

Potentiale der Digitalisierung von Kunststoffverarbeitungsprozessen am Beispiel eines Digitalen Zwillings

Marco Klute

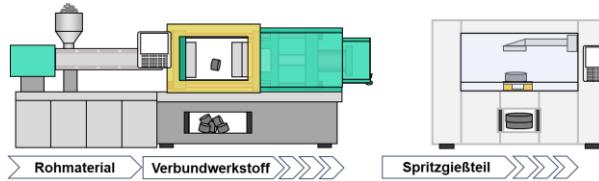
Mitgliederversammlung Innovationszentrum Kunststofftechnik e.V.

25.01.2023

Einsatz von ML und Simulation am IfW



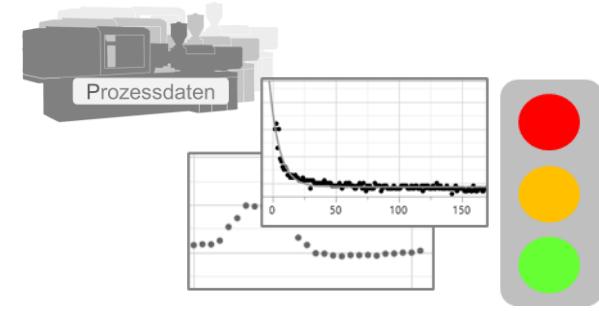
Anomalieerkennung



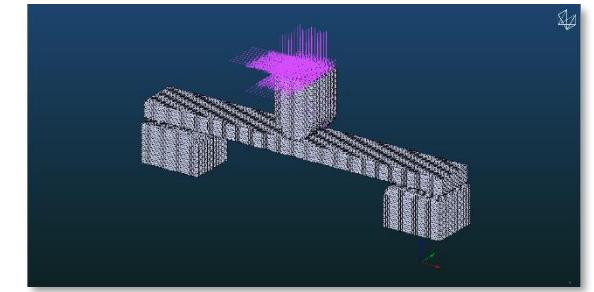
Simulationsbasierte Betriebspunktberechnung



Prozessüberwachung



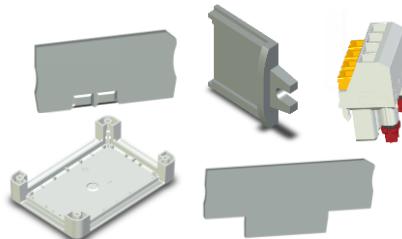
Gekoppelte Simulation



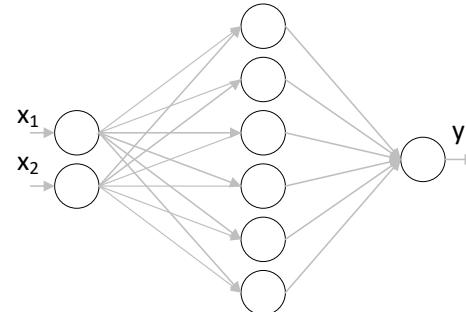
Geplante Aktivitäten am IfW



Ähnlichkeitanalyse von
Spritzgießbauteilen



Langzeitstabilität von
Prozessmodellen



Bewertung der
Prozessstabilität



Cybersicherheit
digitalisierter Prozessketten



[1]

Industrie 4.0

Digital Engineering

Internet of Things

Cyber-Physische Systeme (CPS)

Cloud Computing

Big Data

Künstliche Intelligenz

Predictive Maintenance

Digitale Zwillinge



Industrie 4.0

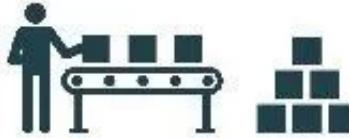


Industrie 1.0

- Mechanisierung durch Wasser- und Dampfkraft
- Beginn des Industriealters
- Erstmals maschinelle Produktion von Gütern und Dienstleistungen
- Eisenbahnen, Kohleabbau, Schwerindustrie, Dampfschifffahrt

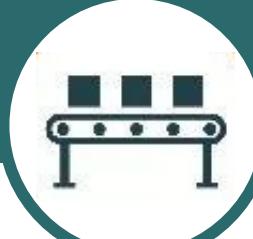


~1800



Industrie 2.0

- Beginn der Elektrizität
- Akkordarbeit am Fließband (Ford 1913)
- Unterteilung der Produktion in einzelne, in sich abgeschlossene Arbeitsschritte
- Arbeitskräfte werden ausschließlich auf eine Tätigkeit spezialisiert
- Beginn der Globalisierung

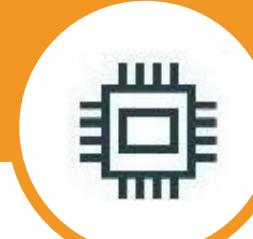


~1870



Industrie 3.0

- Automatisierung durch Computer
- PCs in Büros und privaten Haushalten
- Automatisierung von Arbeitsschritten
- Reihenfertigung durch Maschinen
- Digital vernetzter Lebensstil entsteht



~1970



Industrie 4.0

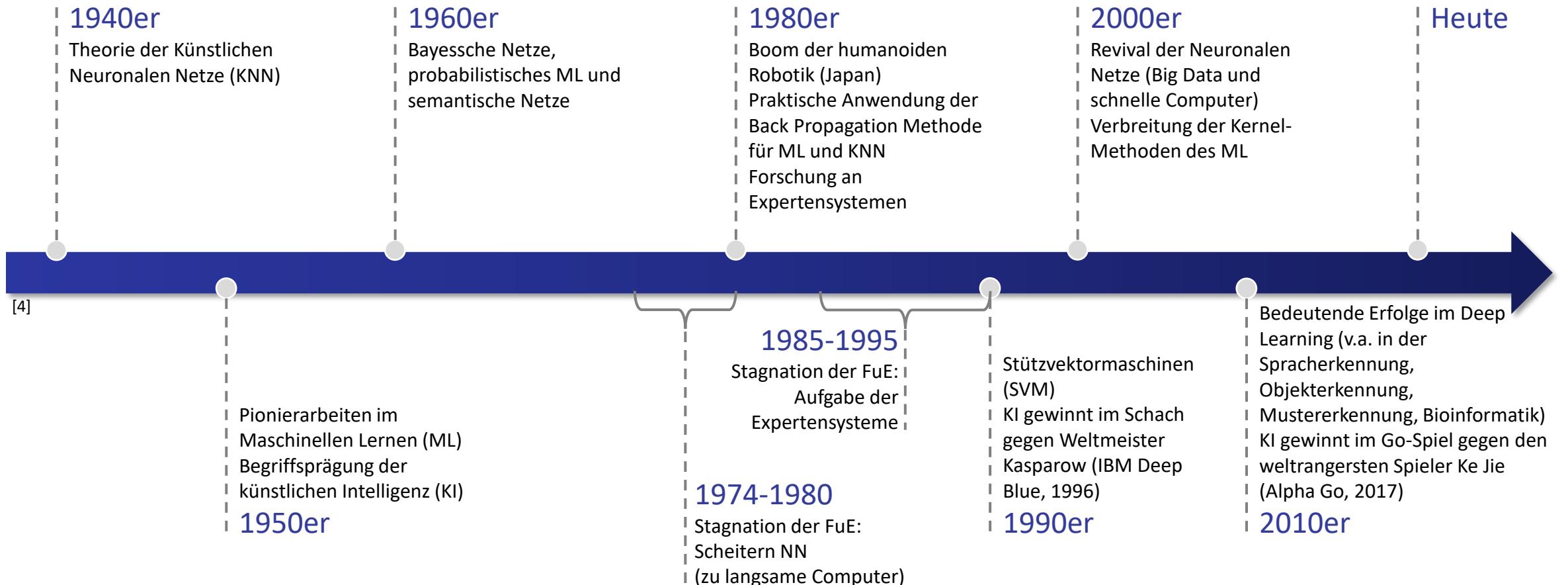
- Digitalisierung und Vernetzung
- Intelligente und digital vernetzte Systeme
- Verschmelzen von IT und Fertigungstechnik
- Internet of Things
- Maschinelles Lernen / Künstliche Intelligenz



~2000

[3]

Künstliche Intelligenz

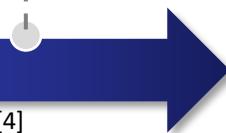


Künstliche Intelligenz

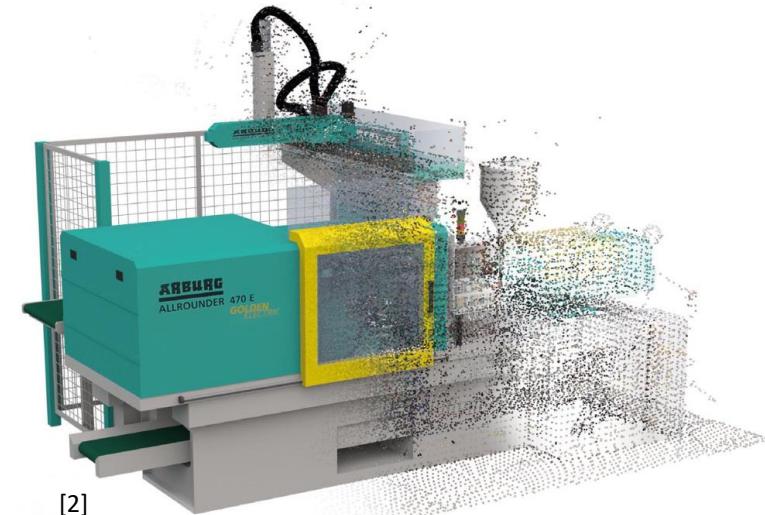


Heute

- 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 selbstständig durchzuführen
 - in komplexen Spielen wie Go und Poker gegen Menschen zu gewinnen
 - sich selbst Wissen, Spiele und Strategien beizubringen



[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

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)
Land Hessen

Förderprogramm

Innovation

Förderlinie

Wissens- und Technologietransfer zur Digitalisierung

Projektträgerschaft

Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WIBank)
Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

Projektaufzeit

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

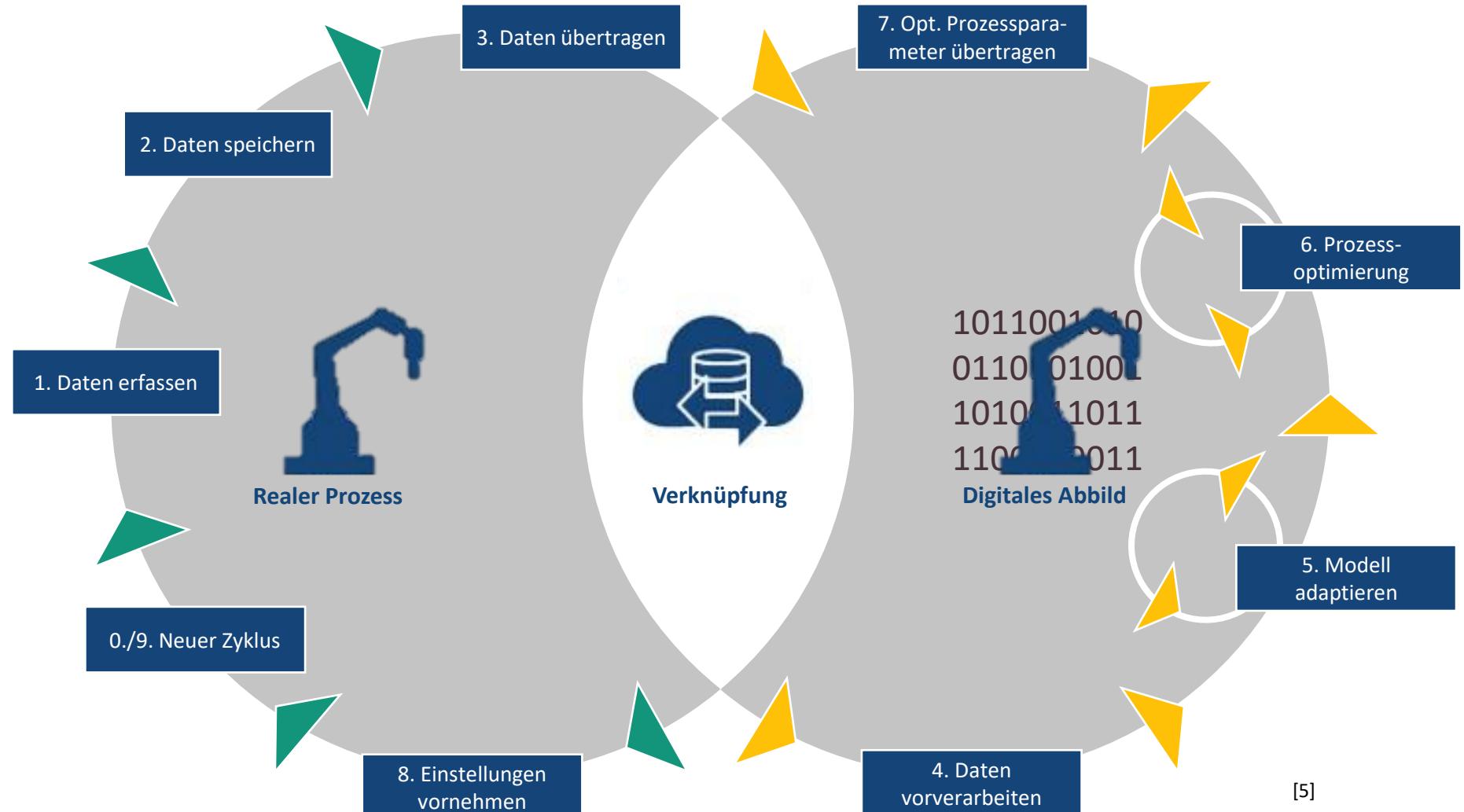


Entwicklung einer datengetriebenen Repräsentation des Thermoplast-Spritzgießprozesses zur Optimierung der Bauteilgüte

Projektbeirat:



Digitaler Zwilling



[5]

Digitaler Zwilling

physikalisch

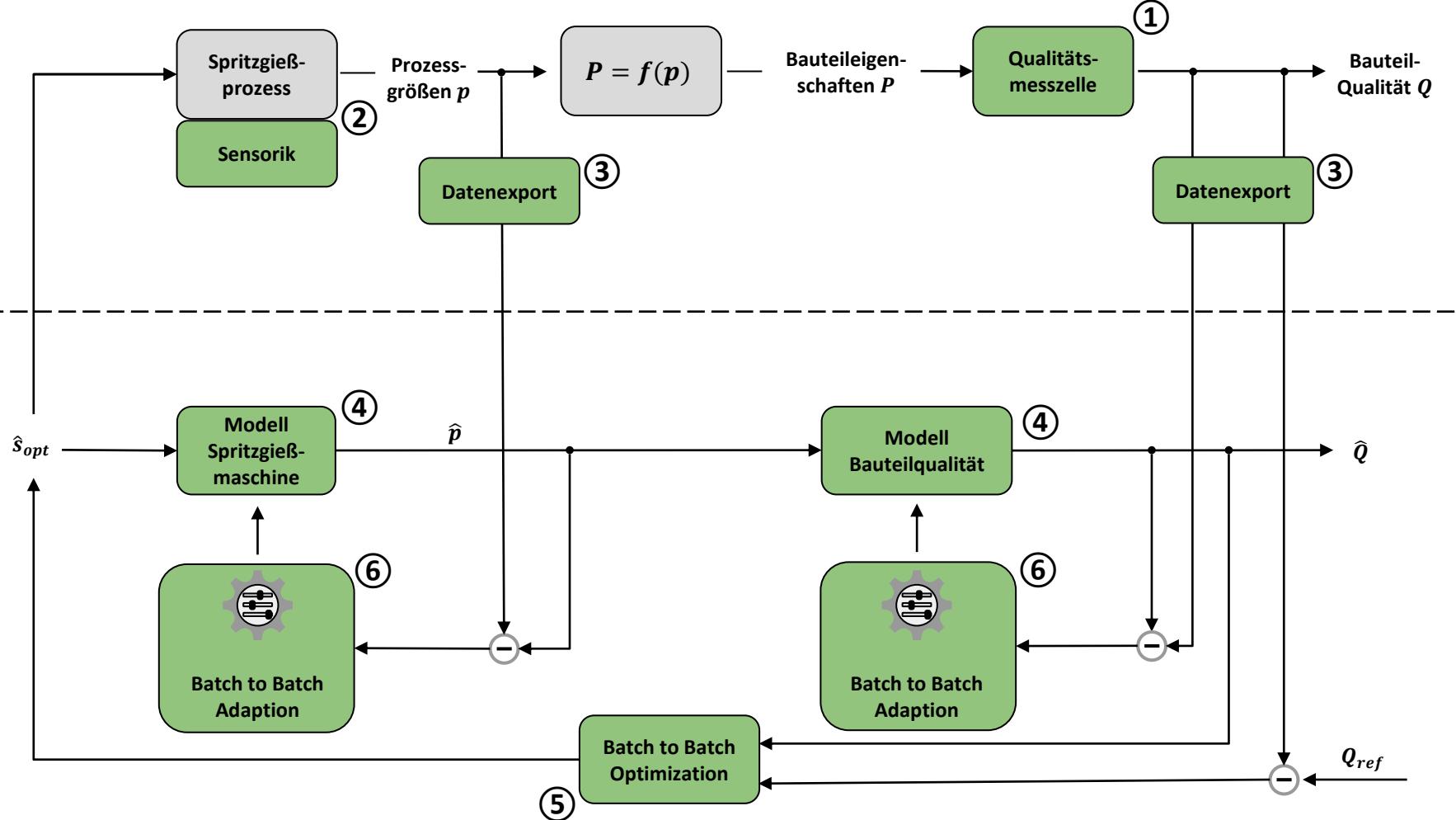


digital

Digitaler Zwilling



physikalisch



Entwicklungsschritte:

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

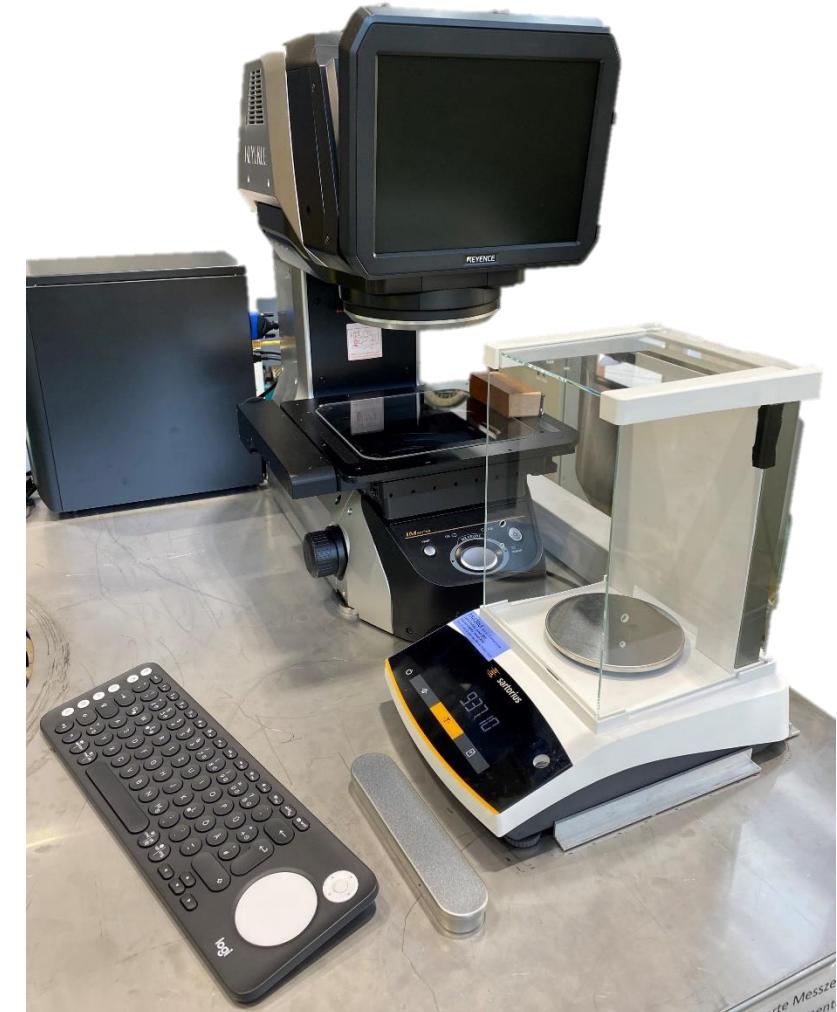
Qualitätsmesszelle

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



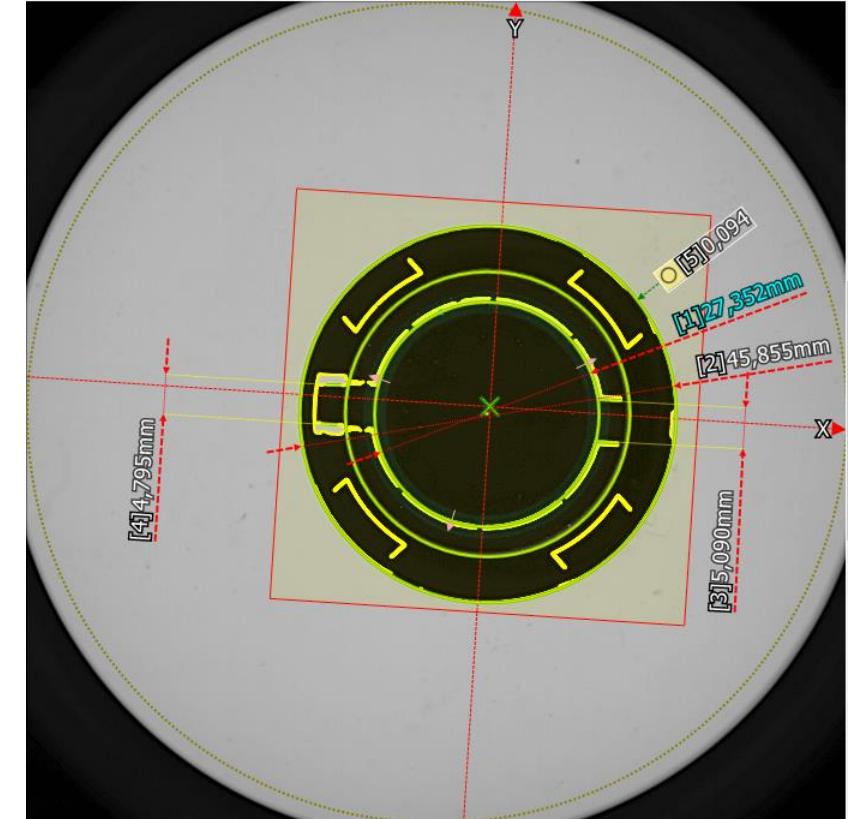
Qualitätsmesszelle

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

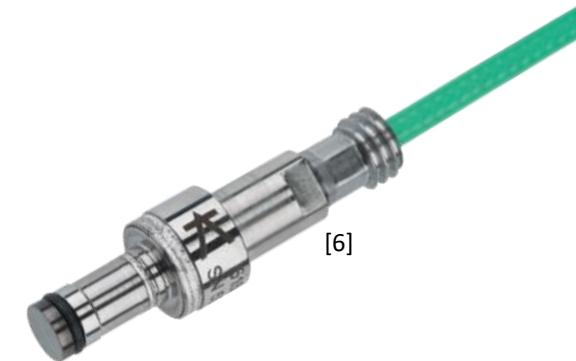


Zusätzliche Sensorik



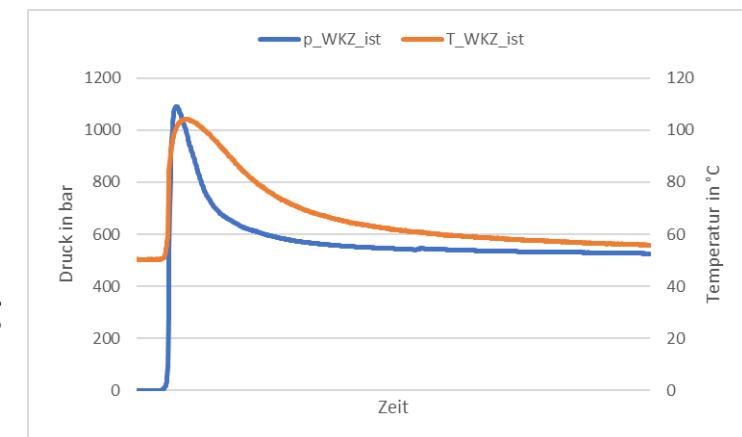
Kombinierter Druck- und Temperatursensor:

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



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

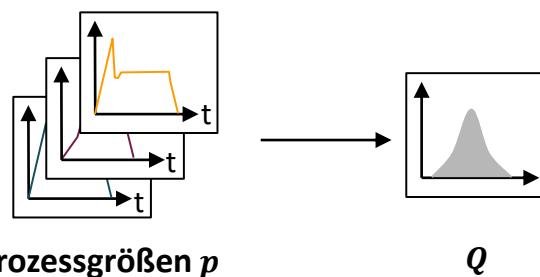
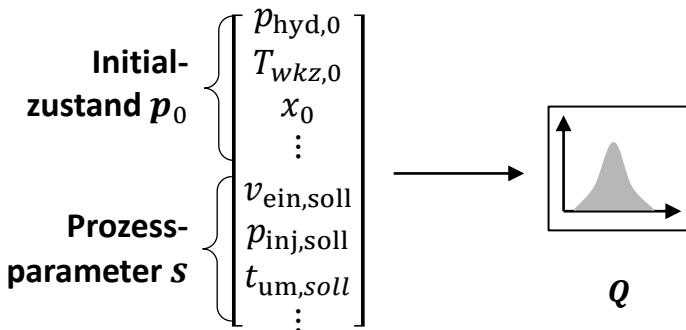
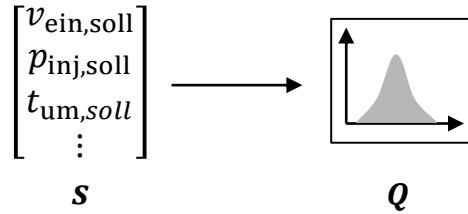
Auszuführendes Skript

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

Datengetriebene Modellbildung



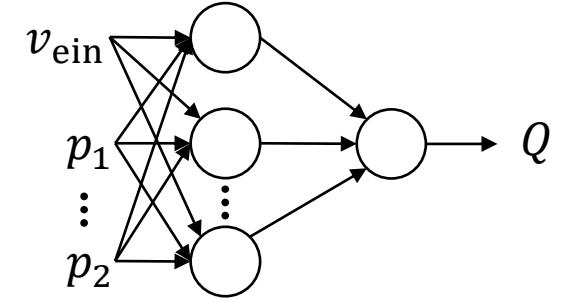
Modellierungsansätze



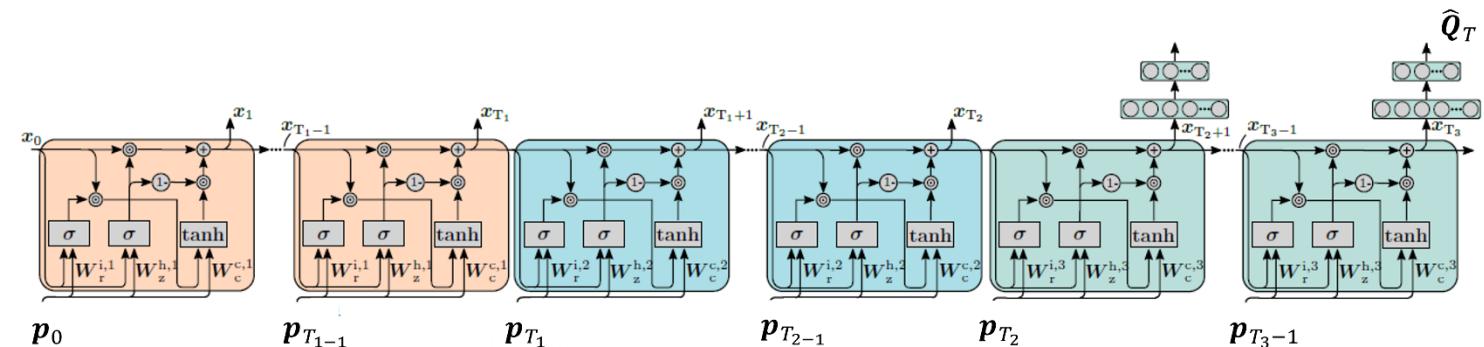
Modellstrukturen (Auswahl)

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

Polynomiale Modelle

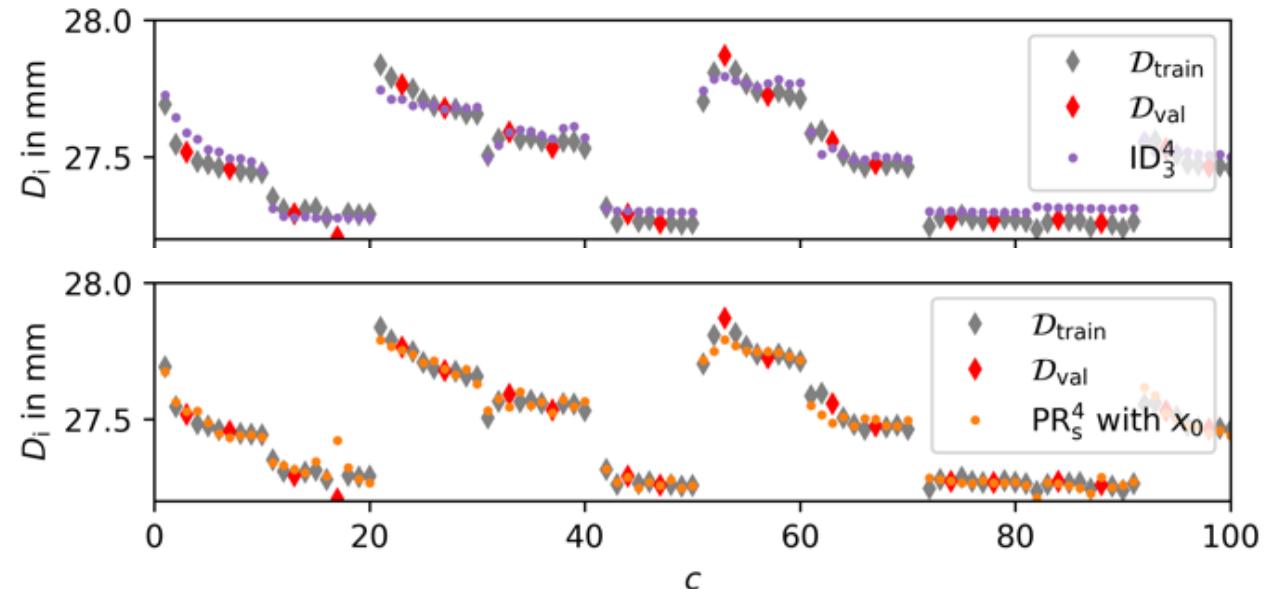
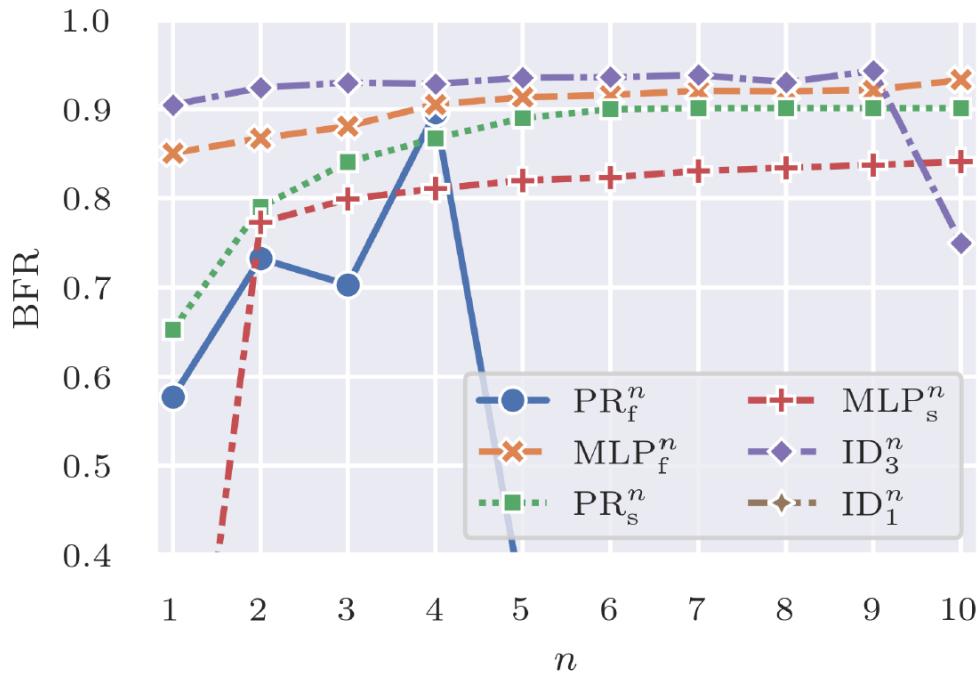


NN mit beliebig vielen Neuronen in der verdeckten Schicht



Schaltende Modelle mit interner Dynamik (Rekurrente Neuronale Netze)

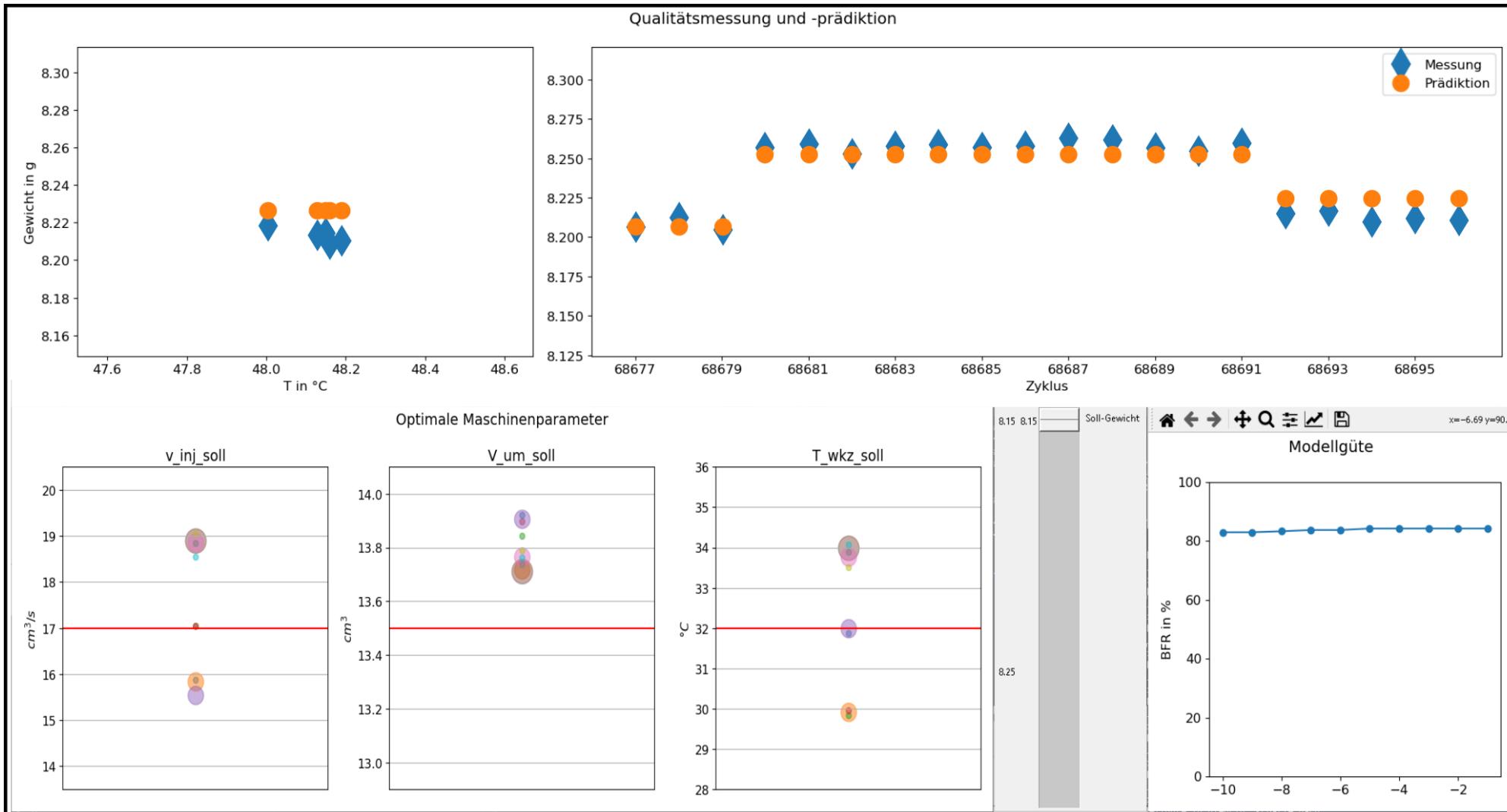
Datengetriebene Modellbildung



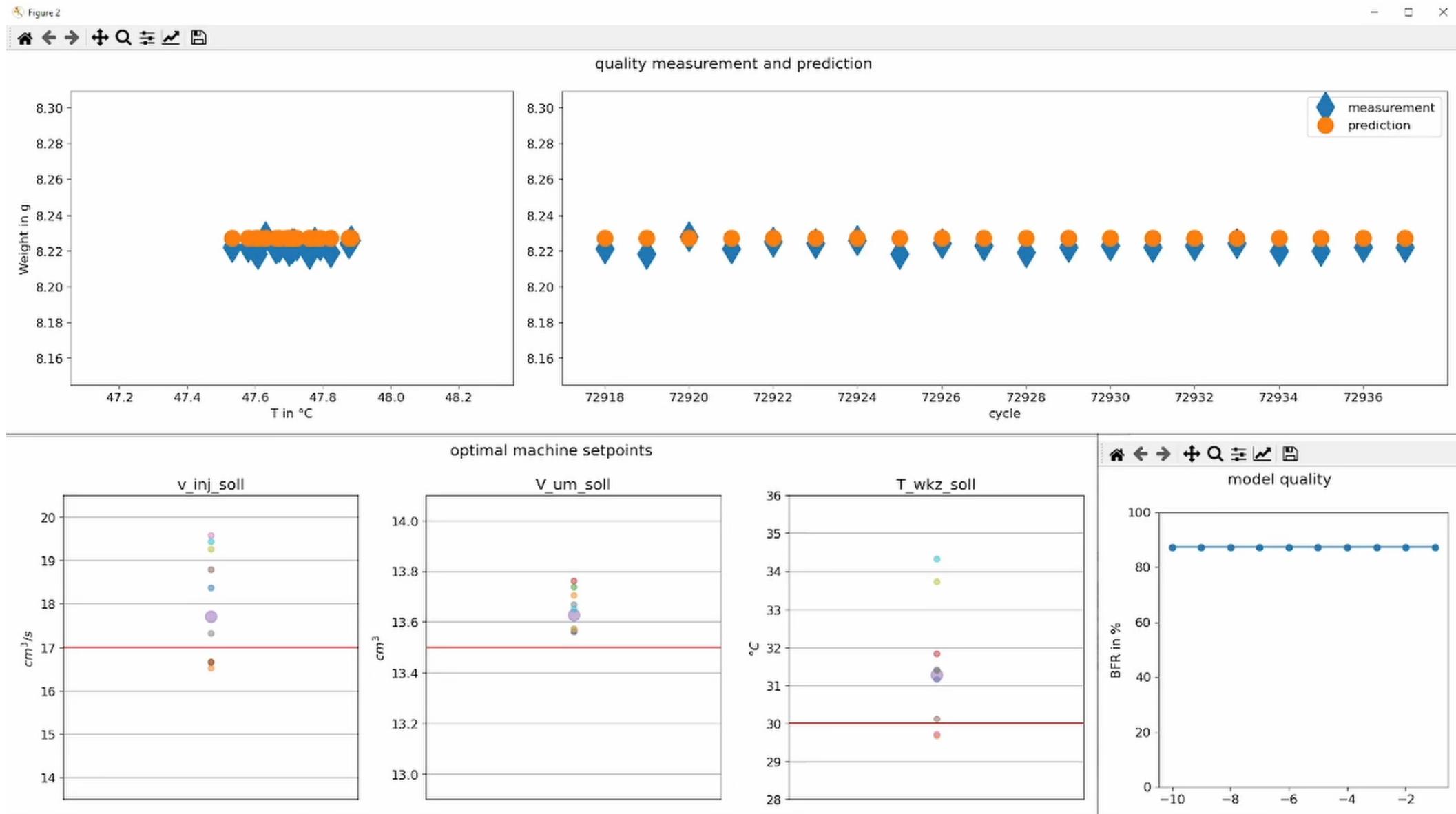
Fazit:

- 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>

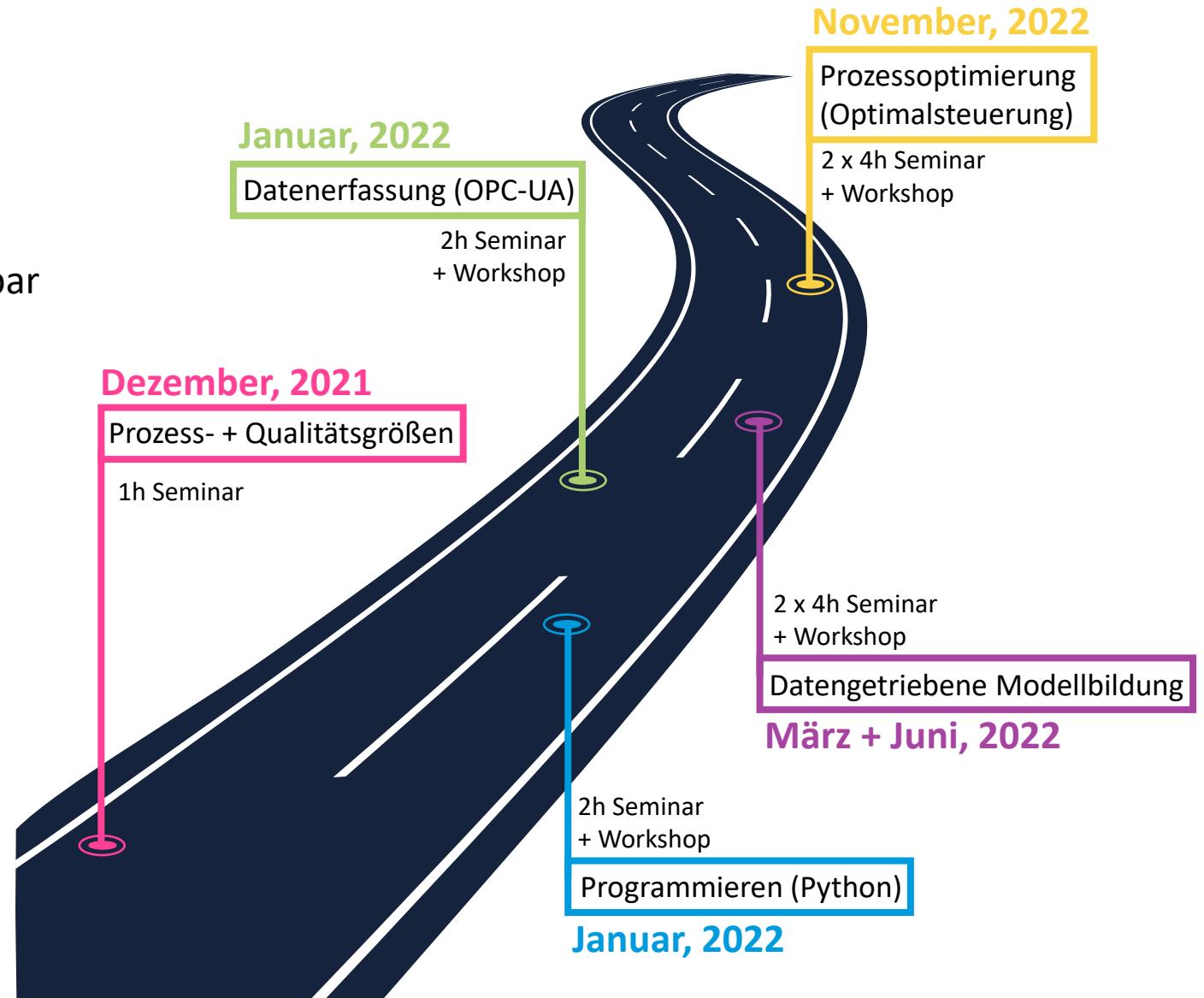
<https://github.com/MRT-RT/DigitalTwinInjectionMolding>

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



Institut für Werkstofftechnik
Kunststofftechnik
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim

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