learning“ konnte den Datenbedarf für Versuche im realen Produktionsprozess reduzieren.	Link
Prozessrauschen wird durch probabilistische Modellierungsansätze in die Vorhersage integriert. Ergänzend wurde mit Entropy-PFI ein neuer XAI-Ansatz eingesetzt, um die Prozesszusammenhänge zu erklären und gleichzeitig eine gezielte Sensorbewertung zu ermöglichen.	Link
Durch den Einsatz des Anomalieerkennungsalgorithmus AAMP lassen sich Sensordrift und Risse im Metall während des Tiefziehens werkzeugunabhängig und gezielt erkennen.	Link

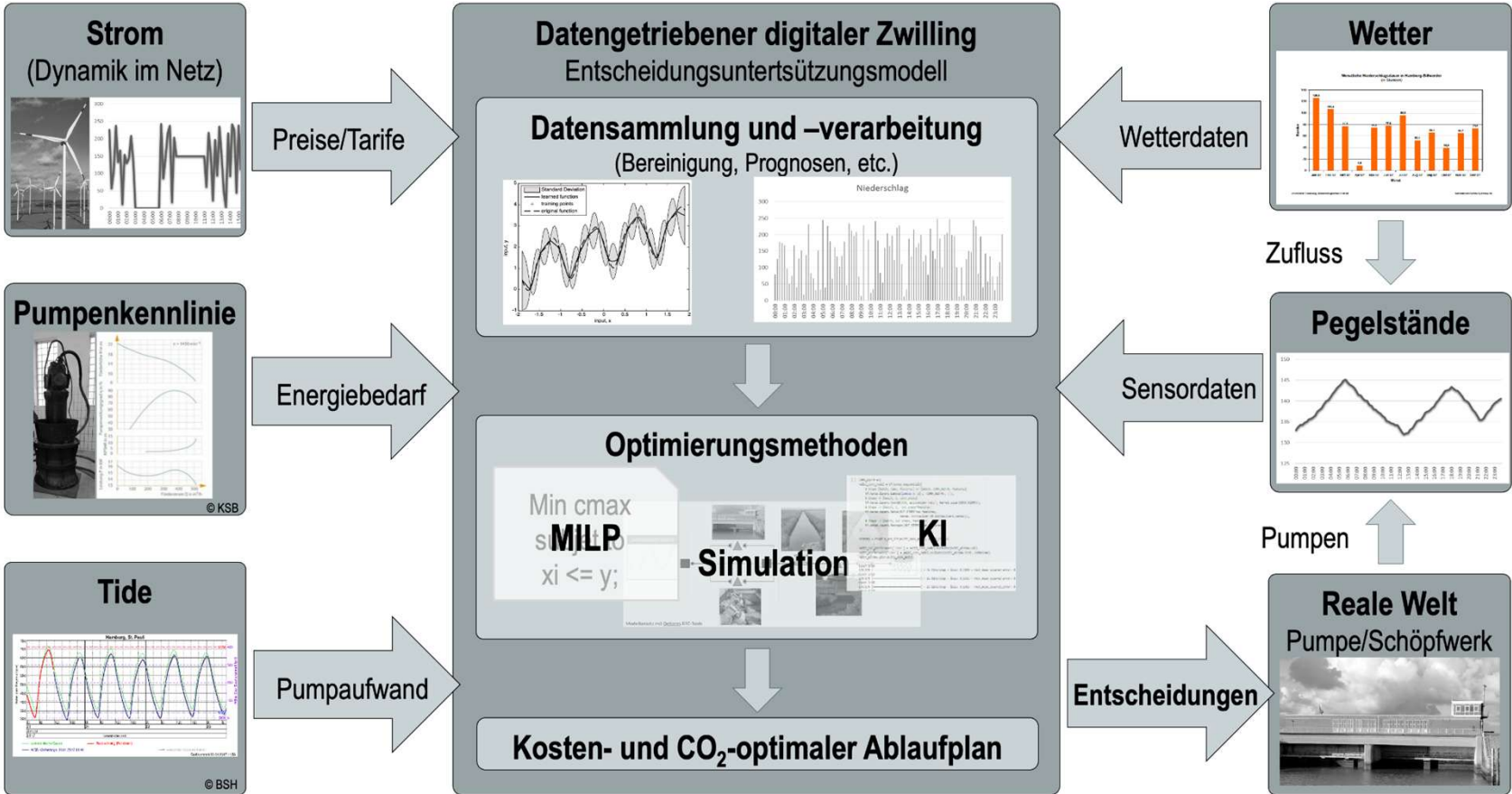
Ideen für die weitere Entwicklung

- Vergleich probabilistischer Vorhersagemodelle für den Tiefziehprozess
- Entwicklung eines Entscheidungsframeworks zur Erklärung von Prozessverhalten und Sensordrift
- LLM als Vergleich und ggf. Ersatz für Domänenwissen
- Kombination aus Anomalieerkennung, probabilistischer Modellierung und XAI zur präzisen und nachvollziehbaren Abbildung des Prozessverhaltens als Grundlage für die gezielte Auslegung von Wirkflächen

Ansprechperson: Marvin Hempel

ZUKUNFTSLABOR WASSER (INWAS)

INDIKATORBASIERTE WASSER- UND ENERGIESTRATEGIE FÜR BE- UND ENTWÄSSERUNG



Gefördert im Niedersächsischen Vorab durch:
 VolkswagenStiftung
 Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

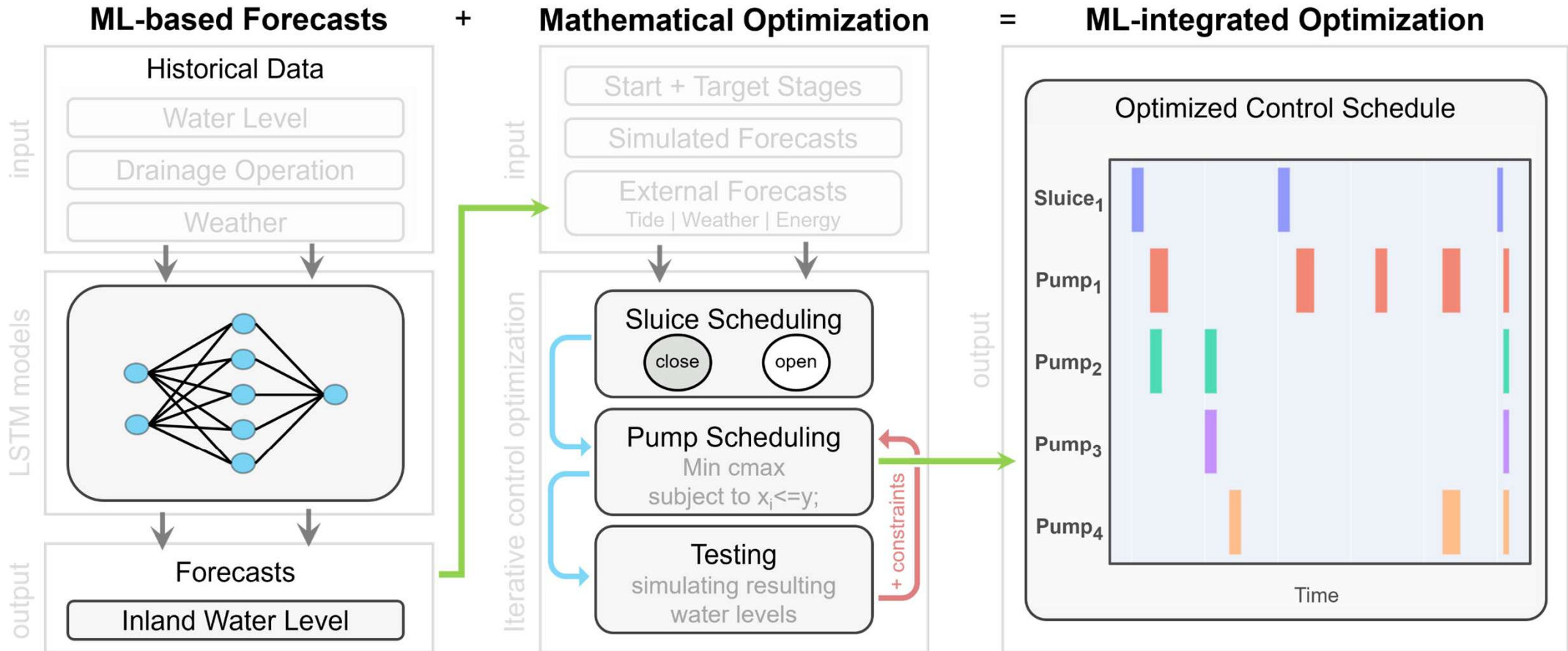
Betreut durch:
 ZDIN
 Zentrum für digitale Innovationen
 Niedersachsen

Projektpartner:
 Technische Universität Braunschweig

Sonstige geförderten Institutionen:

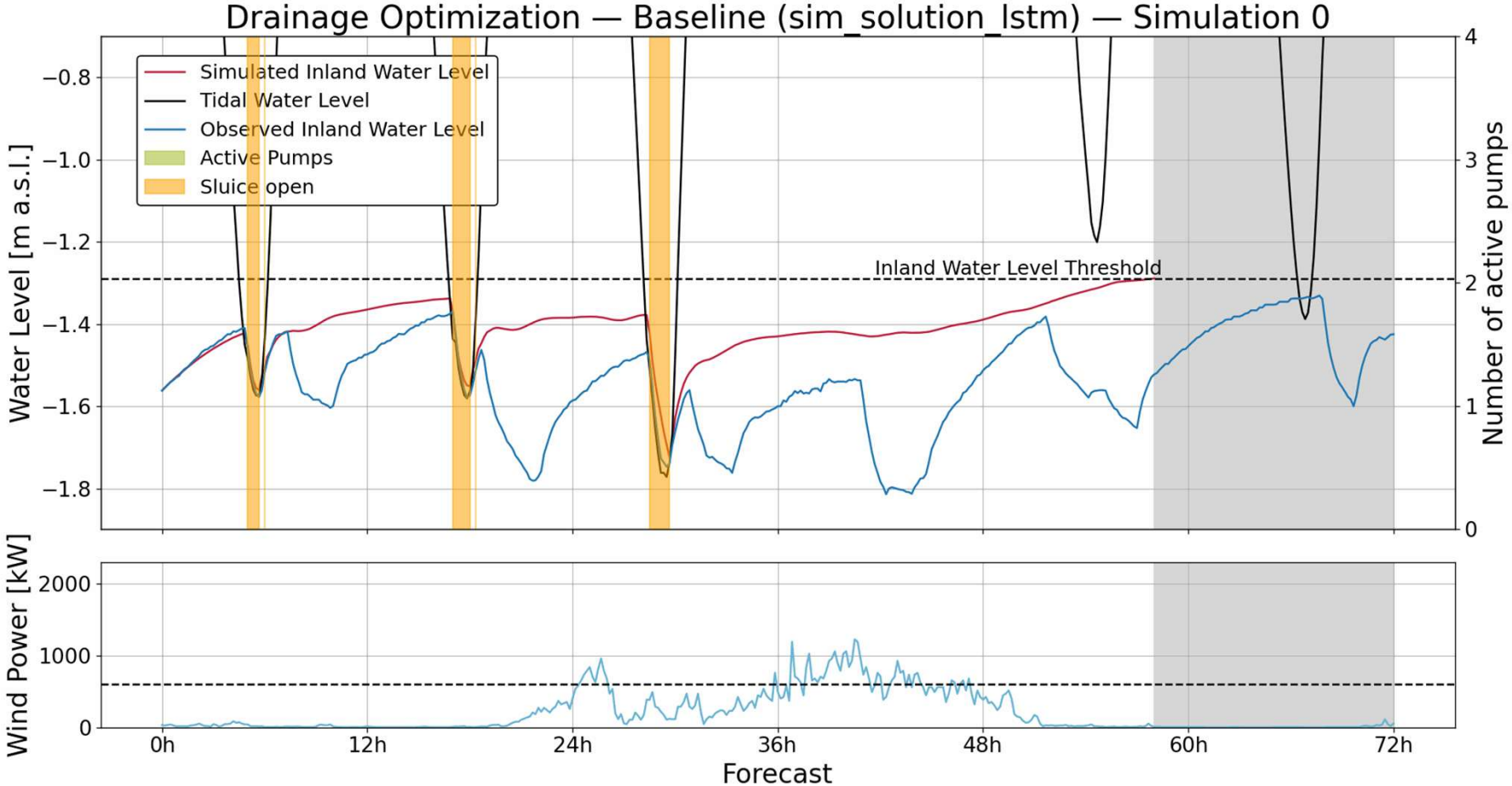
INWAS

DATENGETRIEBENE PROGNOSEN UND OPTIMIERUNG



INWAS

DATENGETRIEBENE PROGNOSEN UND OPTIMIERUNG



SEFLI

SENSOR-FUSION UND DEEP LEARNING FÜR RADAR-GESTÜTZTE INTELLIGENTE LASTWAGENSICHERHEIT

Entwicklung eines zuverlässigen Lkw-Sicherheitssystems, das Radar, Beschleunigungssensoren und Infrarot-/RGB-Kameras integriert, um die Sicherheit zu erhöhen und Frachtdiebstahl zu verhindern.

Modellierungsmethoden:



Sensorfusion

Kombination von Radar- und Infrarot-/RGB-Sensordaten



Multi-Objekt-Tracking

Dynamische Verfolgung und Klassifizierung potenzieller Bedrohungen



Zustandsklassifizierung

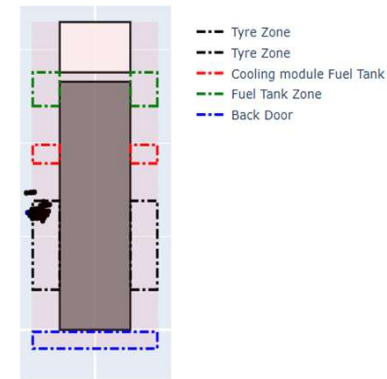
Analyse der Lkw-Bedrohungslage basierend auf dreiachsigen Beschleunigungsdaten



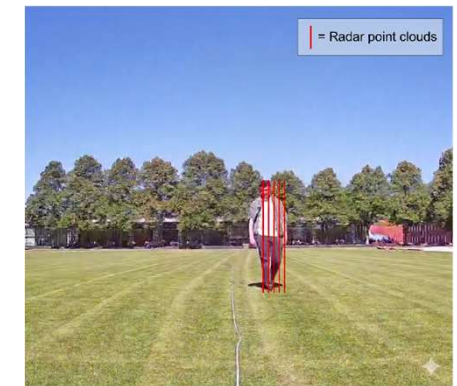
Risikobewertung

Echtzeit-Bedrohungsevaluierung und dynamisches Scoring

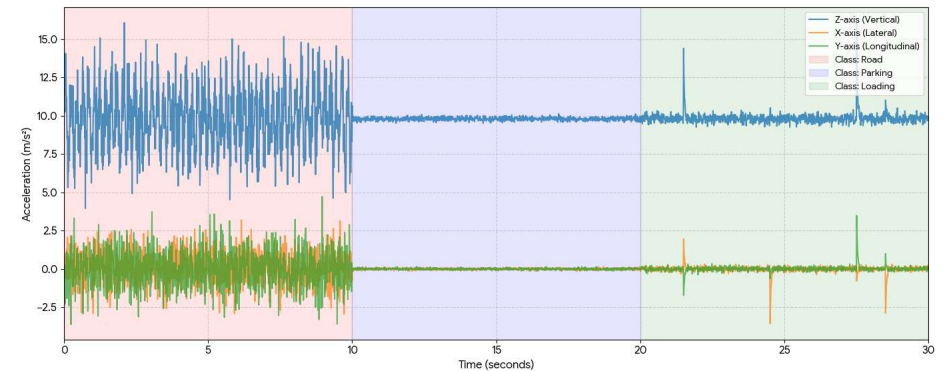
Radar Point Cloud data



Radar-Camera Fusion

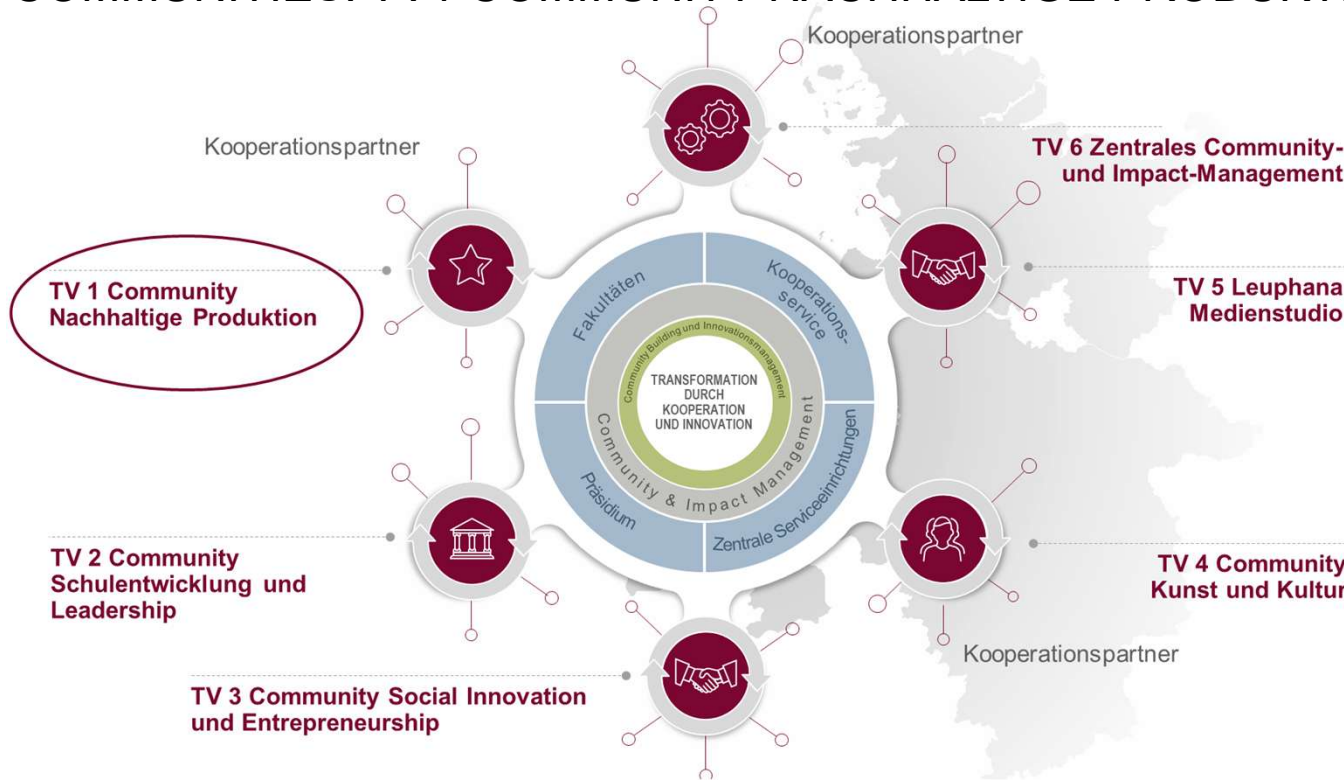


Accelerometer based Truck Mode Classification



TRICO

TRANSFORMATION DURCH INNOVATION UND KOOPERATION IN COMMUNITIES: TV1 COMMUNITY NACHHALTIGE PRODUKTION



Transformation in Unternehmen

Mit dem Aufbau der **Community „Nachhaltige Produktion“** verfolgt die Leuphana das Ziel, einen **Beitrag** zur **Nachhaltigkeitstransformation** in Unternehmen zu leisten.

Im Fokus steht die **resiliente Umgestaltung** von Strategien, Produktion und technischen Einzelprozessen. Eine **ganzheitliche Betrachtung** des Lebenszyklus bildet die Grundlage hin zu **ökologisch** **verträglichen** und **ressourcenschonenden, technisch umsetzbaren** und **ökonomisch tragfähigen** Produkten und Prozessen.

Über den **forschungsbasierten Wissenstransfer** werden das Thema sowie Lösungsmethoden aus der Wissenschaft zugänglich gemacht und regelmäßig in **innovativen Kooperationsformaten** bearbeitet.



Gefördert durch:



TRICO - LEUPHANA COMMUNITY NACHHALTIGE PRODUKTION

FOKUSTHEMEN

Energiemanagement



Durch **Messungen** im Prozess werden Verbrauchsdaten erfasst und analysiert, um gezielt **Optimierungspotenziale** zu identifizieren.

Optimierungen erfolgen durch Einführung einfacher Maßnahmen wie das bedarfsgerechte Ein- und Ausschalten von Anlagen bis hin zu **numerischen Optimierungen** für komplexere **Effizienzsteigerungen**.

Produktionsplanung



Nachhaltige Produktion beginnt in der Planung. Im Rahmen eines ganzheitlichen Circular Economy Managements werden **zirkuläre Supply Chains** und notwendige Anpassungen in der Produktion betrachtet.

Die zunehmende Systemkomplexität wird mithilfe von **Simulationsmodellen** über den gesamten **Lifecycle** hinweg abgebildet und analysiert.

Prozesse & Materialien



Durch den Einsatz neuer Materialien und Entwicklung innovativer Recyclingverfahren entstehen ressourcenschonende Lösungen für **nachhaltige Fertigungstechnik**.

Die Verfahren werden an Demonstratoren validiert. **Aluminiumspanabfall** wird zur Extrusion neuer Profile genutzt, was signifikante **Energieeinsparungen** ermöglicht.

AGENTIC AUTOSIM

LLM- UND SLM-BASIERTE MULTI-AGENTEN-SYSTEME ZUR GENERIERUNG UND VALIDIERUNG VON SIMULATIONSMODELLEN FÜR PRODUKTIONS- UND LOGISTIKPROZESSE

Motivation

Vorbereitungsaufwände und domänen-spezifische Expertise für die Modellierung schränken den Einsatz ereignisdiskreter Simulation (DES) ein, obwohl sie statischen Methoden bei Planung und Optimierung komplexer, dynamischer Produktions- und Logistiksysteme überlegen ist.

Ziel

Dynamisch erzeugte, modulare Large Language Model- und domänenspezifische Small Language Model-basierte Multi-Agenten-Systeme sollen Modellerstellung und -validierung übernehmen, um Simulation als Methode zugänglicher zu machen.

Forschungsansatz und Implementierung eines Demonstrators

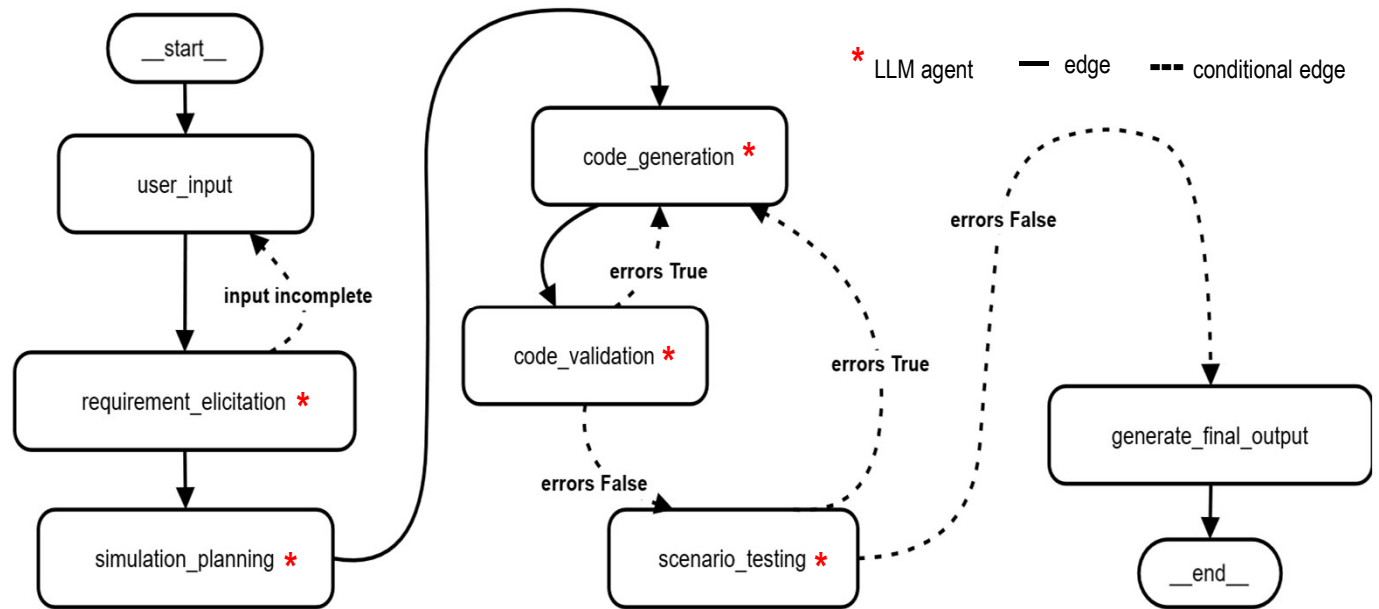
Input:

Prozessbeschreibung und -daten aus systematischem Interview mit Anwender



Output:

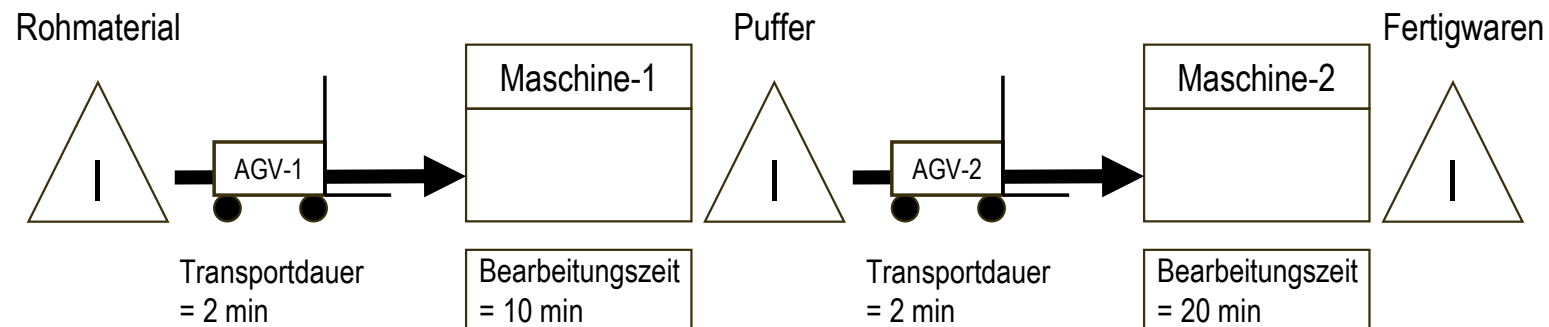
Code validiertes Simulationsmodell, Simulationsergebnisse, Einschätzung zu Optimierungen



Simulation Notes Europe SNE 36(1), 2026, 9-14, DOI: 10.11128/sne.36.tn.10762
<https://github.com/romankraemer/SNE2025>

AGENTIC AUTOSIM ANWENDUNG IN FALLSTUDIE

MATERIALFLUSS PRODUKTIONSSZENARIO FÜR MODELLERSTELLUNG

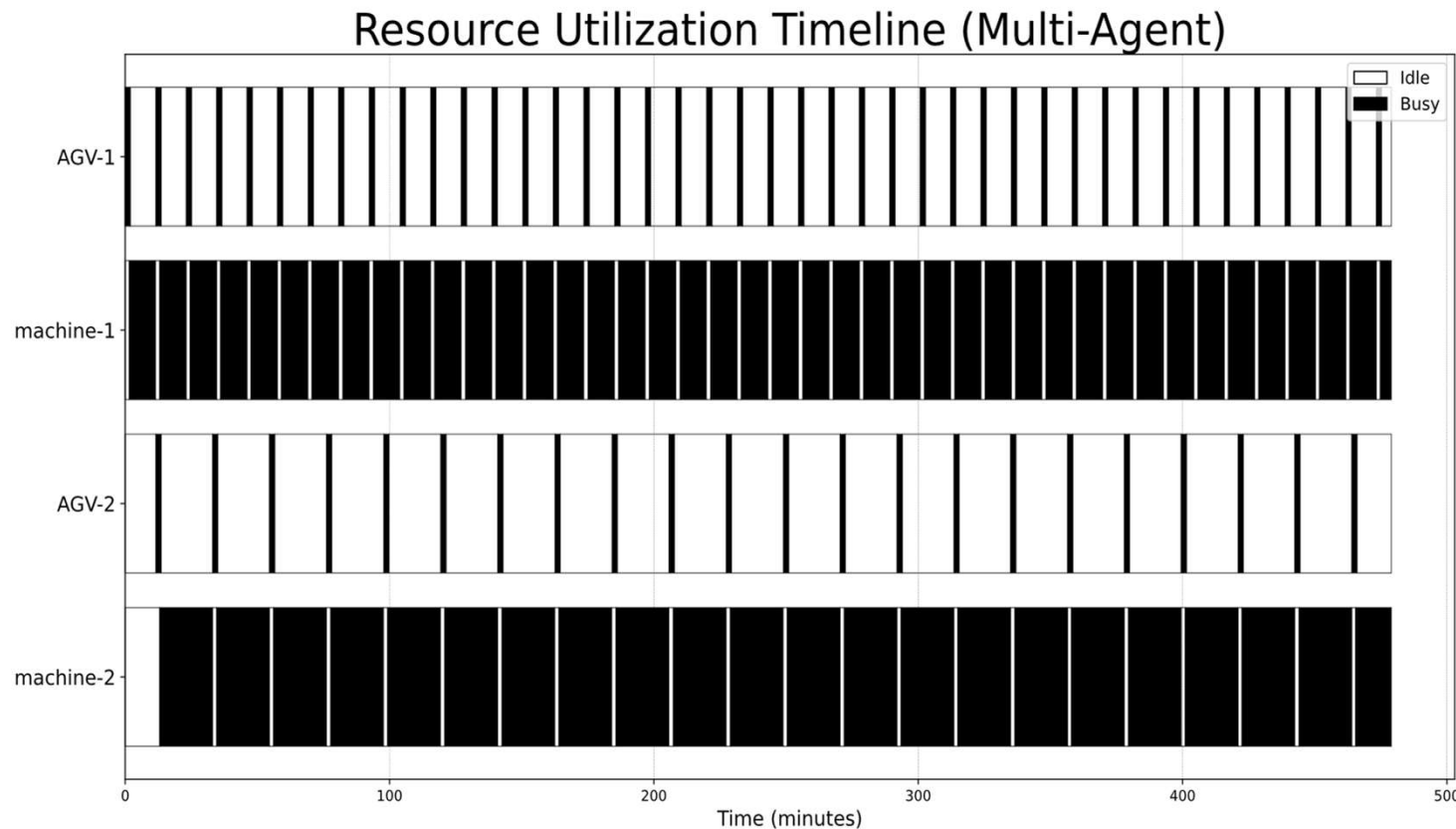


- AGVs haben **Pull-Steuerungslogik** mit Ereignisauslösung durch die beiden Maschinen:
 - AGV-1 beginnt Transportzyklus, wenn Maschine-1 leer & Rohmaterial im Rohmateriallager vorhanden
 - AGV-2 beginnt Transportzyklus, wenn Maschine-2 leer & ein Zwischenprodukt im Pufferlager vorhanden
- Rohmateriallager mit Anfangsbestand von 100 Einheiten (wird nicht aufgefüllt)
- Pufferlager direkt angebunden an Maschine-1 (Transportdauer = 0 min, unbegrenzte Kapazität)
- Fertigwarenlager direkt angebunden an Maschine-2 (Transportdauer = 0 min, unbegrenzte Kapazität)

➡ Szenario hat **Flaschenhals**: Bearbeitungszeit in Maschine-2 doppelt so lang wie in Maschine-1

SIMULATIONSERGEBNISSE AUS ERSTELLTEM MODELL

BELEGUNG DER MASCHINEN UND AGVS IM ZEITVERLAUF

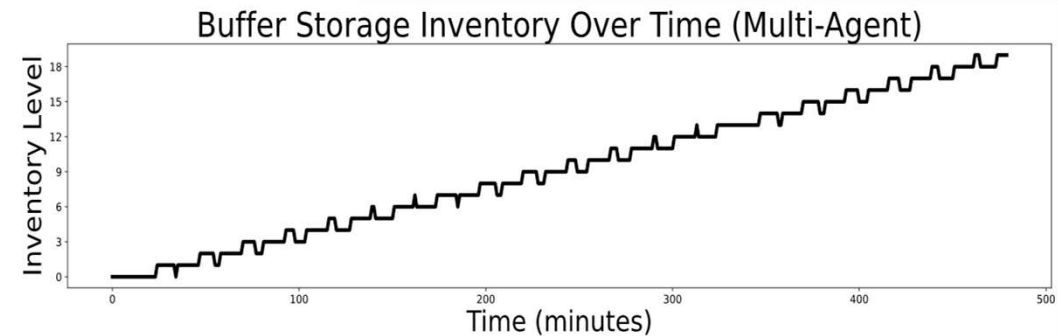
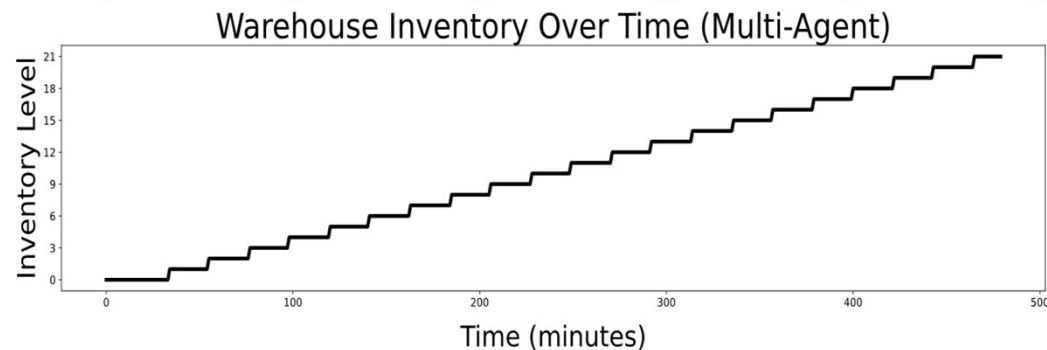
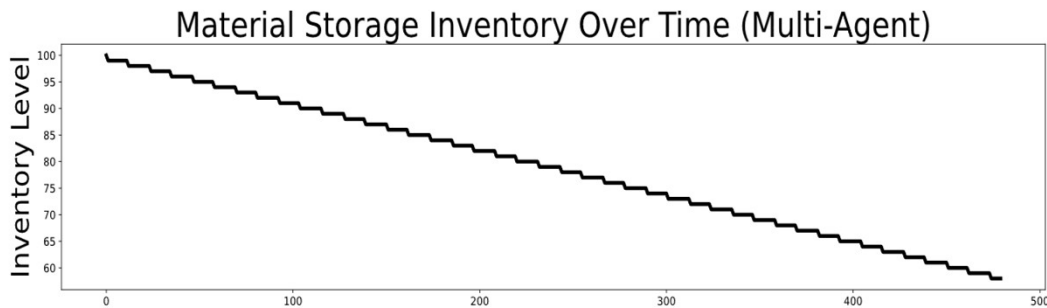


Durch Flaschenhals in Maschine-2 bedingte Ergebnisse werden korrekt abgebildet:

- Hohe Belegung der Maschinen
- Maschine-2 seltener beliefert
- AGV-1 häufiger genutzt
- AGV-2 seltener genutzt
- realistische Verzögerungen wegen Pull-Steuerung zwischen Bearbeitungsende und Bearbeitungsanfang eines neuen Auftrags durch Transport- und Handhabungszeiten

SIMULATIONSERGEBNISSE AUS ERSTELTEM MODELL

BESTAND IN LAGERN IM ZEITVERLAUF



Nach Anlaufphase:

- Rohmateriallager Abfluss konstant alle 10 min
- Fertigwarenlager Zufluss konstant alle 20 min
- Pufferlager füllt sich zunehmend wegen Flaschenhals in Maschine-2

Von System erteilte **Handlungsempfehlung**:

„... If increased throughput is desired, improvements should focus on machine-2's processing time or capacity, as it is the limiting factor in the production system.“

Prof. Dr.-Ing. Jens Heger

Modellierung und Simulation technischer Systeme und Prozesse

Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Produktionstechnik und –systeme (IPTS)
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg

Fon 04131.677-1881
jens.heger@leuphana.de

www.leuphana.de/institute/ipts