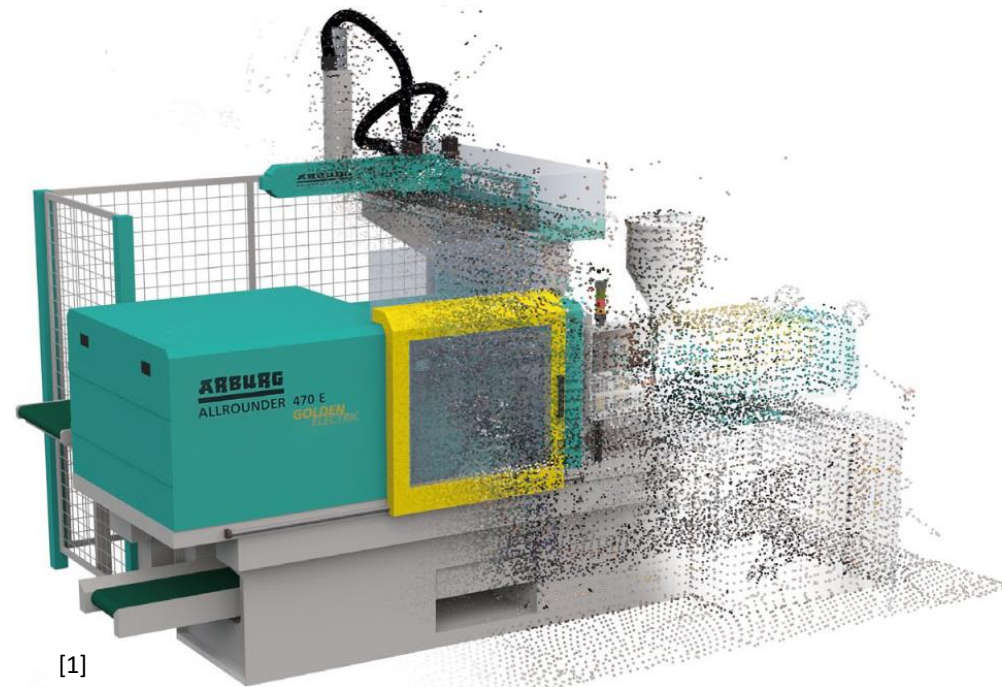


Projektabschluss Digital Twin of Injection Molding (DIM)

06.12.2022



[1]

Uhrzeit	Aktivität	Ort	Personen
13:00	Get together mit Imbiss	Foyer Gießhaus	Alle
13:30	Begrüßung & Vorstellung Projektergebnisse	Gießhaus	Alle
14:00	Vorstellung Digitaler Zwilling (DT) - Physikalische und cyberphysikalische Assets des DT - Datenaufzeichnung - Qualitätsprädiktion - Prozessoptimierung	Technikum IfW, Mönchebergstr. 3	Alle
14:30	Laborführung Institut für Werkstofftechnik	Mönchebergstr. 3	Alle
15:00	Laborführung Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik	Mönchebergstr. 7	Alle
16:00	Next Steps & Verabschiedung	Gießhaus	Alle
16:30	Abschlussdiskussion	Gießhaus	Lenkungskreis

www.uni-kassel.de/go/DIM



Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik:

- Regelungstechnik
 - Entwicklung datengetriebener Methoden
- Messtechnik
 - Methoden zur Automatisierung von Fernmessverfahren
- Modellfabrik μ Plant



Fachgebiet Kunststofftechnik:

- Materialien und Strukturen
 - Charakterisierung und Modellierung von Skaleneffekten
 - Biokunststoffe
- Funktionen und Digitalisierung
 - Funktionenintegrierende Fertigung
 - Simulation und Machine Learning
- Anwendungszentrum UNIpace



Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik:



Prof. Dr.-Ing. A. Kroll



Alexander Rehmer



Fachgebiet Kunststofftechnik:



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



Marco Klute



Stefan Rosenbach

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
Projektlaufzeit	Oktober 2020 - Dezember 2022



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

HESSEN



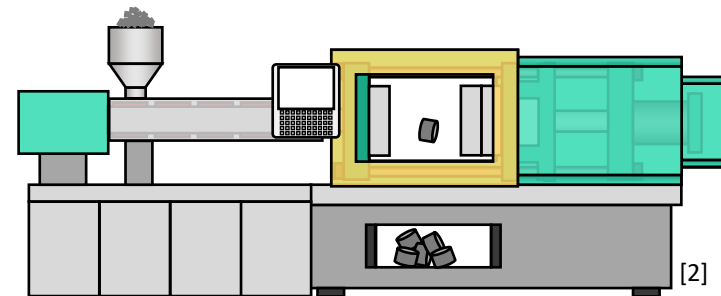
Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen



Anhaltende Trends

- Zunehmend komplexere Bauteilgeometrien
- Erweiterte Einsatzgebiete mit höheren mechanischen Belastungen
- Steigende Variantenvielfalt
- Höhere Anforderungen an Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz
- Wachsender Kostendruck

→ Etablierte Methoden der Qualitätssicherung geraten vermehrt an ihre Grenzen



Störgrößen

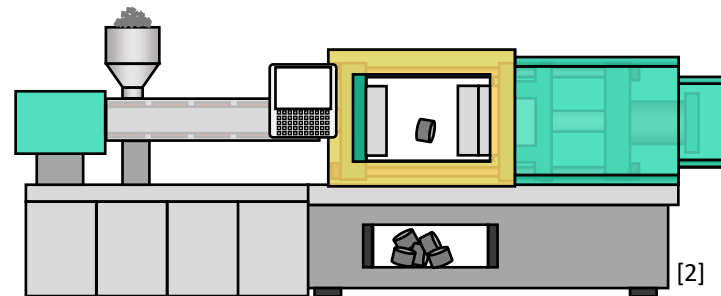
- Temperierung
- Feuchtigkeiten
- Verschleiß
- Materialqualität
- ...

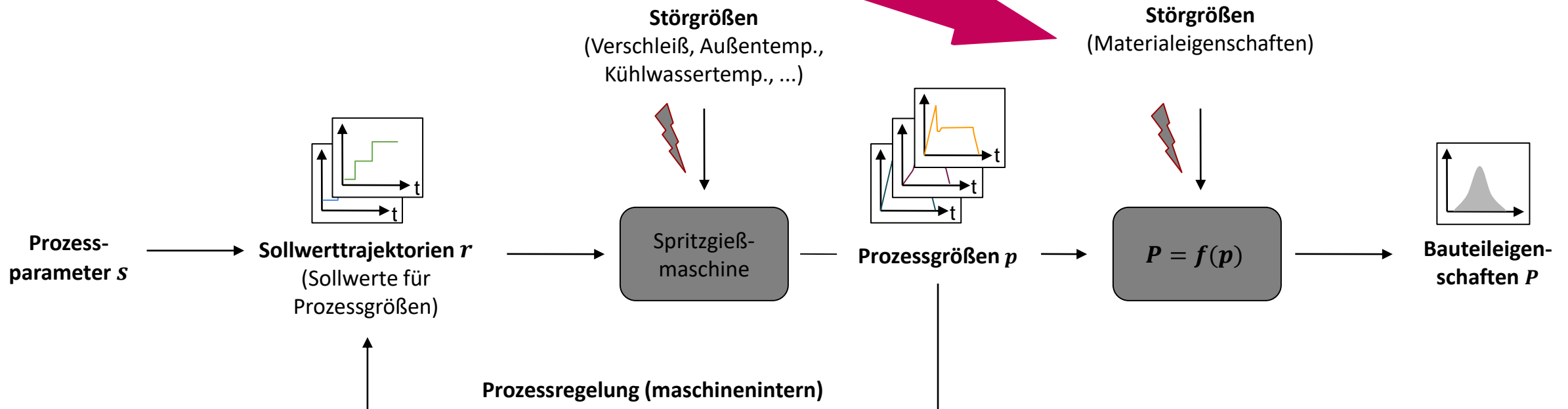
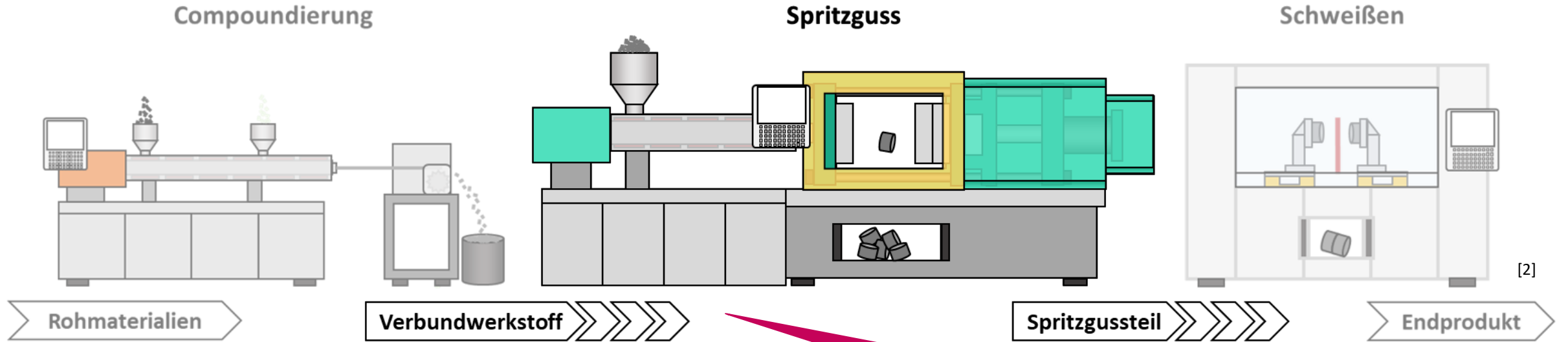
Prozessparameter

- Temperaturen
- Drücke
- Geschwindigkeiten
- ...

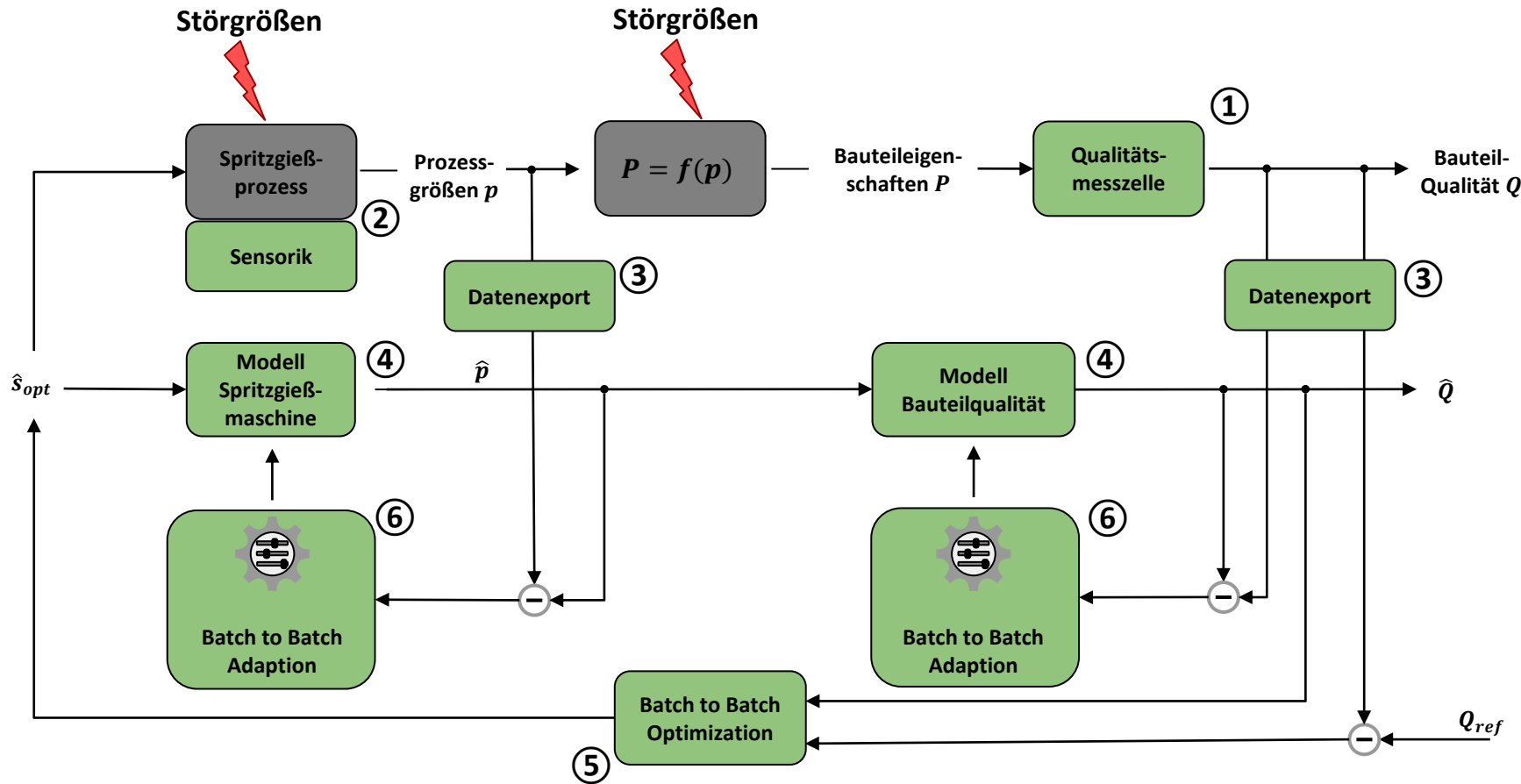
Bauteilqualität

- Maßhaltigkeit
- Gewicht
- Fehlstellen
- ...





Lösungskonzept:



Entwicklungsschritte:

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

Projektziele:

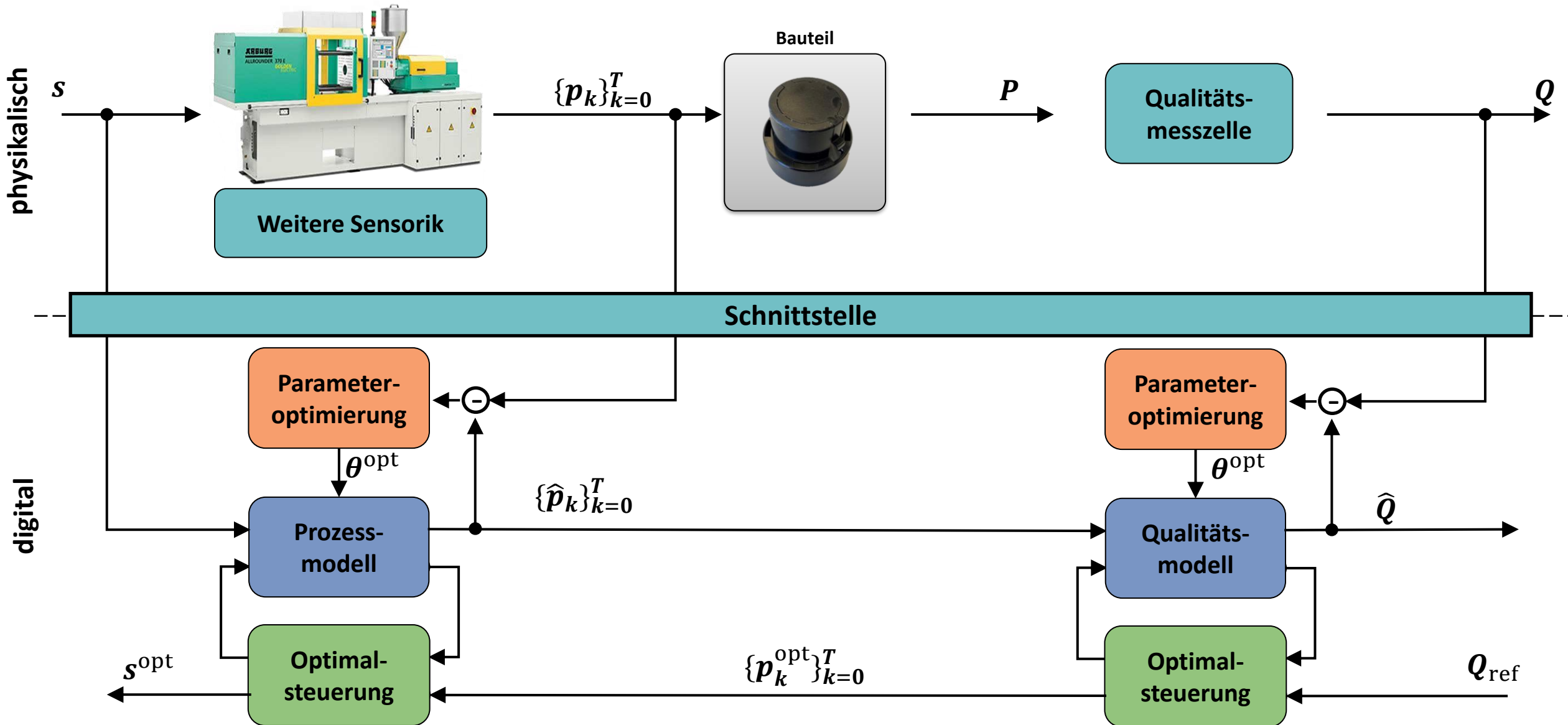
- Entwicklung eines digitalen Abbildes des Spritzgießprozesses und von Methoden zur modellbasierten Optimierung der Bauteilgüte
- Proof of Concept aller entwickelten Methoden durch Anwendung an einer Maschine des Fachgebietes IfW
- Transfer der entwickelten Technologien und des erforderlichen Wissens für deren Anwendung und Adaption

Zeitplan und Meilensteine:

	PM			2020			2021												2022											
	IfW-W	IfW-T	MRT-W	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AP 0	4	0	4	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
AP 1	7	7	0	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
AP 2	8	7	1	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
AP 3	3	2	8	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
AP 4	2	2	9	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
AP 5	3	0	3	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Σ	27	18	25																											

█ Entwicklung- und Implementierung
 █ Transfer
 █ Meilenstein

- AP0: Projektlenkungskreis
- AP1: Aufbau der Qualitätsmesszelle
- AP2: Datenaufzeichnung
- AP3: Modellbildung Digitaler Zwilling
- AP4: Prozessoptimierung
- AP5: Verbreitung der Projektergebnisse
- MS1: Demonstratoranlage aufgebaut
- MS2: Softwareentwicklung abgeschlossen

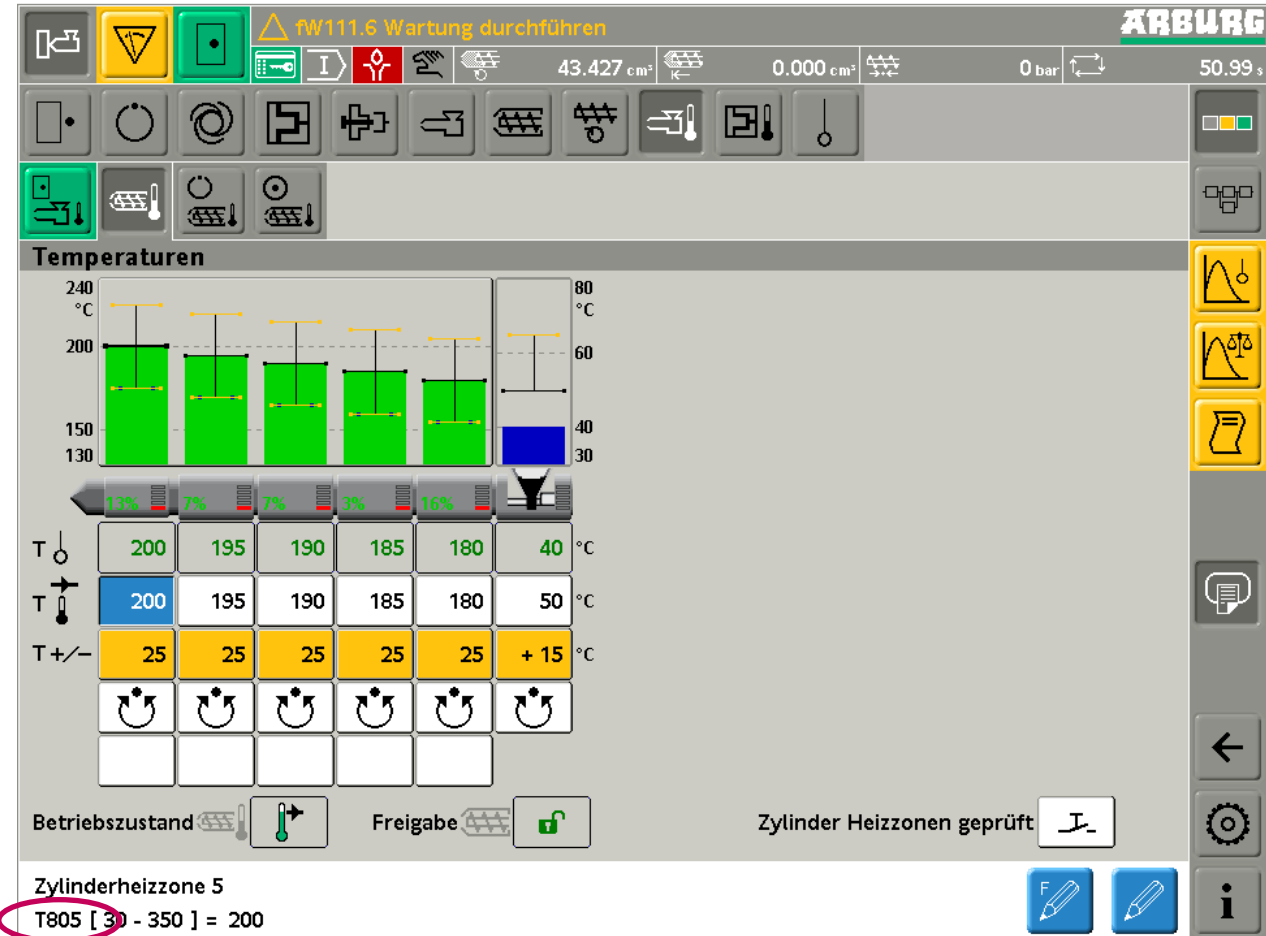


Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen

Skalare Größen

Temperatur Zylinderheizzonen (soll)	T801, ...
Temperatur Zylinderheizzonen (ist)	T801I, ...
Einspritzstrom (soll)	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle, soll)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle, soll)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle, soll)	t311, ...
Dosiervolumen (soll)	V403
Dosiervolumen (ist)	V301I
Umschaltvolumen (soll)	V305
Umschaltvolumen (ist)	V4065
Massepolster (ist)	V4062
Staudruck (soll)	p403
Max. Spritzdruck (ist)	p4055
Umschaltspritzdruck (ist)	p4072
Dosierzeit (ist)	t4015
Einspritzzeit (ist)	t4018



Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen

Skalare Größen

Temperatur Zylinderheizzone(n) (soll)	T801, ...
Temperatur Zylinderheizzone(n) (ist)	T801I, ...
Einspritzstrom (soll)	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle, soll)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle, soll)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle, soll)	t311, ...
Dosiervolumen (soll)	V403
Dosiervolumen (ist)	V301I
Umschaltvolumen (soll)	V305
Umschaltvolumen (ist)	V4065
Massepolster (ist)	V4062
Staudruck (soll)	p403
Max. Spritzdruck (ist)	p4055
Umschaltspritzdruck (ist)	p4072
Dosierzeit (ist)	t4015
Einspritzzeit (ist)	t4018



Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen

Skalare Größen

Temperatur Zylinderheizzone (soll)	T801, ...
Temperatur Zylinderheizzone (ist)	T801I, ...
Einspritzstrom (soll)	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle, soll)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle, soll)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle, soll)	t311, ...
Dosiervolumen (soll)	V403
Dosiervolumen (ist)	V301I
Umschaltvolumen (soll)	V305
Umschaltvolumen (ist)	V4065
Massepolster (ist)	V4062
Staudruck (soll)	p403
Max. Spritzdruck (ist)	p4055
Umschaltspritzdruck (ist)	p4072
Dosierzeit (ist)	t4015
Einspritzzeit (ist)	t4018

Trajektorien

Messgrafik 1	f3113I
Messgrafik 2	f3213I
Messgrafik 3	f3313I
Messgrafik 4	f3413I
Überwachungsgrafik 1	f3103I
Überwachungsgrafik 2	f3203I
Überwachungsgrafik 3	f3303I
Überwachungsgrafik 4	f3403I
Überwachungsgrafik 5	f3503I
Überwachungsgrafik 6	f3603I
Überwachungsgrafik 7	f3703I
Überwachungsgrafik 8	f3803I

Belegung der Grafiken

Kurve in Messgrafiken	0	Einspritzdruck_soll
	1	Einspritzdruck_ist
	2	Einspritzstrom_soll
	3	Einspritzstrom_ist
Überwachungsgrafik	1	Schneckenvolumen_ist
	2	Schneckenvolumen_ist
	3	Schneckenvolumen_ist
	4	Schneckenvolumen_ist
	5	Druckmesssystem_1
	6	Druckmesssystem_1
	7	Druckmesssystem_1
	8	Druckmesssystem_1

Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen
2. Ermittlung der zugehörigen Node-IDs
 - Durch das Kommunikationsprotokoll ist jedem Objekt (Parameter, Status, Information, ...) eine eindeutige ID zugeordnet.
 - Objekte beinhalten jeweils den Wert des Parameters und dessen Zustand.

- f80194 (ns=2;i=484050; Erfassungszeitpunkt Zylinderheizzone 1)
 - f80194-Value (ns=2;i=484052; value of the parameter)
 - f80194-State (ns=2;i=484051; state of the parameter)

- C801 (ns=2;i=207310; Beschreibung Zylinderzone 1)
 - C801-Value (ns=2;i=207312; value of the parameter)
 - C801-State (ns=2;i=207311; state of the parameter)

- P801i (ns=2;i=207360; Nachstellzeit Tn)
 - P801i-Value (ns=2;i=207362; value of the parameter)
 - P801i-State (ns=2;i=207361; state of the parameter)

- St801 (ns=2;i=207250; Stellgröße Zylinderheizzone 1)
 - St801-Value (ns=2;i=207252; value of the parameter)
 - St801-State (ns=2;i=207251; state of the parameter)

- T801 (ns=2;i=207260; Zylinderheizzone 1)
 - T801-Value (ns=2;i=207262; value of the parameter)
 - T801-State (ns=2;i=207261; state of the parameter)

- T801Q (ns=2;i=207280; Zylinderheizzone 1 Spritzeinheit 1, Istwert)
 - T801Q-Value (ns=2;i=207282; value of the parameter)
 - T801Q-State (ns=2;i=207281; state of the parameter)

- T801I (ns=2;i=207270; Zylinderheizzone 1 Spritzeinheit 1, Istwert)
 - T801I-Value (ns=2;i=207272; value of the parameter)
 - T801I-State (ns=2;i=207271; state of the parameter)

- T801T (ns=2;i=207300; Toleranz Zylinderheizzone 1)
 - T801T-Value (ns=2;i=207302; value of the parameter)
 - T801T-State (ns=2;i=207301; state of the parameter)

- f80196 (ns=2;i=484070; Temperaturüberwachung Zylinderheizzone 1)
 - f80196-Value (ns=2;i=484072; value of the parameter)
 - f80196-State (ns=2;i=484071; state of the parameter)

- P801p (ns=2;i=207340; Verstärkung Xp)
 - P801p-Value (ns=2;i=207342; value of the parameter)
 - P801p-State (ns=2;i=207341; state of the parameter)

Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen
2. Ermittlung der zugehörigen Node-IDs
 - Durch das Kommunikationsprotokoll ist jedem Objekt (Parameter, Status, Information, ...) eine eindeutige ID zugeordnet.
 - Objekte beinhalten jeweils den Wert des Parameters und dessen Zustand.

Temperatur Zylinderheizzonen (soll)	T801, ...	207262, 207412, 207562, 207712, 207862
Temperatur Zylinderheizzonen (ist)	T801I, ...	207272, 207422, 207572, 207722, 207872
Einspritzstrom (soll)	Q305	201092
Nachdruckvolumenstrom (alle, soll)	Q311, ...	201172, 416782, 416792
Nachdruckhöhe (alle, soll)	p311, ...	201292, 201332, 201372
Nachdruckzeit (alle, soll)	t311, ...	201282, 201322, 201362
Dosiervolumen (soll)	V403	201972
Dosiervolumen (ist)	V301I	201732
Umschaltvolumen (soll)	V305	201112
Umschaltvolumen (ist)	V4065	202422
Massepolster (ist)	V4062	202672
Staudruck (soll)	p403	201962
Max. Spritzdruck (ist)	p4055	202472
Umschaltspritzdruck (ist)	p4072	202522
Dosierzeit (ist)	t4015	202732
Einspritzzeit (ist)	t4018	202582

Messgrafik 1	f3113I	142912
Messgrafik 2	f3213I	144482
Messgrafik 3	f3313I	573862
Messgrafik 4	f3413I	574062
Überwachungsgrafik 1	f3103I	178052
Überwachungsgrafik 2	f3203I	179612
Überwachungsgrafik 3	f3303I	181172
Überwachungsgrafik 4	f3403I	182732
Überwachungsgrafik 5	f3503I	184292
Überwachungsgrafik 6	f3603I	185852
Überwachungsgrafik 7	f3703I	187412
Überwachungsgrafik 8	f3803I	188972

Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen
2. Ermittlung der zugehörigen Node-IDs
3. Anpassen des Skripts (Arburg_XYZ_config.py)

```
CLIENT_ADDRESS = 'opc.tcp://host_computer:1@XXX.XX.XX.XX:4880/Arburg/'  
NAME_OF_MEASUREMENT = 'DIM' # Name der Messreihe, wird als Namenspräfix für die Messdatei verwendet  
SLEEP_TIME = 0.25 # Zeitintervall in Sekunden, in dem nach einem neuen Zyklus gesucht werden soll
```

Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen
2. Ermittlung der zugehörigen Node-IDs
3. Anpassen des Skripts (Arburg_XYZ_config.py)

```
SIGNALS = {
    'cycle_counter': signal_struct('ns=2;i=117562'), # this key must be included with the key name 'cycle_counter'!

    #Monitoring Charts (signals must be configured on the machine)
    'monitoring_chart_1': signal_struct('ns=2;i=178052'),
    'monitoring_chart_2': signal_struct('ns=2;i=179612'),
    'monitoring_chart_3': signal_struct('ns=2;i=181172'),
    'monitoring_chart_4': signal_struct('ns=2;i=182732'),
    'monitoring_chart_5': signal_struct('ns=2;i=184292'),
    'monitoring_chart_6': signal_struct('ns=2;i=185852'),
    #'monitoring_chart_7': signal_struct('ns=2;i=187412'),
    #'monitoring_chart_8': signal_struct('ns=2;i=188972'),

    # Measurement Charts
    'measurement_chart_1': signal_struct('ns=2;i=142912', num_signals=4),
    'measurement_chart_2': signal_struct('ns=2;i=144482', num_signals=4),
    'measurement_chart_3': signal_struct('ns=2;i=573862', num_signals=4),
    #'measurement_chart_4': signal_struct('ns=2;i=574062', num_signals=4),

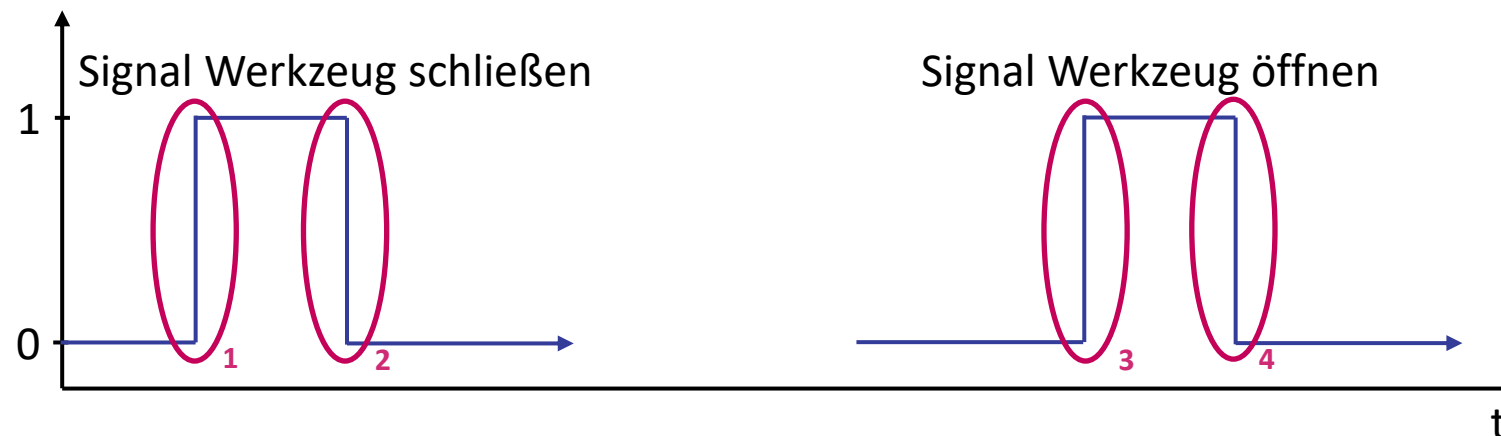
    'Zykluszeit': signal_struct('ns=2;i=140842'),
    'Zylinderheizzone 1_ist': signal_struct('ns=2;i=207272'),
    'Zylinderheizzone 2_ist': signal_struct('ns=2;i=207422'),
    'Zylinderheizzone 3_ist': signal_struct('ns=2;i=207572'),
    'Zylinderheizzone 4_ist': signal_struct('ns=2;i=207722'),
}
```

Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen
2. Ermittlung der zugehörigen Node-IDs
3. Anpassen des Skripts (Arburg_XYZ_config.py)

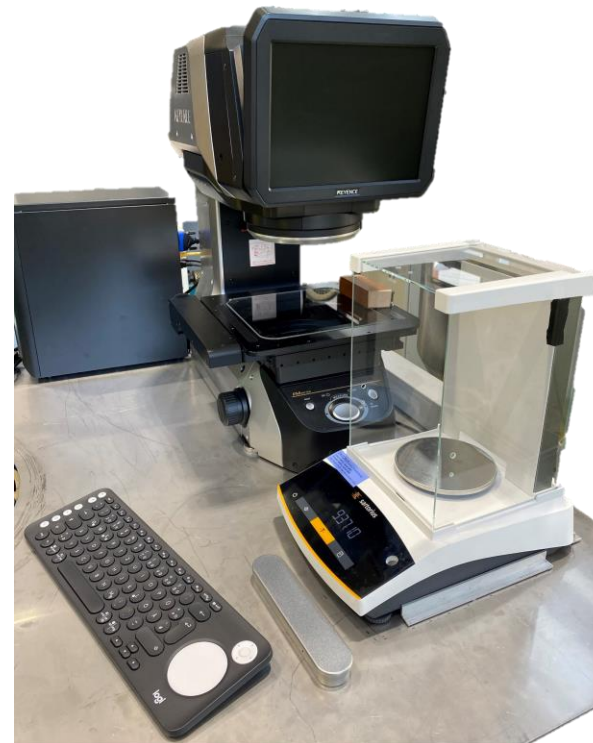
```
# Dieses dict enthält das Signal/die Node, welche zur Erkennung eines neuen Zyklusses verwendet wird
NEW_CYCLE_SIGNAL = {
    'new_cycle_signal': signal_struct('ns=2;i=56842'), # Node-Id ist für 'Werkzeug öffnen'
}

|
OLD_CYCLE_VALUE = 0 # Wert, den die new cycle node annimmt, BEVOR neuer Zyklus erkannt werden soll
NEW_CYCLE_VALUE = 1 # Wert, den die new cycle node annimmt, wenn ein neuer Zyklus erkannt werden soll
USE_FILENAME_CYCLE_PREFIX = False # Auf True setzen, um eine neue Datei für jeden Zyklus zu erzeugen
NEW_FILE_TIMER = 'd' # character representing the timestep at which a new file is created ('d' = 1 per day, 'h' = 1 per hour, etc.)
```



Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen
2. Ermittlung der zugehörigen Node-IDs
3. Anpassen des Skripts (Arburg_XYZ_config.py)
4. Ggf. Berücksichtigung von Qualitätsdaten



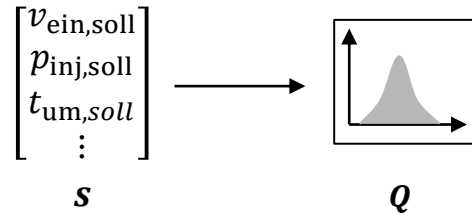
Ablauf:

1. Abzufragende Maschinen- und Prozessgrößen festlegen
2. Ermittlung der zugehörigen Node-IDs
3. Anpassen des Skripts (Arburg_XYZ_config.py)
4. Ggf. Berücksichtigung von Qualitätsdaten
5. Ausführen des Skripts (opc_daq_main.py)

	0	1	2	3	4	5
0	0.0	0.0	44.4883...	0.0	-2.11599...	1.0
1	0.01999...	0.0	44.4730...	2000.02...	-19.6136...	1.0
2	0.03999...	0.0	44.3433...	2000.02...	46.0636...	1.0
3	0.05999...	0.0	44.3128...	2000.02...	117.519...	1.0
4	0.07999...	0.0	44.3662...	2000.02...	180.022...	1.0
5	0.09999...	0.0	44.4578...	2000.02...	269.383...	1.0
6	0.11999...	0.0	44.2060...	2000.02...	383.077...	1.0
7	0.13999...	0.0	44.2976...	2000.02...	462.427...	1.0
8	0.15999...	0.0	44.3128...	2000.02...	443.057...	1.0
9	0.17999...	0.0	44.2213...	2000.02...	409.283...	1.0
10	0.19999...	0.0	44.3357...	2000.02...	396.75	1.0
11	0.21999...	0.0	44.3205...	2000.02...	452.905...	1.0

- DIM_20221110.h5
 - cycle_68650
 - cycle_68651
 - cycle_68652
 - cycle_68653
 - cycle_68654
 - Q305_Value
 - Q311_Value
 - Q312_Value
 - Q313_Value
 - T801I_Value
 - axis0
 - axis1
 - block0_items → 0 zylinderheizzone-1_ist
 - block0_values → 0 224.60000610351562
 - T801_Value
 - T802I_Value
 - T802_Value
 - T803I_Value
 - T803_Value
 - T804I_Value
 - T804_Value
 - T805I_Value
 - T805_Value
 - T822_Value
 - V301I_Value
 - V305_Value
 - V403_Value
 - V4062_Value
 - V4065_Value
 - add_data
 - f3103I_Value

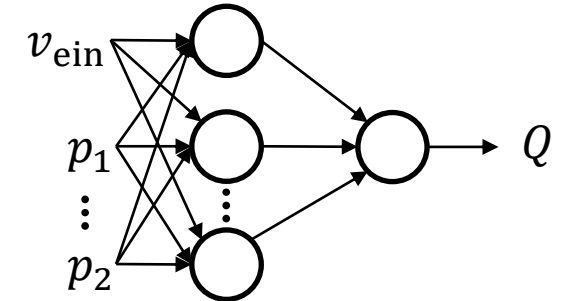
Modellierungsansätze



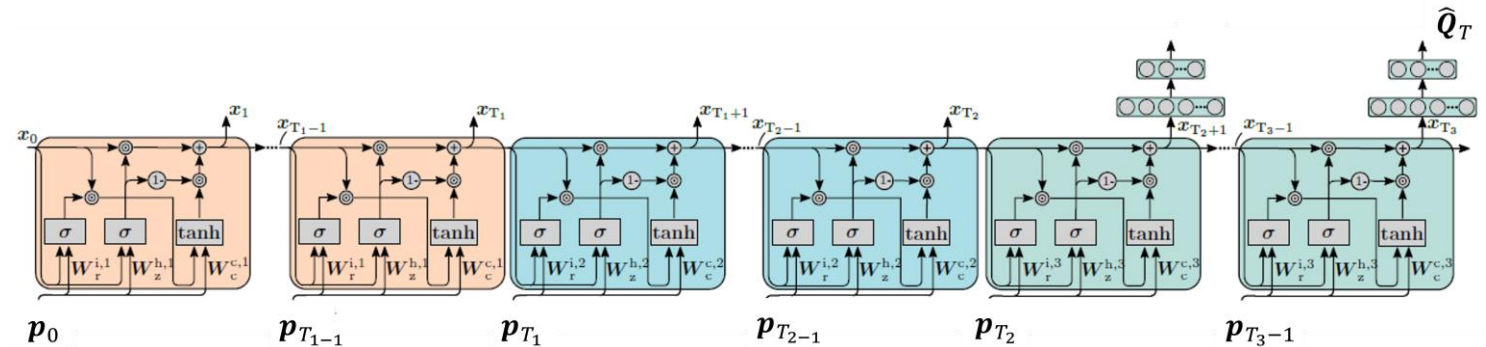
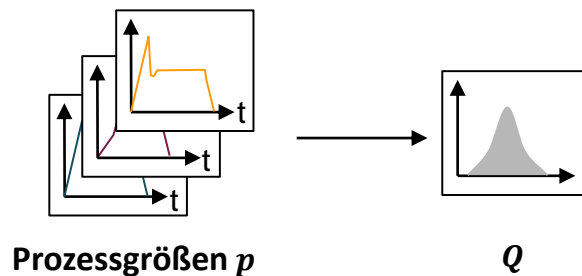
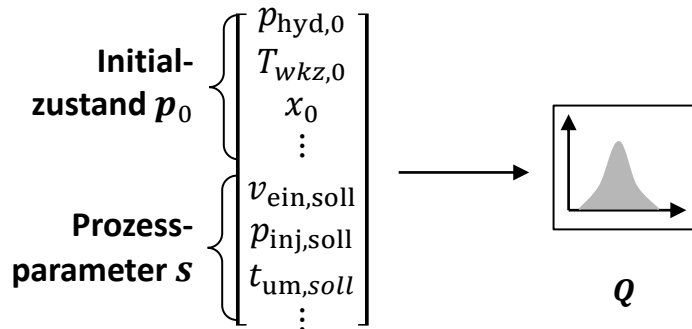
$$Q = a_0 + a_1 \cdot v_{\text{ein}} + b_1 \cdot p_1 + \dots + d_1 \cdot p_2 + a_2 \cdot v_{\text{ein}}^2 + b_2 \cdot p_1^2 + \dots + d_2 \cdot p_2^2$$

Polynomiale Modelle

Modellstrukturen (Auswahl)

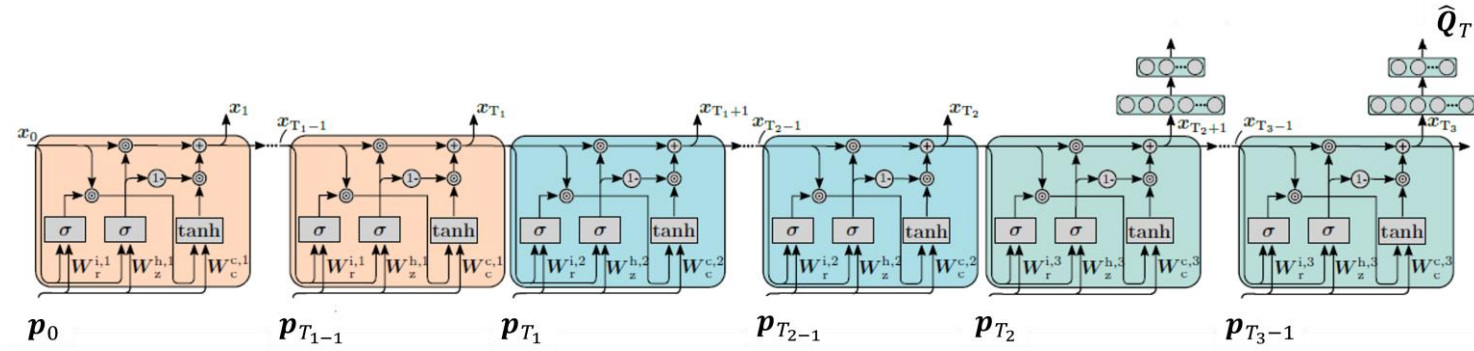


NN mit beliebig vielen Neuronen in der verdeckten Schicht

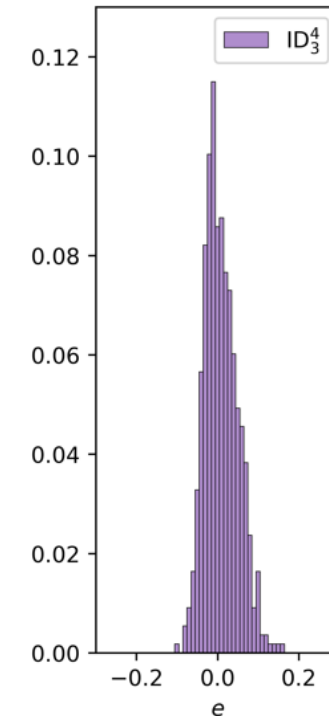
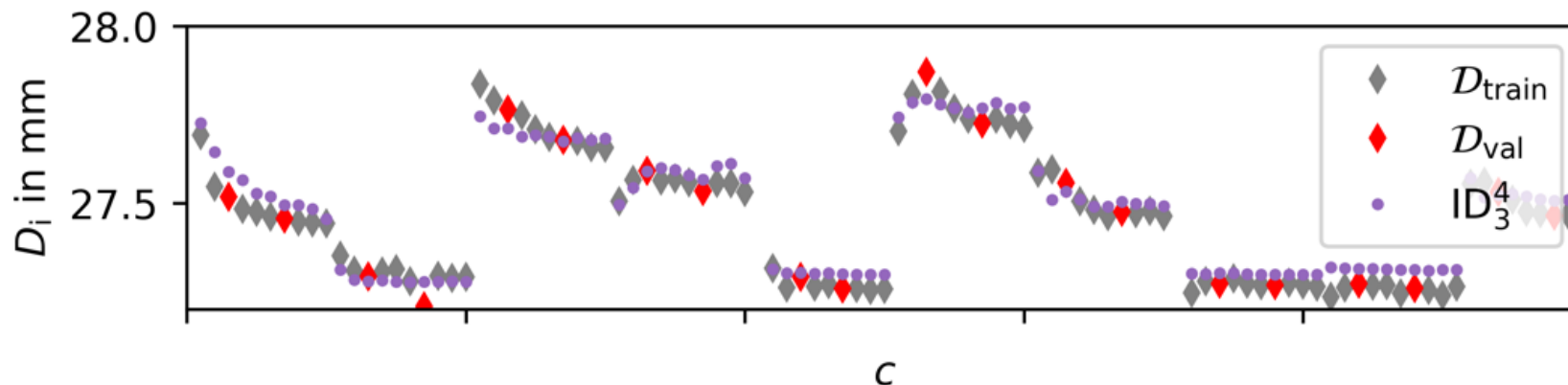


Schaltende Modelle mit interner Dynamik (Rekurrente Neuronale Netze)

Modellstruktur: Aus drei dynamischen Teilmodellen bestehendes Modell, dass bei der Prädiktion von einem Teilmodell auf das nächste umschaltet.

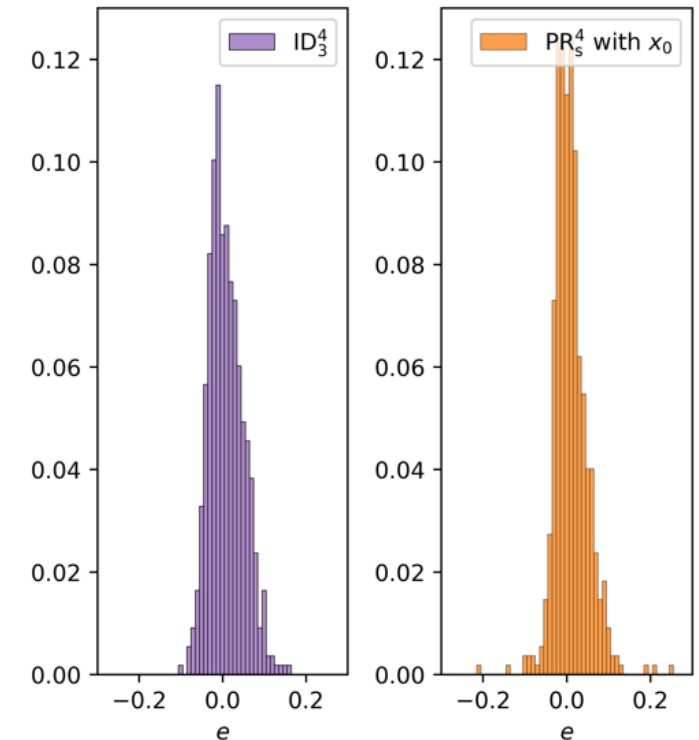
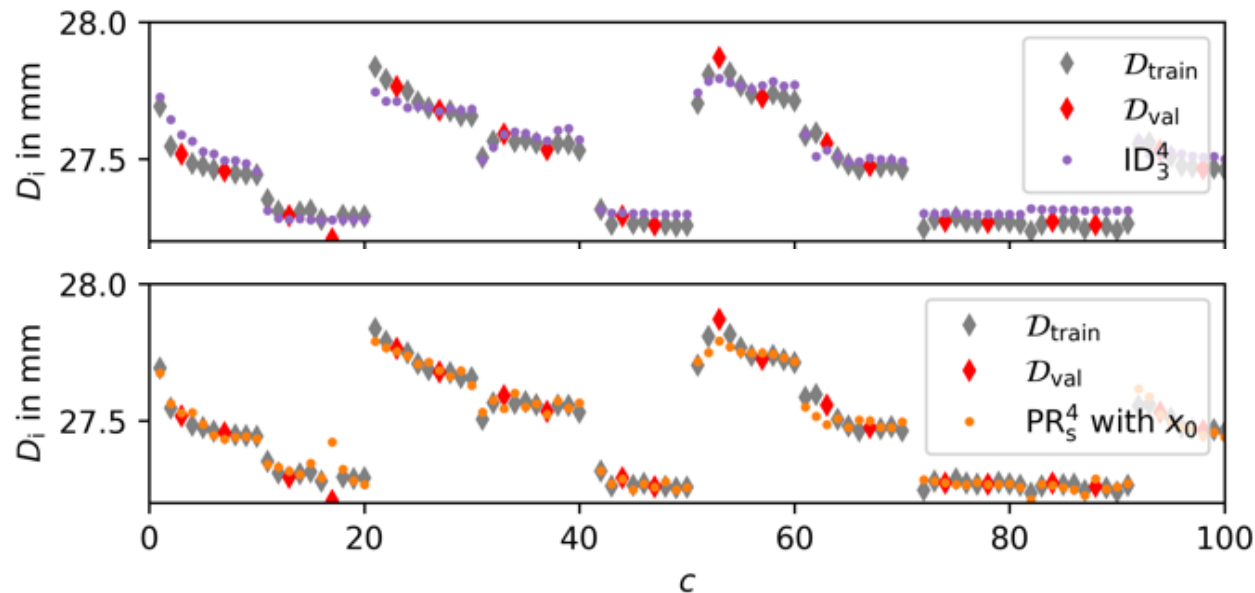


Ergebnis: Hohe Modellgüte, mehr als 90 % der Varianz der Validierungsdaten können erklärt werden, absoluter Fehler meist deutlich unter 0,1 mm

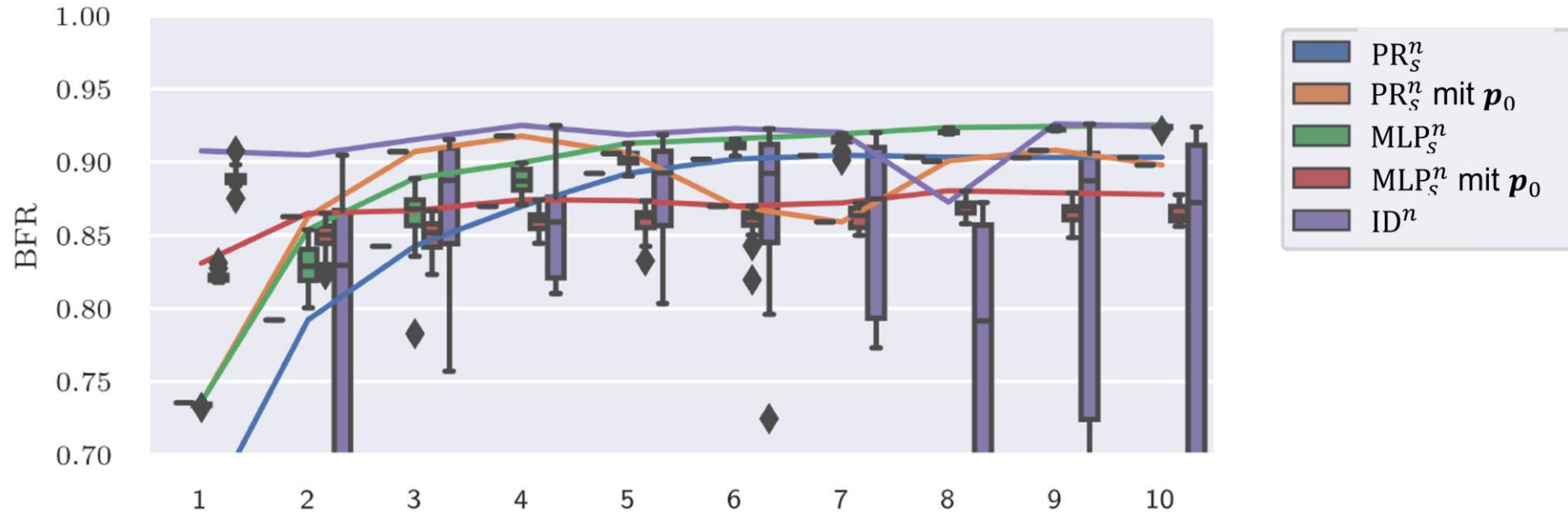


Vergleichsmodell: Polynom 4. Ordnung. Eingangsgrößen:

- **Prozessparameter s :** Umschaltzeitpunkt, Soll-Einspritzgeschwindigkeit, Soll-Düsentemperatur, etc.
- **Initialzustand p_0 :** Ist-Temperatur der Kavität bei $t = 0$, Ist-Position der Schnecke bei $t = 0$, Hydraulikdruck bei $t = 0$ erhält.

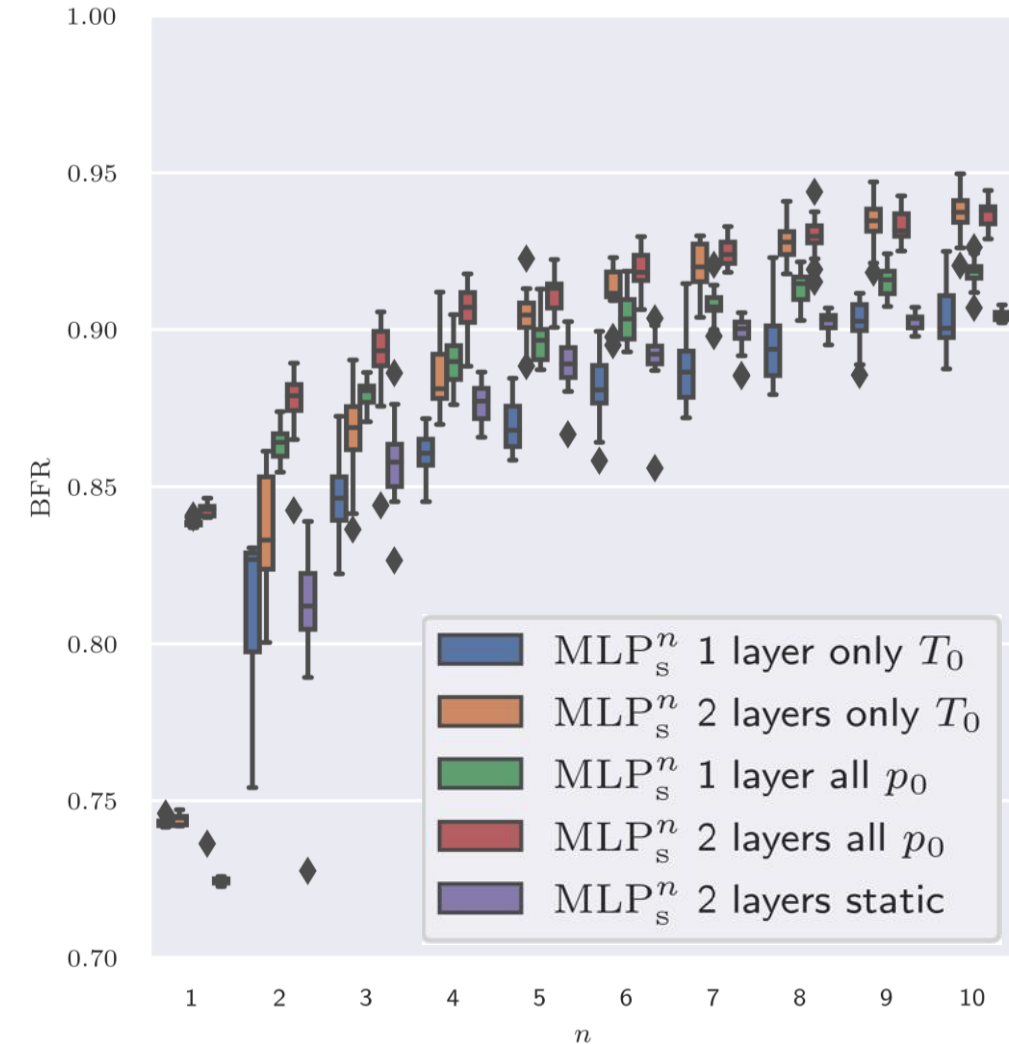


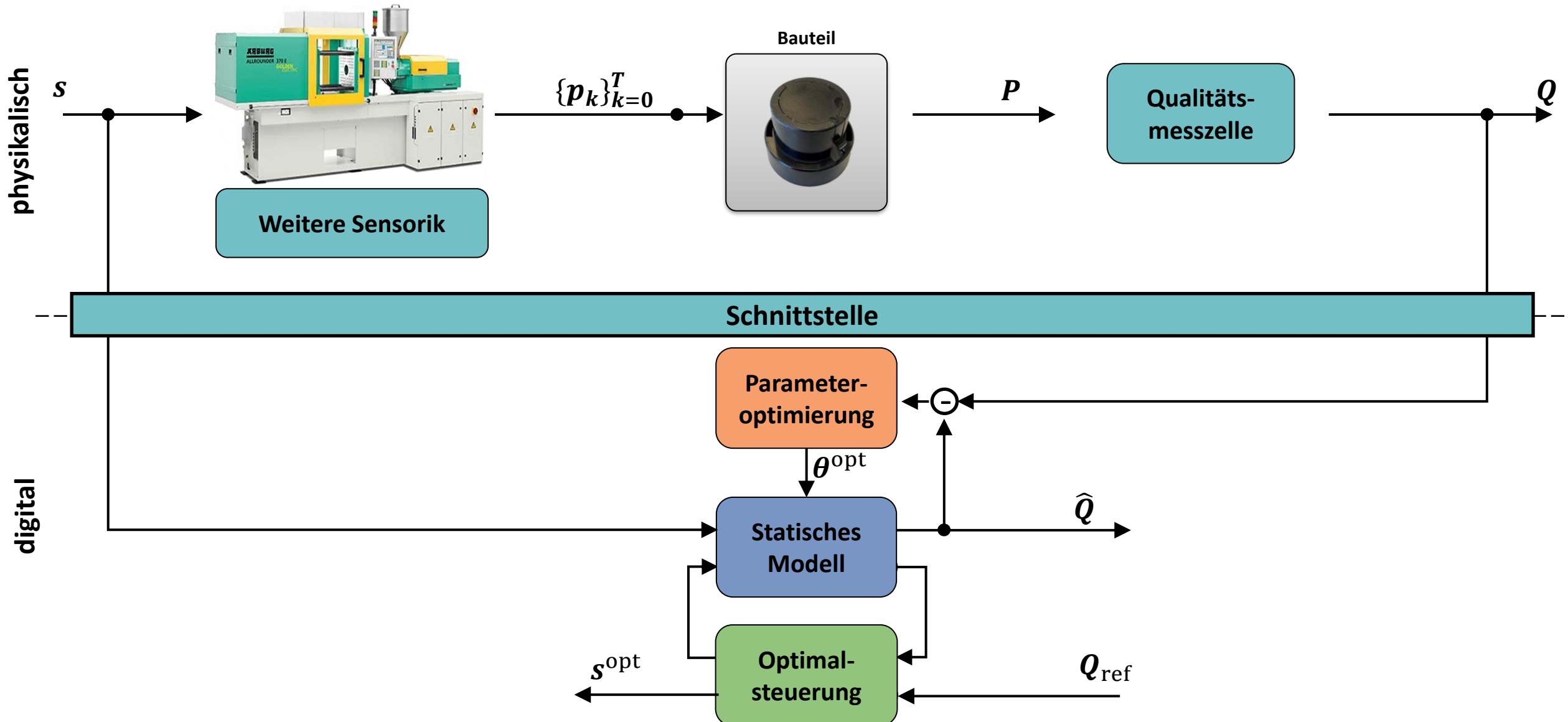
Ergebnis: Dynamisches Modell marginal besser, Aufwand ist aber um ein vielfaches höher.

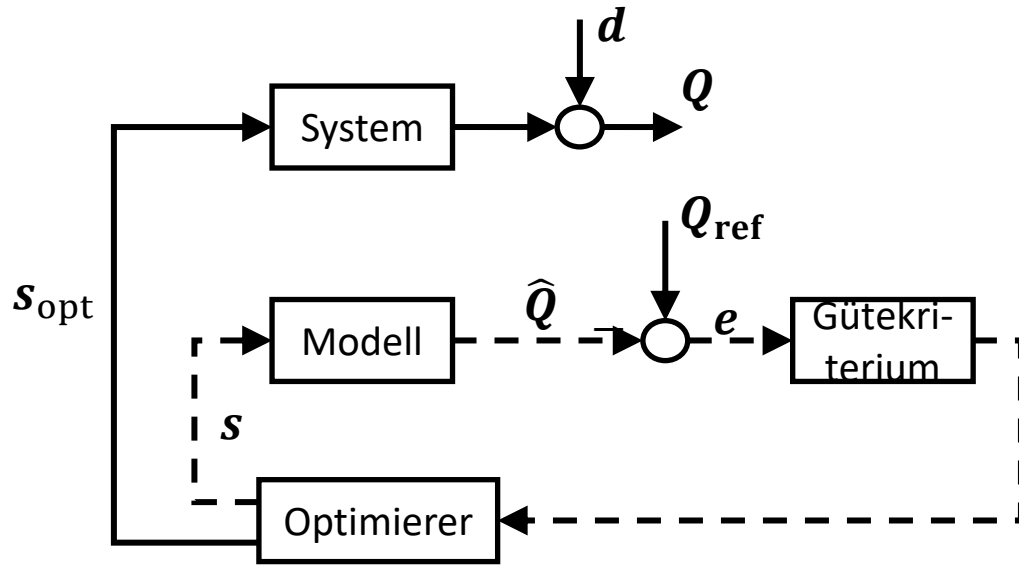


- Dynamische Modelle (ID) performen gut, aber hohe Varianz und hoher Rechenaufwand
- Statische Modelle (MLP, PR) liefern gleichwertige Ergebnisse, bei geringerem Rechenaufwand
- Weiterer Vorteil: Modelleingangsgrößen sind unmittelbar die Maschinenparameter s (für Optimierung nutzbar)

- Unter den statischen Modellen sind die Modelle, welche den Initialzustand p_0 als Modelleingangsgröße nutzen am performantesten
- Dabei ist die initiale Werkzeugtemperatur $T_{Wkz,0}$ die entscheidende Einflussgröße
- Aufgrund der überraschend guten Ergebnisse mit statischen Modellen, wurde das Lösungskonzept weg von einem dynamischen hin zu einem statischen Digitalen Zwilling überarbeitet







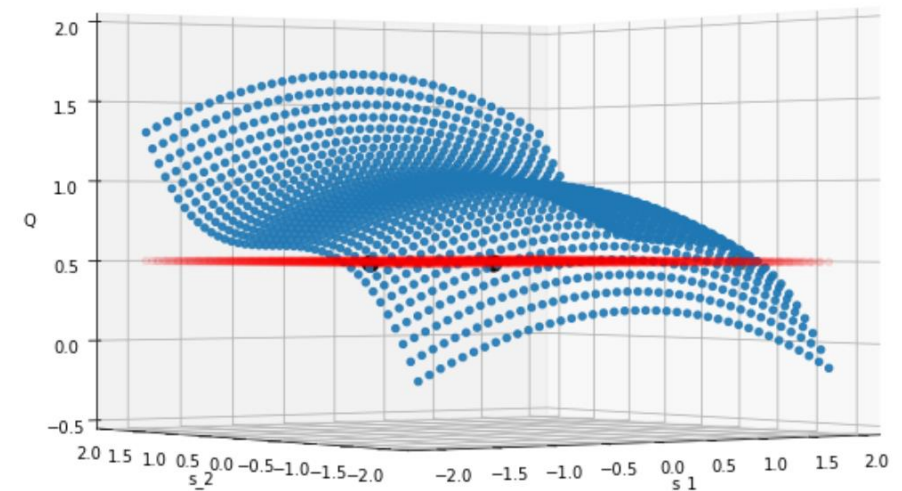
Ziel: Finde s_{opt} , sodass Q_{ref} realisiert wird.

Lösung: Iteratives Lösungsverfahren nutzt das Modell, und variiert s solange bis Abweichung e zwischen prädizierter Ausgangsgröße \hat{Q} und gewünschter Ausgangsgröße Q_{ref} minimiert wurde.

Optimierungsproblem entspricht dem Finden der Schnittpunkte der Modellfunktion (blau) mit dem Referenzwert (rot)

Herausforderungen:

- Lösung nicht eindeutig
- Wertebereichsbeschränkungen
- Gültigkeit des Modells



Uhrzeit	Aktivität	Ort	Personen
13:00	Get together mit Imbiss	Foyer Gießhaus	Alle
13:30	Begrüßung & Vorstellung Projektergebnisse	Gießhaus	Alle
14:00	Vorstellung Digitaler Zwilling (DT) - Physikalische und cyberphysikalische Assets des DT - Datenaufzeichnung - Qualitätsprädiktion - Prozessoptimierung	Technikum IfW, Mönchebergstr. 3	Alle
14:30	Laborführung Institut für Werkstofftechnik	Mönchebergstr. 3	Alle
15:00	Laborführung Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik	Mönchebergstr. 7	Alle
16:00	Next Steps & Verabschiedung	Gießhaus	Alle
16:30	Abschlussdiskussion	Gießhaus	Lenkungskreis

www.uni-kassel.de/go/DIM

Projektziele:

- Entwicklung eines digitalen Abbildes des Spritzgießprozesses und von Methoden zur modellbasierten Optimierung der Bauteilgüte

Datenerfassung

Erfassung und Archivierung sämtlicher

- Maschinen-,
 - Prozess- und
 - Qualitätsgrößen
- im Prozesstakt (auch Trajektorien).

Modellbildung

Vorimplementierte

- statische und
 - dynamische
- Modellstrukturen

Methoden zur Optimierung von Modellen für mehrstufige Batchprozesse.

Methoden zur Online-Nachschätzung von statischen Modellen.

Prozessoptimierung

Methoden zur modellbasierten Optimierung von Fertigungsprozessen für

- statische Modelle
- dynamische Modelle
- mehrstufige schaltende Modelle

Projektziele:

- Entwicklung eines digitalen Abbildes des Spritzgießprozesses und von Methoden zur modellbasierten Optimierung der Bauteilgüte
- Proof of Concept aller entwickelten Methoden durch Anwendung an einer Maschine des Fachgebietes IfW
- Transfer der entwickelten Technologien und des erforderlichen Wissens für deren Anwendung und Adaption



Technologien

Maschinenprotokolle

Messgeräte zur Qualitätsüberwachung

1 Softwaremodul zur Datenaufzeichnung

1 Softwaremodul zur datengetriebenen Modellbildung

1 Softwaremodul zur modellbasierten Prozessoptimierung

Wissen

1 Seminar zu den Themen:

- Prozessgrößenauswahl
- Sensorapplikation
- Auslesung der Daten aus der Maschinensteuerung

1 Leitfaden in dem alle Entwicklungsschritte dokumentiert sind.

1 Seminar zu den Themen:

- Aufbau Qualitätsmesszelle
- Messung von Qualitätsgrößen im Prozesstakt

1 Leitfaden in dem alle Entwicklungsschritte dokumentiert sind.

1 Seminar zu den relevanten Kommunikationsprotokollen (z.B. OPC-UA)

1 Workshop zu den Themen:

- Grundlagen der Programmierung mit Python
- Datenaufzeichnung mit Python und OPC-UA

1 Seminar zur datengetriebenen Modellbildung

1 Workshop zur Anwendung der entwickelten Software

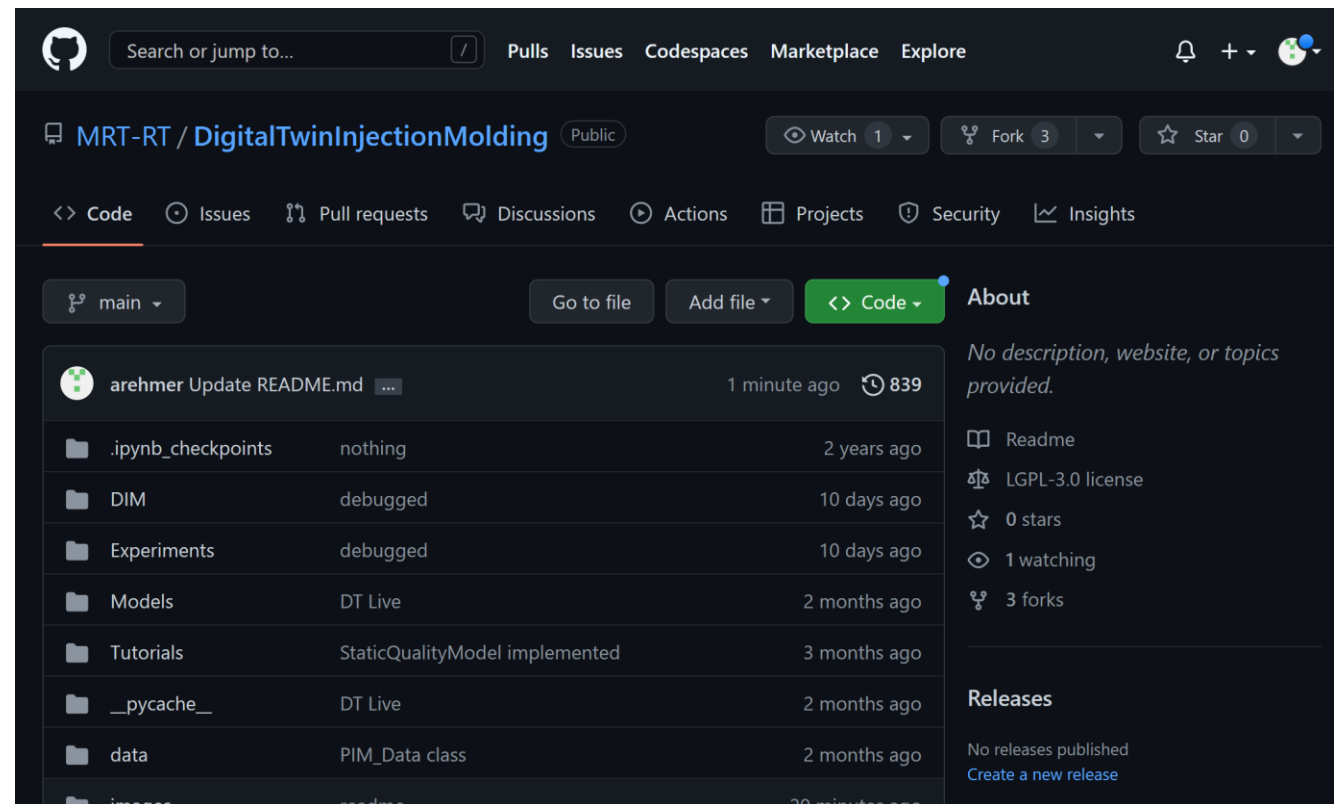
1 Leitfaden zur datengetriebenen Modellbildung des Spritzgießprozesses

1 Seminar zum Thema Optimalsteuerung

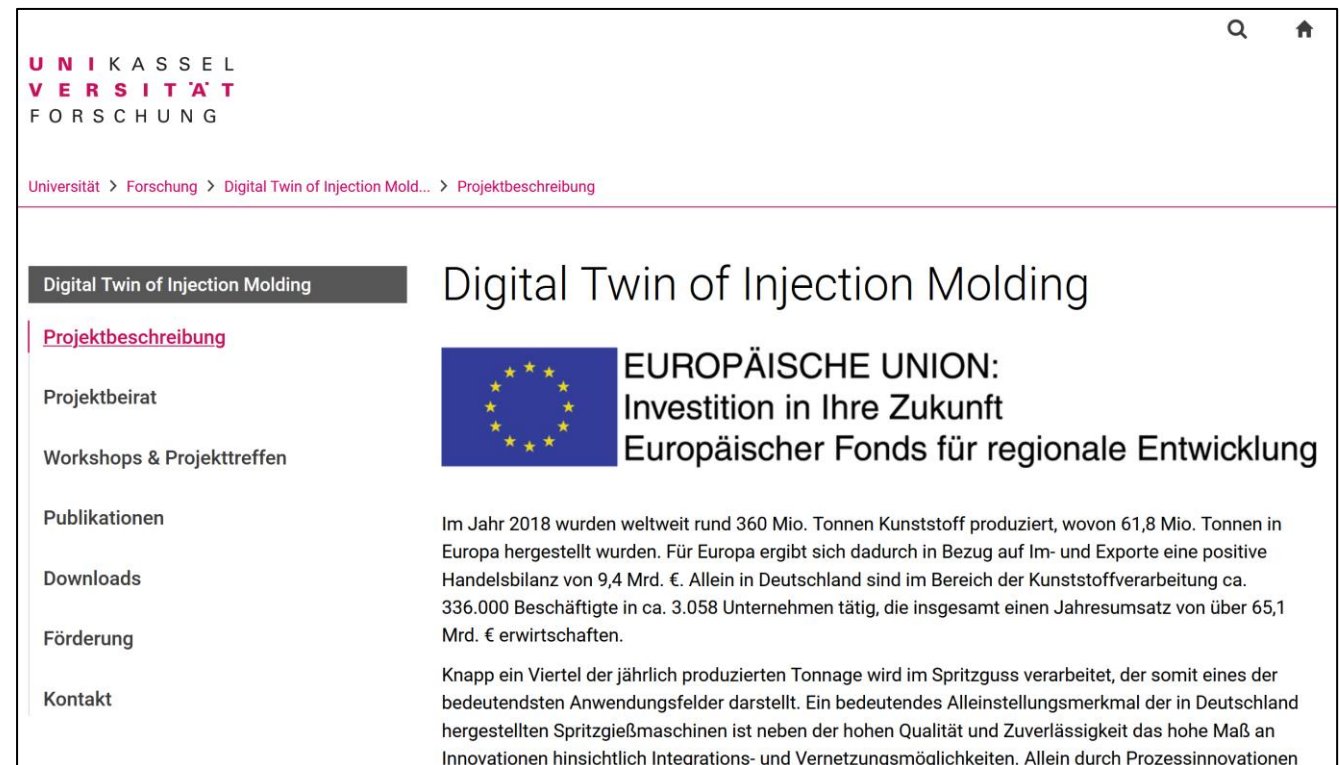
1 Workshop zur Anwendung der entwickelten Software

1 Leitfaden zur Optimierung des Spritzgießprozesses

- Entwickelte Toolbox, sowie Transfermaßnahmen stehen weiterhin kostenlos und barrierefrei zur Verfügung
 - <https://github.com/MRT-RT/DigitalTwinInjectionMolding>
 - GNU Lesser General Public License v3.0 zur kommerziellen Nutzung
 - Software zur Auslesung von Maschinendaten aus Arburg-Spritzgießmaschinen mittels OPC-UA
 - Python-Toolbox zur datengetriebenen Modellbildung mehrstufiger Batch-Prozesse, insbesondere dem Spritzgießprozess



- Entwickelte Toolbox, sowie Transfermaßnahmen stehen weiterhin kostenlos und barrierefrei zur Verfügung
 - <https://github.com/MRT-RT/DigitalTwinInjectionMolding>
 - <https://www.uni-kassel.de/go/DIM>
 - Präsentationen der Projekttreffen (PDF)
 - Präsentationen und Übungsmaterialien der Seminare & Workshops (PDF, Jupyter Notebooks, Python-Code)
 - Aufnahmen der Seminare & Workshops (Videos)
 - Leitfäden (PDF)
 - Publikationen (Manuskripte, PDF)



The screenshot shows the project page for 'Digital Twin of Injection Molding' on the website of the University of Kassel. The page features a navigation menu on the left with options like 'Projektbeschreibung', 'Projektbeirat', 'Workshops & Projekttreffen', 'Publikationen', 'Downloads', 'Förderung', and 'Kontakt'. The main content area includes the project title, a description, and a prominent banner for the European Union's investment in regional development. The banner text reads: 'EUROPÄISCHE UNION: Investition in Ihre Zukunft. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung'. Below the banner, the text states: 'Im Jahr 2018 wurden weltweit rund 360 Mio. Tonnen Kunststoff produziert, wovon 61,8 Mio. Tonnen in Europa hergestellt wurden. Für Europa ergibt sich dadurch in Bezug auf Im- und Exporte eine positive Handelsbilanz von 9,4 Mrd. €. Allein in Deutschland sind im Bereich der Kunststoffverarbeitung ca. 336.000 Beschäftigte in ca. 3.058 Unternehmen tätig, die insgesamt einen Jahresumsatz von über 65,1 Mrd. € erwirtschaften. Knapp ein Viertel der jährlich produzierten Tonnage wird im Spritzguss verarbeitet, der somit eines der bedeutendsten Anwendungsfelder darstellt. Ein bedeutendes Alleinstellungsmerkmal der in Deutschland hergestellten Spritzgießmaschinen ist neben der hohen Qualität und Zuverlässigkeit das hohe Maß an Innovationen hinsichtlich Integrations- und Vernetzungsmöglichkeiten. Allein durch Prozessinnovationen'.

- Entwickelte Toolbox, sowie Transfermaßnahmen stehen weiterhin kostenlos und barrierefrei zur Verfügung
 - <https://github.com/MRT-RT/DigitalTwinInjectionMolding>
 - <https://www.uni-kassel.de/go/DIM>
- Wiederholung des Schulungsangebots in anderen Formaten
 - Treffen des Innovationszentrum Kunststofftechnik e.V.
 - Kompaktschulungen mit live Implementierung an der Demonstratoranlage
- Fachgebiete fungieren als Ansprechpartner und Vermittler (Nutzung und Erweiterung des aufgebauten Netzwerks)

Ausblick und Potentiale:

- Während Versuchsreihen haben sich neue Forschungsfragen durch bisher unerklärbare Effekte ergeben
- Planung weiterer kooperativer Forschungsprojekte
 - Steigerung der Langzeitstabilität der Modelle durch Erklärung der Phänomene
 - Cybersicherheit von digitalisierten Produktionsketten
- Aufrechterhaltung und Erweiterung des gebildeten Netzwerks (Berücksichtigung bei zukünftigen Digitalisierungsprojekten)

Digital Twin of Injection Molding (DIM)

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



[1]

