

Potentiale der Digitalisierung von Kunststoffverarbeitungsprozessen am Beispiel eines Digitalen Zwillings

Marco Klute

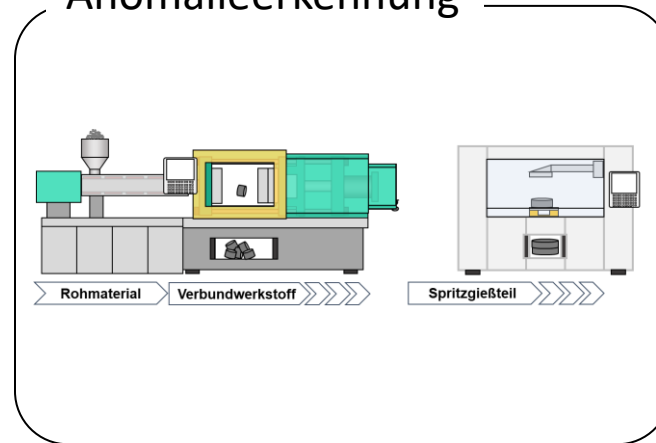
Mitgliederversammlung Innovationszentrum Kunststofftechnik e.V.

25.01.2023

Einsatz von ML und Simulation am IfW



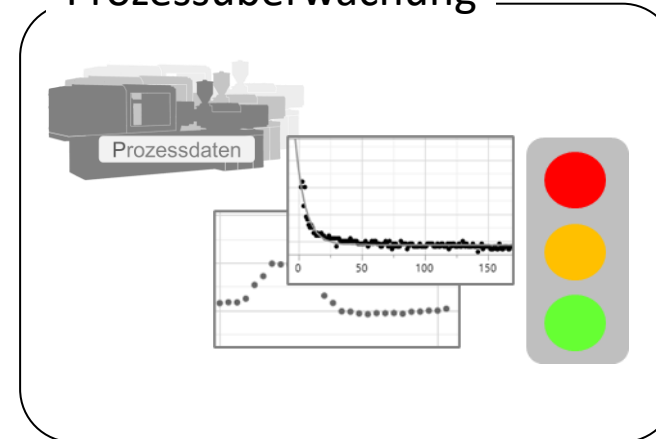
Anomalieerkennung



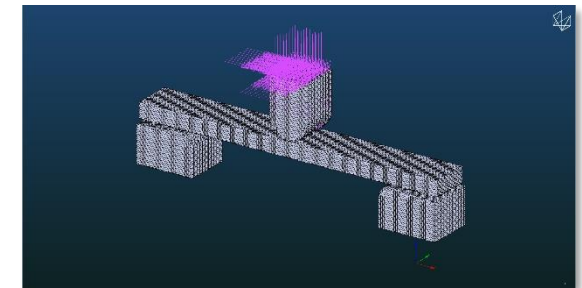
Simulationsbasierte Betriebspunktberechnung



Prozessüberwachung



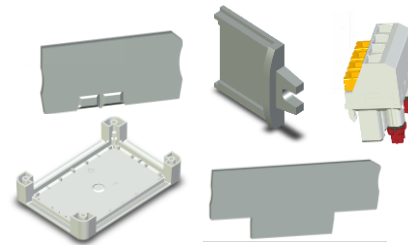
Gekoppelte Simulation



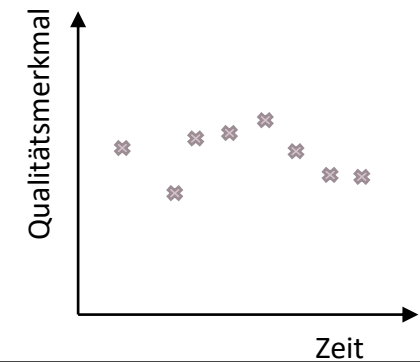
Geplante Aktivitäten am IfW



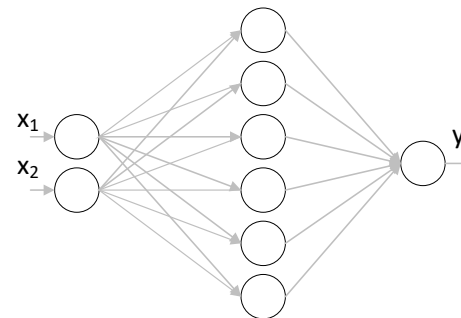
Ähnlichkeitsanalyse von Spritzgießbauteilen



Bewertung der Prozessstabilität



Langzeitstabilität von Prozessmodellen



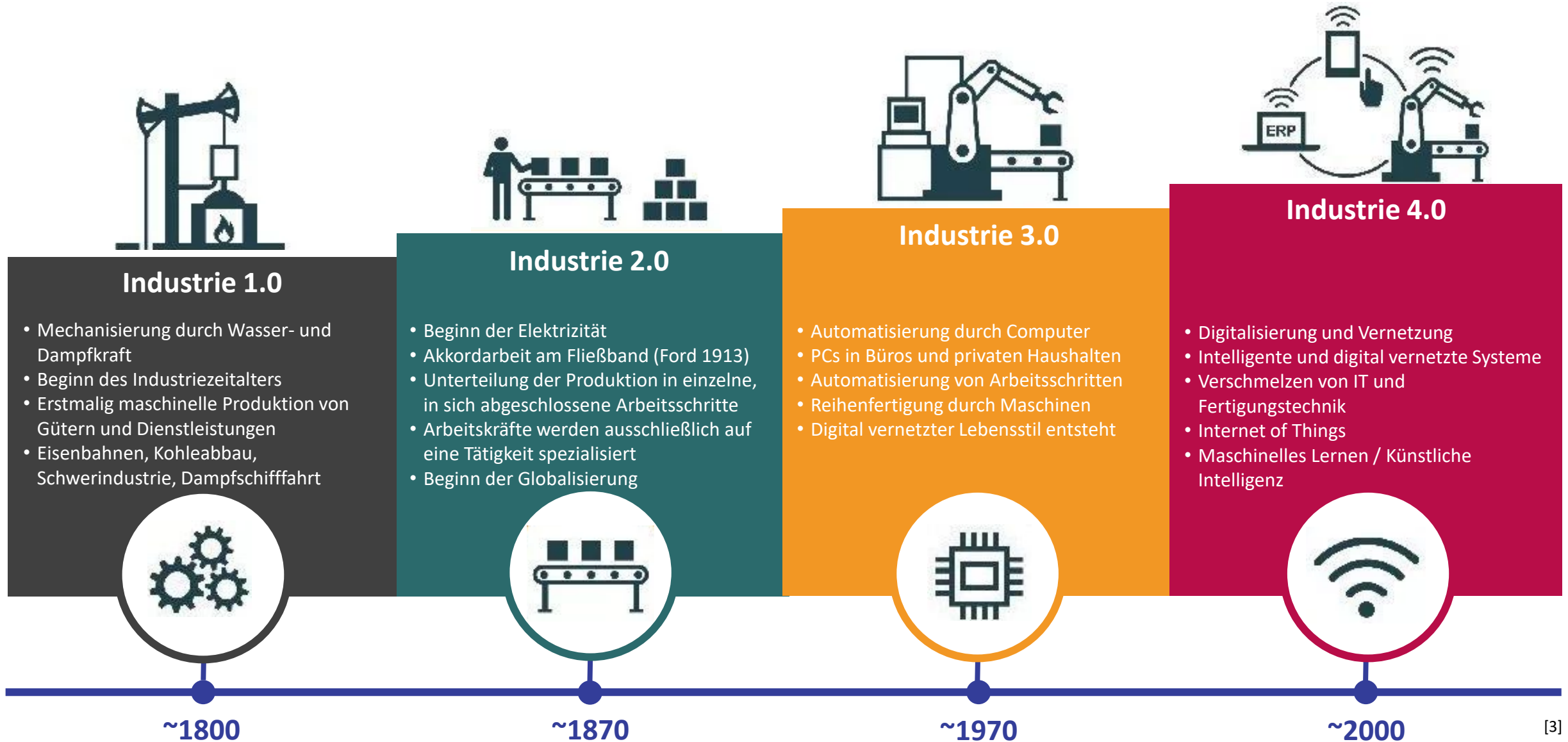
Cybersicherheit digitalisierter Prozessketten



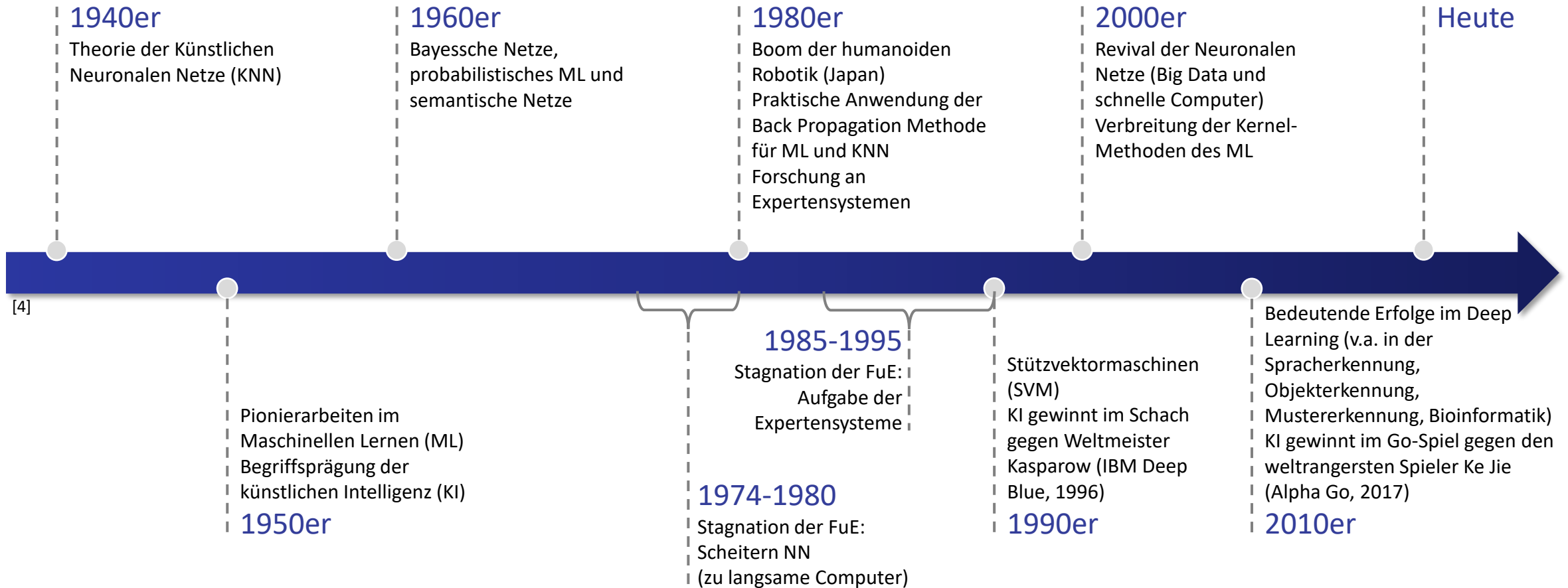
[1]



Industrie 4.0



Künstliche Intelligenz



[4]

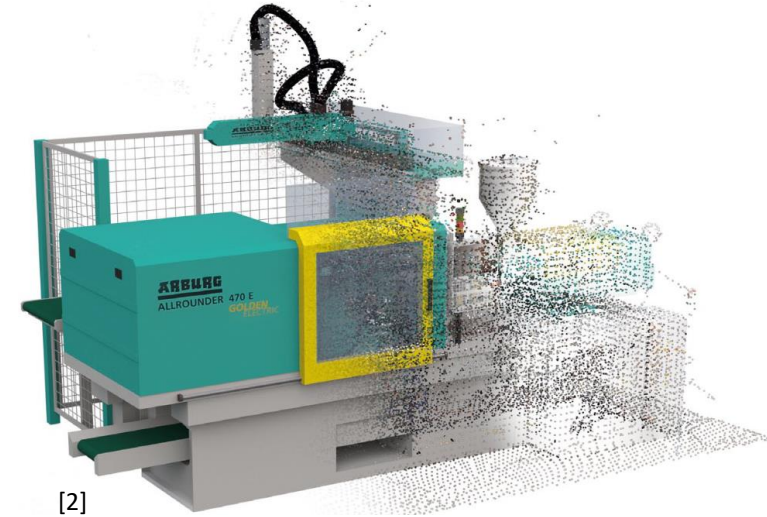
Künstliche Intelligenz



Heute

ML-basierte Systeme sind inzwischen in der Lage,

- radiologische Bilder so gut wie Mediziner zu analysieren
- automatisch unklare Bilder zu vervollständigen
- selbst KI-Software zu schreiben und zu trainieren
- Börsengeschäfte anhand eigener Prognosen selbständig durchzuführen
- in komplexen Spielen wie Go und Poker gegen Menschen zu gewinnen
- sich selbst Wissen, Spiele und Strategien beizubringen



[2]

[4]

Zunehmende Digitalisierung und Vernetzung im Rahmen von Industrie 4.0 eröffnen innovative Möglichkeiten für die qualitätsorientierte und datengetriebene Weiterentwicklung und Optimierung von Produkten und Prozessen.

Digitale Zwillinge

- virtuelle, dynamische Repräsentation der realen Prozesskette
- Erfassung, Integration und Verknüpfung von Daten entlang des Herstellungsprozesses

Digital Twin of Injection Molding



Entwicklung einer datengetriebenen Repräsentation des Thermoplast-Spritzgießprozesses zur Optimierung der Bauteilgüte

Projektteam:



Prof. Dr.-Ing. H.-P. Heim



Marco Klute



Stefan Rosenbach



Prof. Dr.-Ing. A. Kroll



Alexander Rehmer

Digital Twin of Injection Molding



Entwicklung einer datengetriebenen Repräsentation des Thermoplast-Spritzgießprozesses zur Optimierung der Bauteilgüte

Förderung:

Fördermittel	<u>Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)</u> <u>Land Hessen</u>
Förderprogramm	<u>Innovation</u>
Förderlinie	<u>Wissens- und Technologietransfer zur Digitalisierung</u> <u>Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WIBank)</u>
Projektträgerschaft	<u>Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen</u>
Projektlaufzeit	Oktober 2020 - Dezember 2022



EUROPÄISCHE UNION:
Investition in Ihre Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

HESSEN



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

Digital Twin of Injection Molding

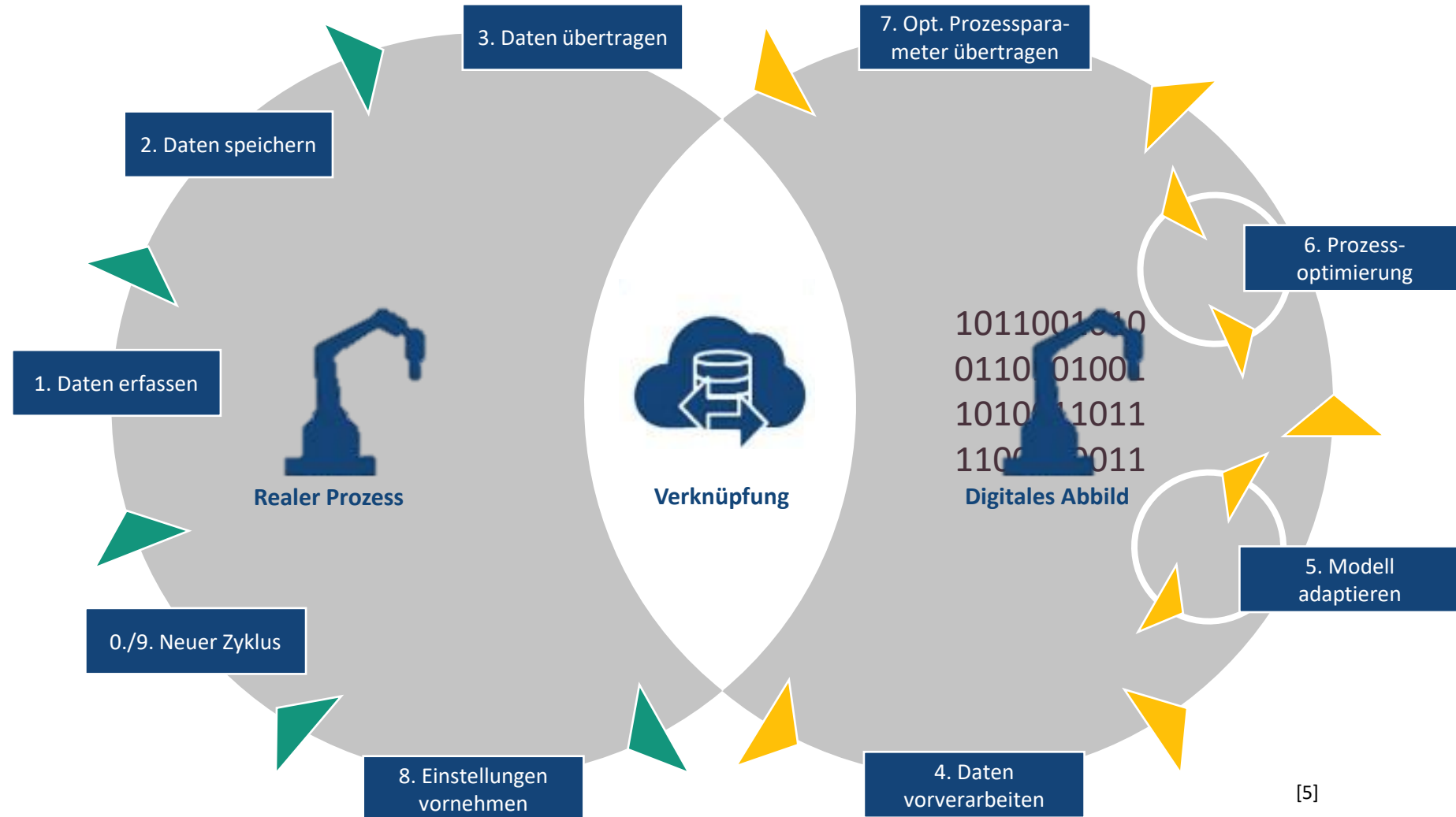


Entwicklung einer datengetriebenen Repräsentation des Thermoplast-Spritzgießprozesses zur Optimierung der Bauteilgüte

Projektbeirat:



Digitaler Zwilling



[5]

Digitaler Zwilling



physikalisch



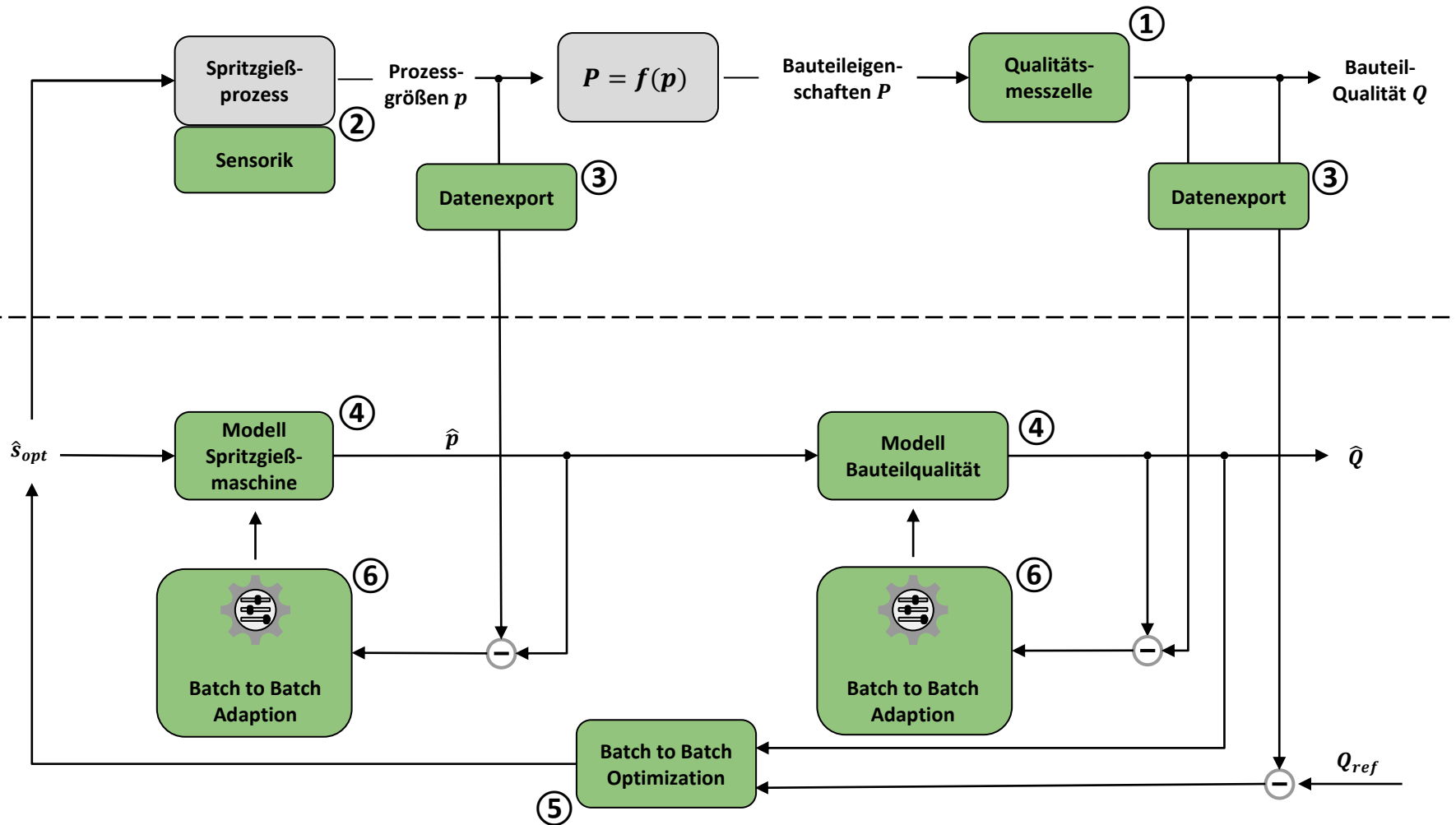
digital

Digitaler Zwilling



physikalisch

digital



Entwicklungsschritte:

- ①: Qualitätsmesszelle aufbauen
- ②: Maschine mit zusätzlicher Sensorik ausrüsten
- ③: Echtzeit-Datenexport implementieren
- ④: Datengetriebene Modellbildung des Spritzgießprozesses
- ⑤: Prozessoptimierung
- ⑥: Online-Modelladaption

Qualitätsmesszelle

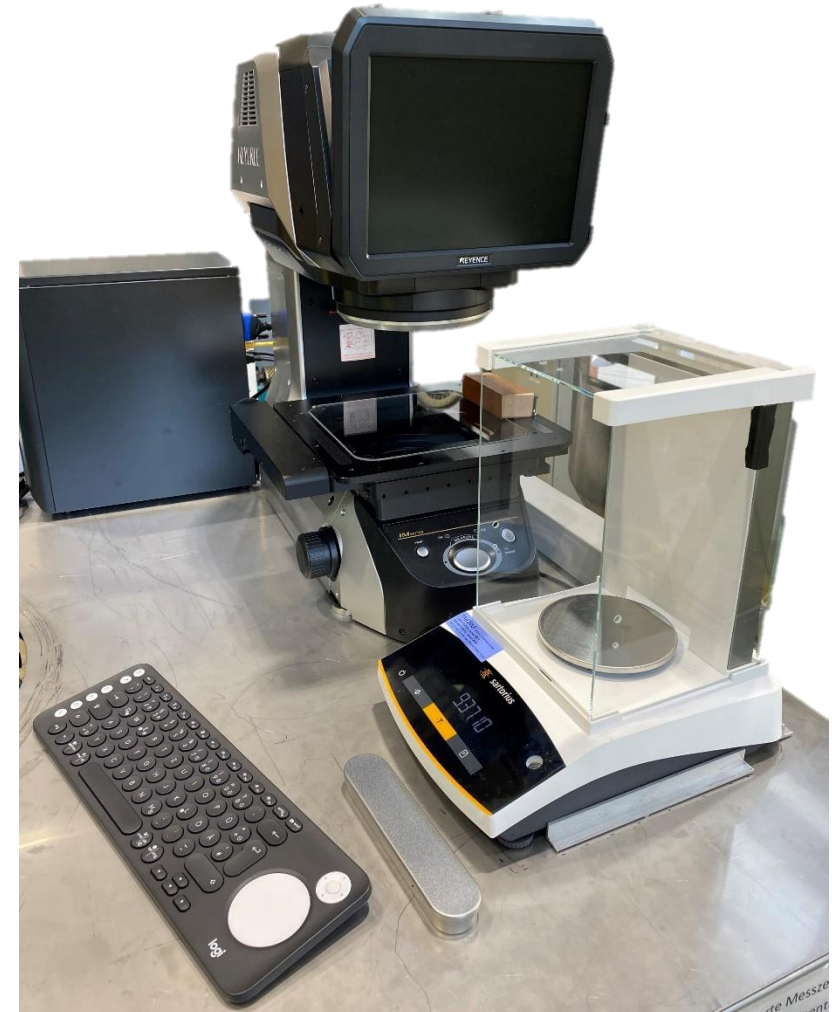


Digitaler Messprojektor:

- Keyence IM-7020
- Messfeldgröße: 200 mm x 200 mm
- Automatische Geometrieerkennung
- Simultane Erfassung von bis zu 300 vorgegebenen Maßen
- Mehrere Bauteile können gleichzeitig vermessen werden
- Messzeit ca. 2-3 Sekunden
- LAN und USB Schnittstelle zur Datenübertragung

Laborwaage:

- Sartorius Entris II
- Maximale Wiegekapazität: 320 g
- Reproduzierbarkeit: 1 mg
- Typische Stabilisierungszeit: ≤ 1 s
- Interne Kalibrierung und Justierung (isoCAL)
- USB-C Schnittstelle zur Datenübertragung



Qualitätsmesszelle

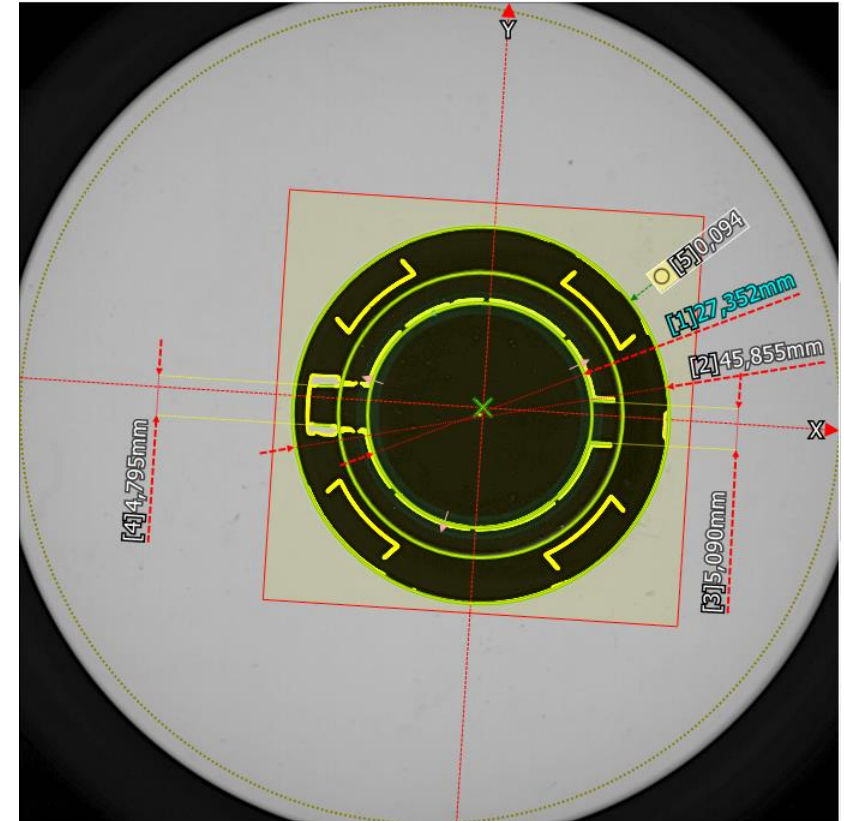


Digitaler Messprojektor:

- Keyence IM-7020
- Messfeldgröße: 200 mm x 200 mm
- Automatische Geometrieerkennung
- Simultane Erfassung von bis zu 300 vorgegebenen Maßen
- Mehrere Bauteile können gleichzeitig vermessen werden
- Messzeit ca. 2-3 Sekunden
- LAN und USB Schnittstelle zur Datenübertragung

Laborwaage:

- Sartorius Entris II
- Maximale Wiegekapazität: 320 g
- Reproduzierbarkeit: 1 mg
- Typische Stabilisierungszeit: ≤ 1 s
- Interne Kalibrierung und Justierung (isoCAL)
- USB-C Schnittstelle zur Datenübertragung

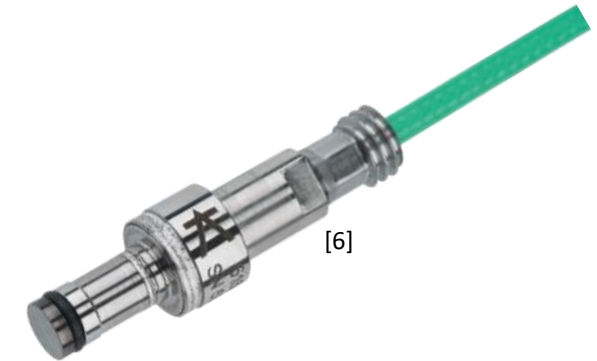


Zusätzliche Sensorik



Kombinierter Druck- und Temperatursensor:

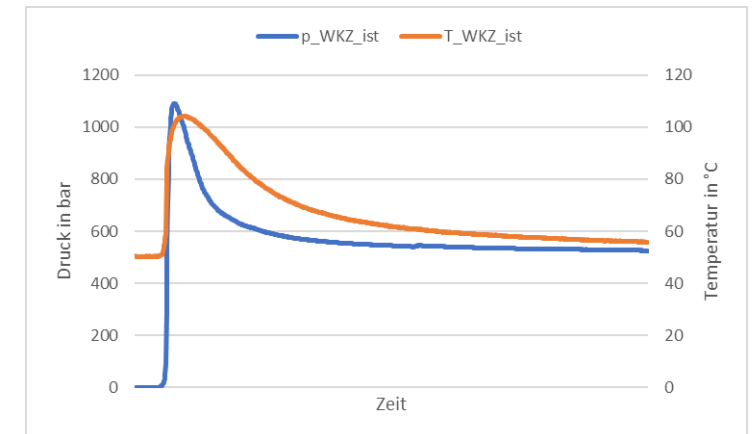
- Kistler 6190C
- Messbereich Druck: 0-2000 bar
- Messbereich Temperatur: 0-200 °C (Typ K)
- Max. Werkzeugtemperatur: 200 °C
- Max. Schmelztemperatur: 450 °C



[6]

Datenlogger für Hallentemperatur und Luftfeuchtigkeit

Durchfluss- und Temperatursensor zur Überwachung der Werkzeugtemperierung



Echtzeit Datenexport



Python-Skript zur Datenerfassung über OPC-UA:

daq_arburg.py

Grundlegende Definitionen:

- Logger
- Klassen
- Funktionen

Arburg_XXX_config.py

Maschinenbezogene Informationen:

- IP-Adresse
- Benutzername, PW
- Dateiname
- Liste der Parameter
- Triggersignal

opc_daq_main.py

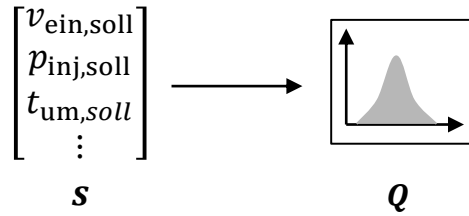
Auszuführendes Skript

- Stellt Verbindung zur Maschine her
- Überwacht Triggersignal
- Erfasst Daten
- Legt Daten in Datenbankdatei ab

Datengetriebene Modellbildung



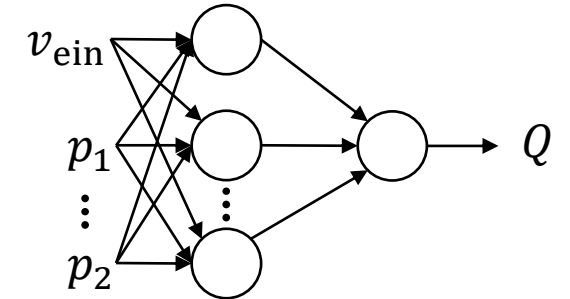
Modellierungsansätze



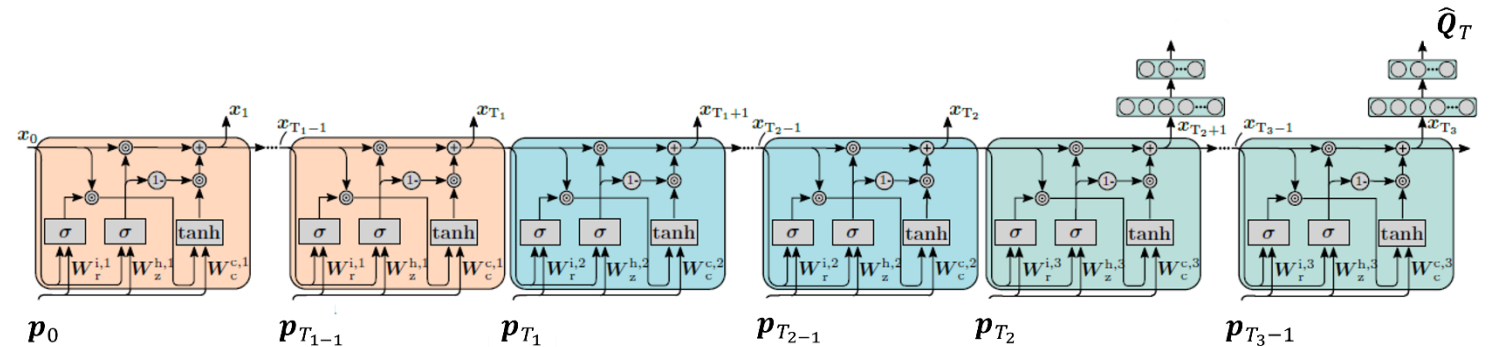
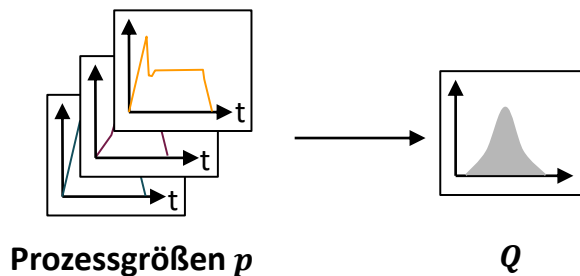
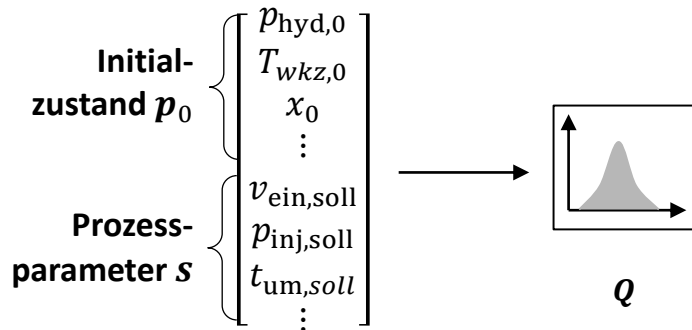
$$Q = a_0 + a_1 \cdot v_{\text{ein}} + b_1 \cdot p_1 + \dots + d_1 \cdot p_2 + a_2 \cdot v_{\text{ein}}^2 + b_2 \cdot p_1^2 + \dots + d_2 \cdot p_2^2$$

Polynomiale Modelle

Modellstrukturen (Auswahl)

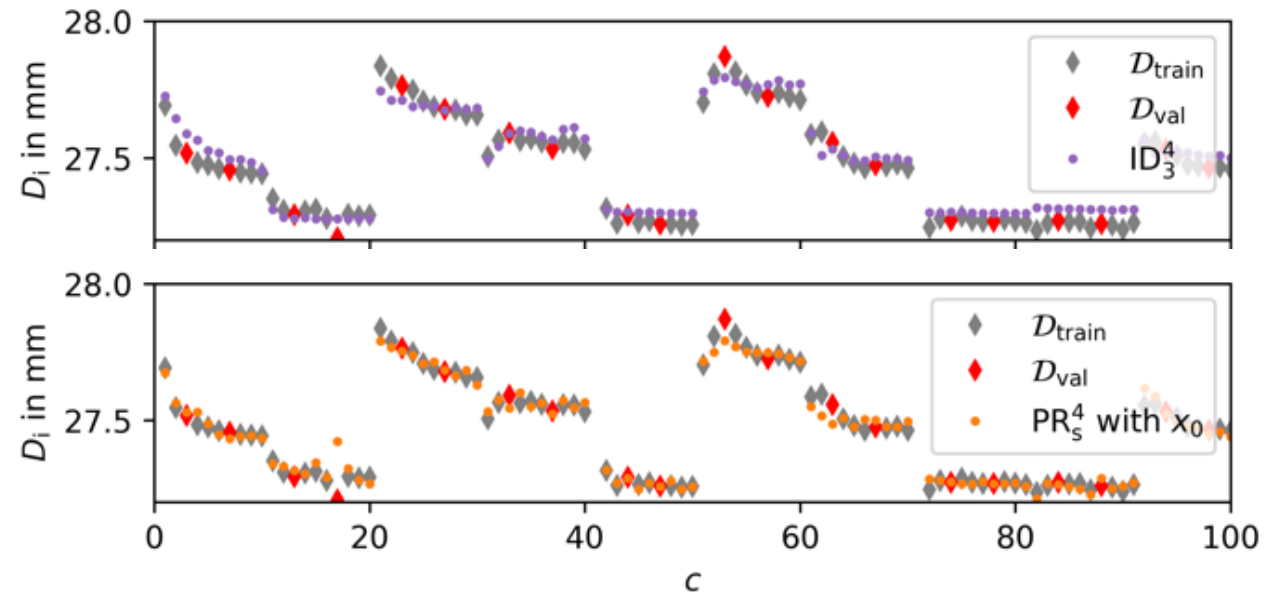
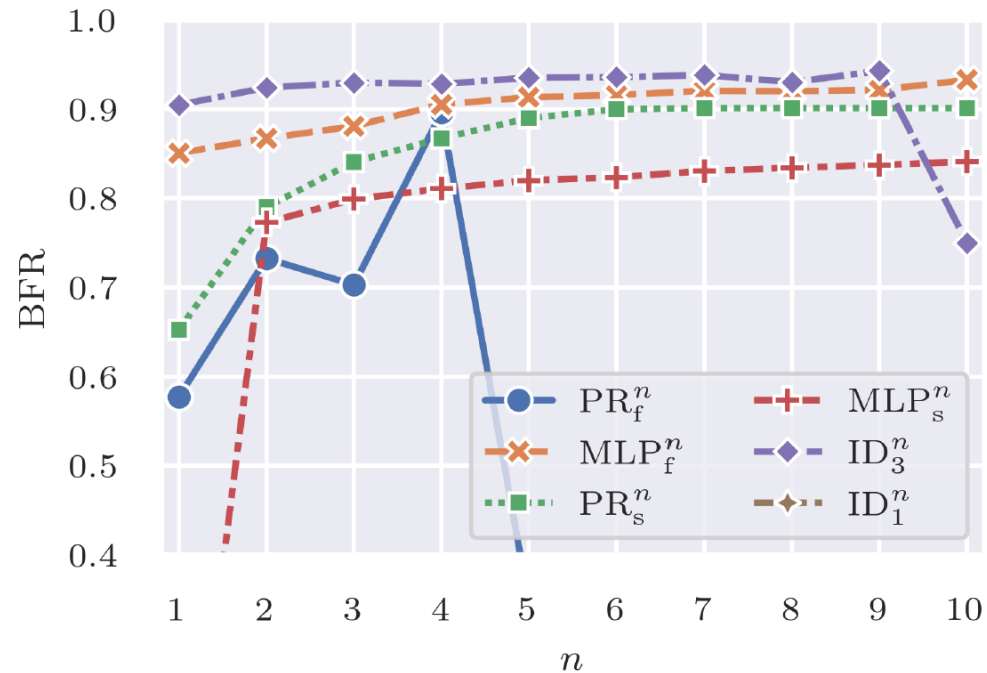


NN mit beliebig vielen Neuronen in der verdeckten Schicht



Schaltende Modelle mit interner Dynamik (Rekurrente Neuronale Netze)

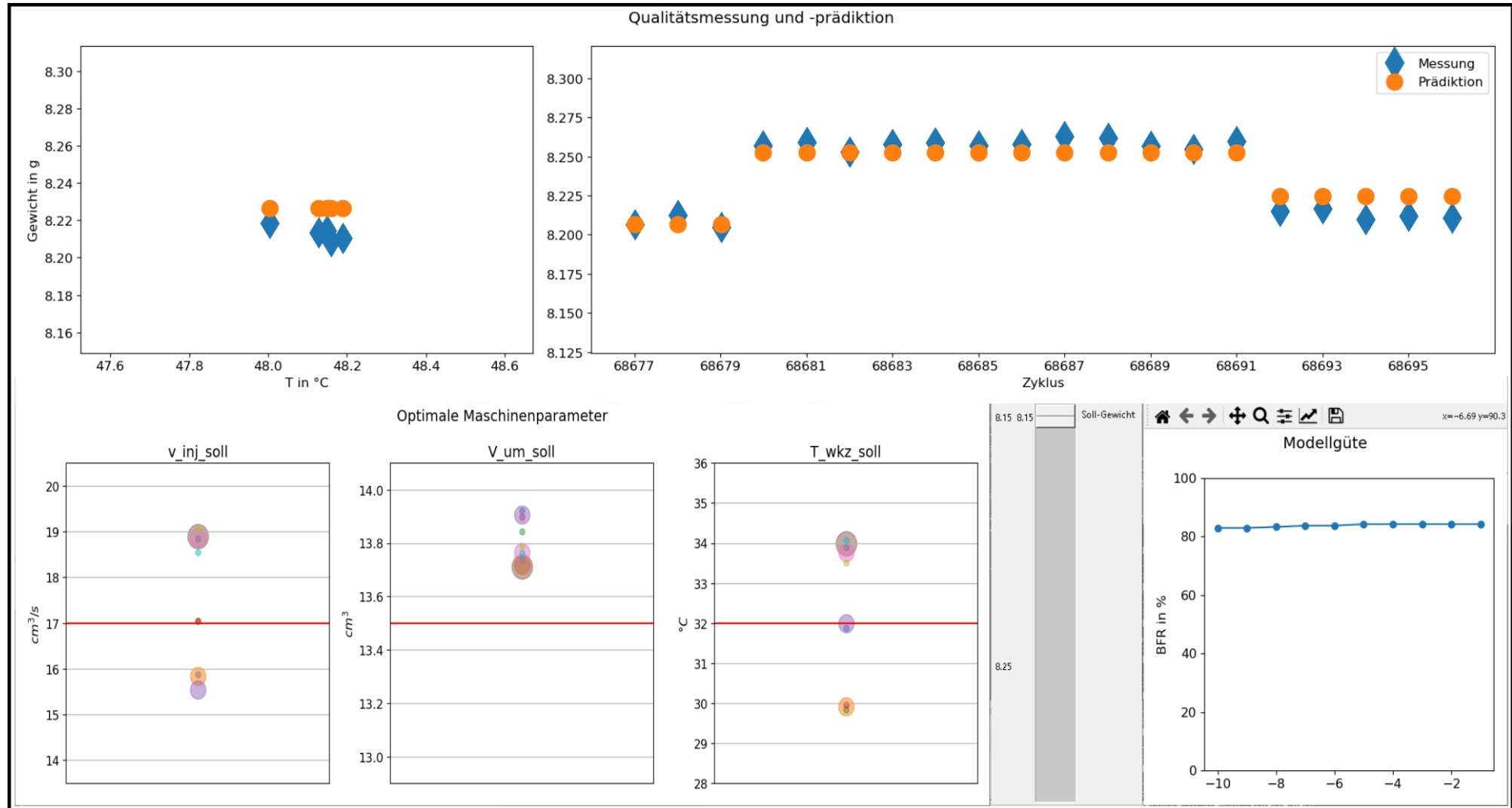
Datengetriebene Modellbildung



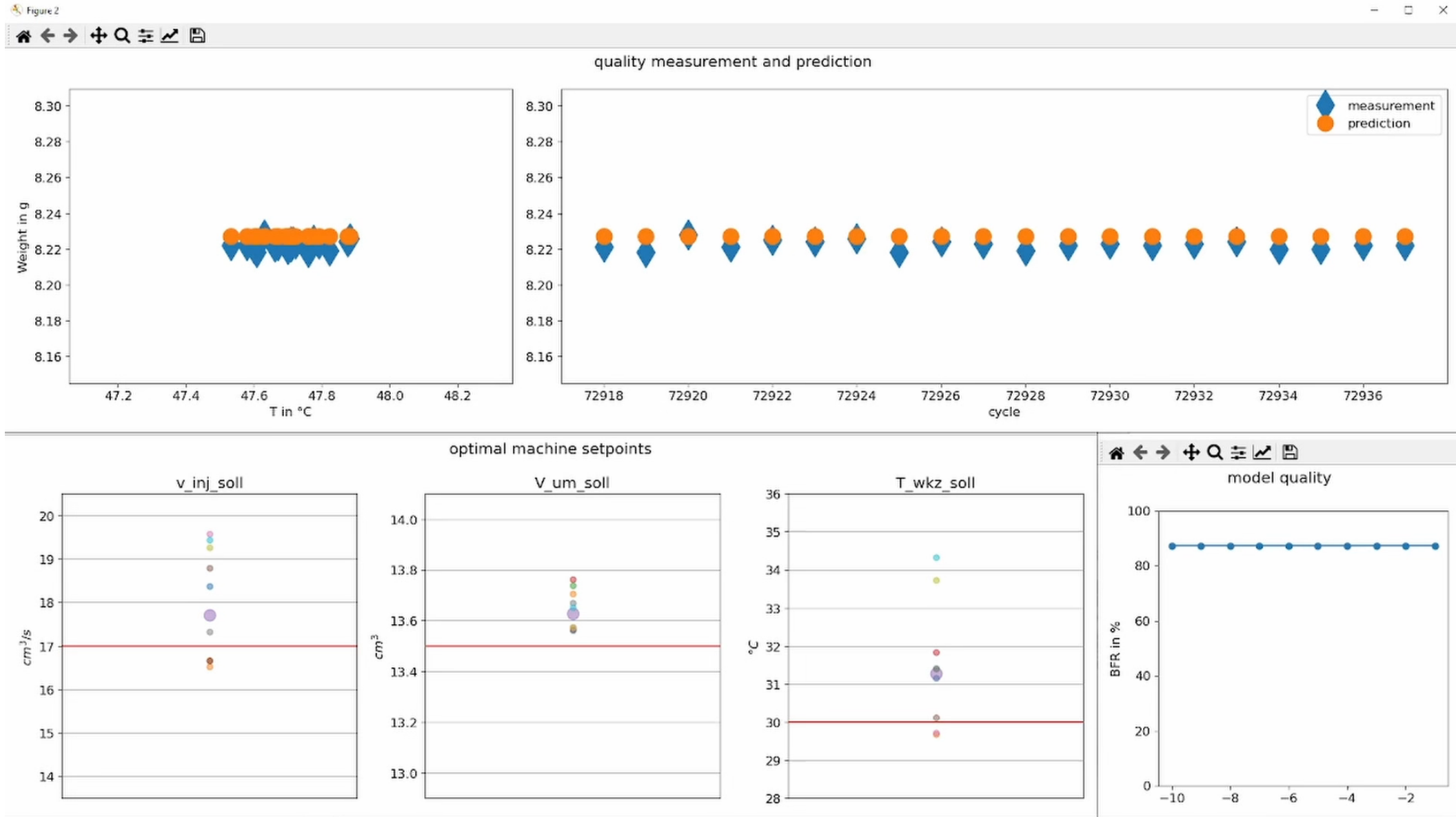
Fazit:

- Dynamische Modelle (ID) performen gut, aber hohe Varianz und hoher Rechenaufwand
- Statische Modelle (MLP, PR) liefern gleichwertige Ergebnisse, bei geringerem Rechenaufwand
- Weiterer Vorteil: Modelleingangsgrößen sind unmittelbar die Maschinenparameter s (für Optimierung nutzbar)

Digitaler Zwilling im Einsatz



Digitaler Zwilling im Einsatz



Projekt Output



Entwicklungstätigkeiten:

- Softwaretool zur Datenabfrage
- Softwarebibliothek zur Modellbildung
- Softwarebibliothek zur Prozessoptimierung



Funktionsfähiger Digitaler Zwilling

<http://www.uni-kassel.de/go/DIM>

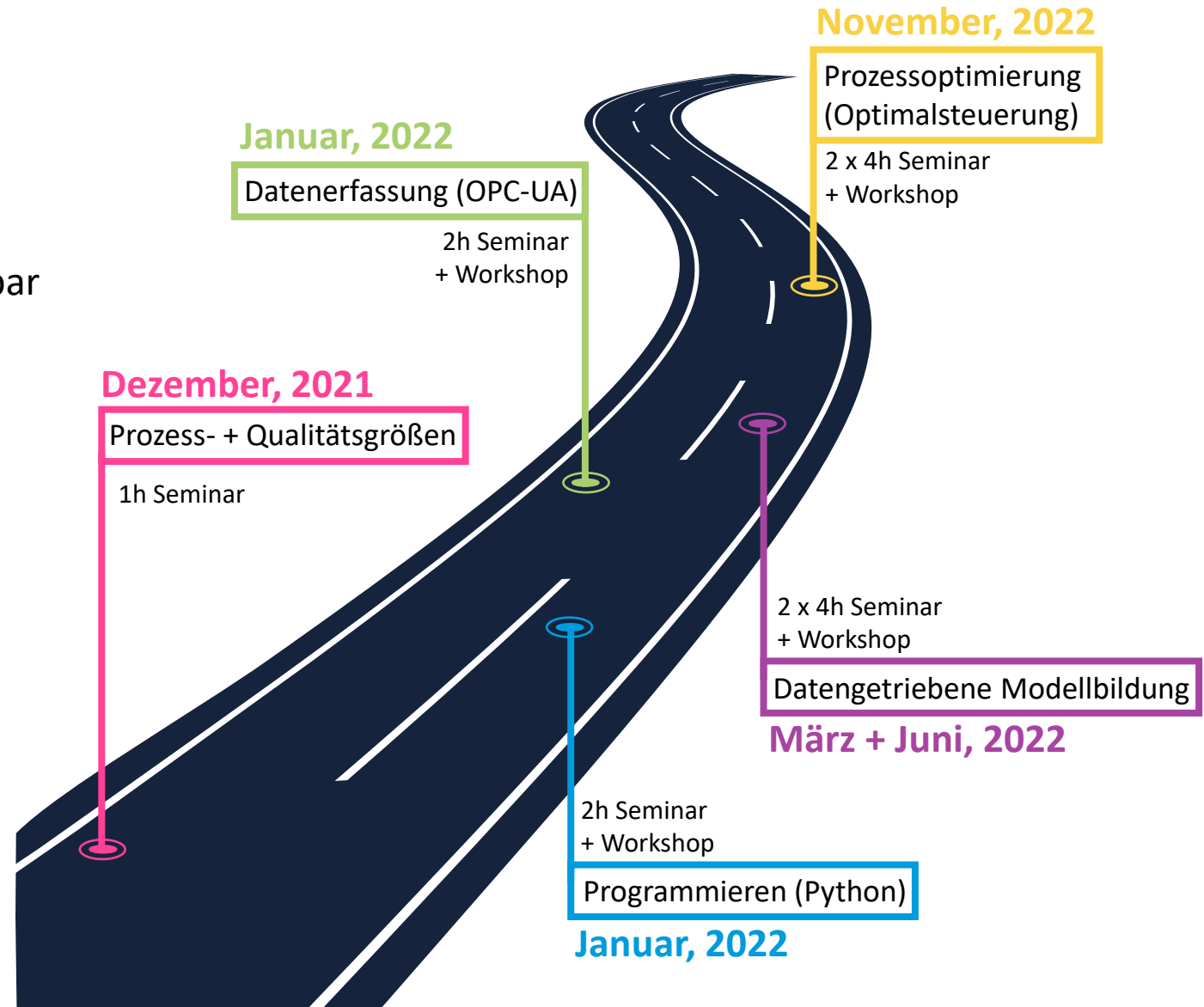
<https://github.com/MRT-RT/DigitalTwinInjectionMolding>

Projekt Output



Transfermaßnahmen:

- Workshopreihe
 - Leitfäden
 - Publikationen
- kostenfrei auf
Homepage verfügbar





www.ifw-kassel.de



www.uni-kassel.de/go/DIM

Marco Klute, M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



+49(561)804-3629



marco.klute@uni-kassel.de

Quellen



- [1] <https://industrie.de/it-sicherheit/so-sind-unternehmen-auf-einen-security-vorfall-optimal-vorbereitet/>
(zuletzt aufgerufen am 25.01.2023)
- [2] <https://hmq-3d.ch/galerie/40/3d-modell-spritzgiessmaschine-arburg.html>
(zuletzt aufgerufen am 04.01.2023)
- [3] <https://y6b8k9e7.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2018/09/The-four-industrial-revolutions.jpg>
(zuletzt aufgerufen am 25.01.2023)
- [4] Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf, Fraunhofer-Gesellschaft, BMBF-Bericht, Förderkennzeichen: 01IS17019
- [5] <https://muenchen.digital/blog/digitaler-zwilling-in-muenchen-ein-leuchtturmprojekt-auf-dem-weg-zur-digitalen-metropole/>
(zuletzt aufgerufen am 25.01.2023)
- [6] Kistler Instrumente GmbH