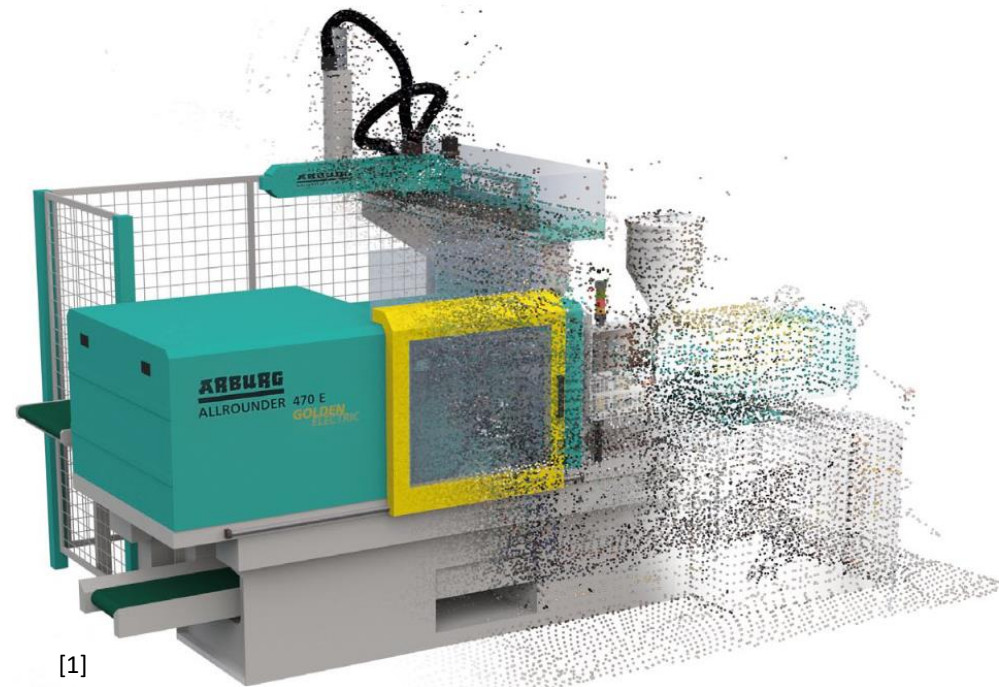


# Lenkungskreistreffen 2

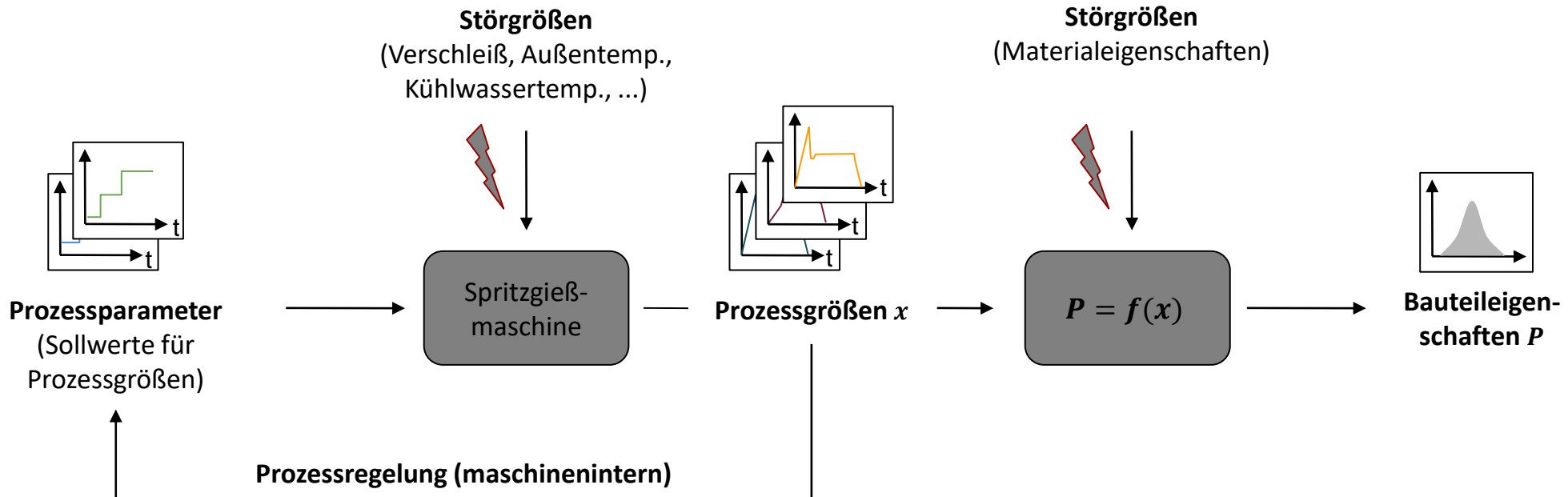
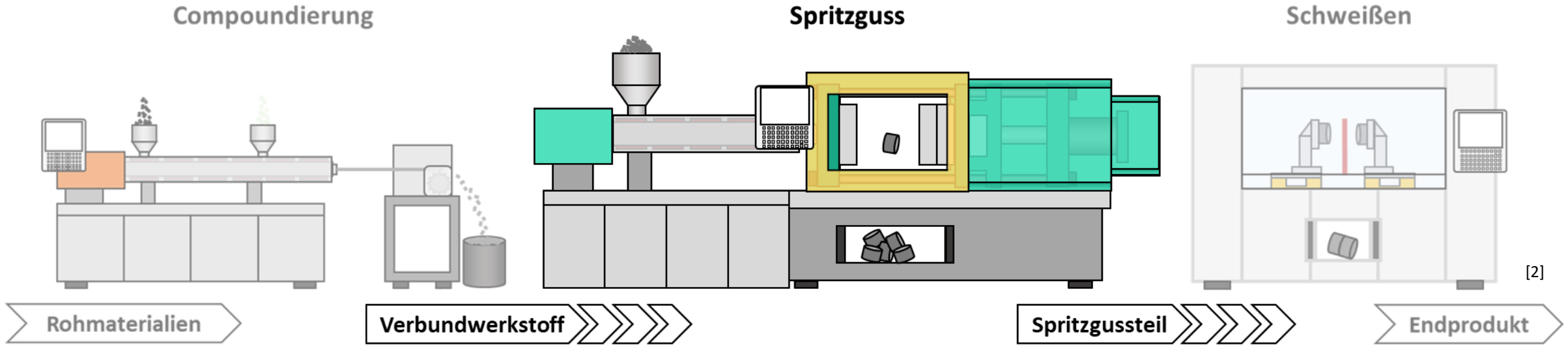
## Digital Twin of Injection Molding (DIM)

15.07.2021



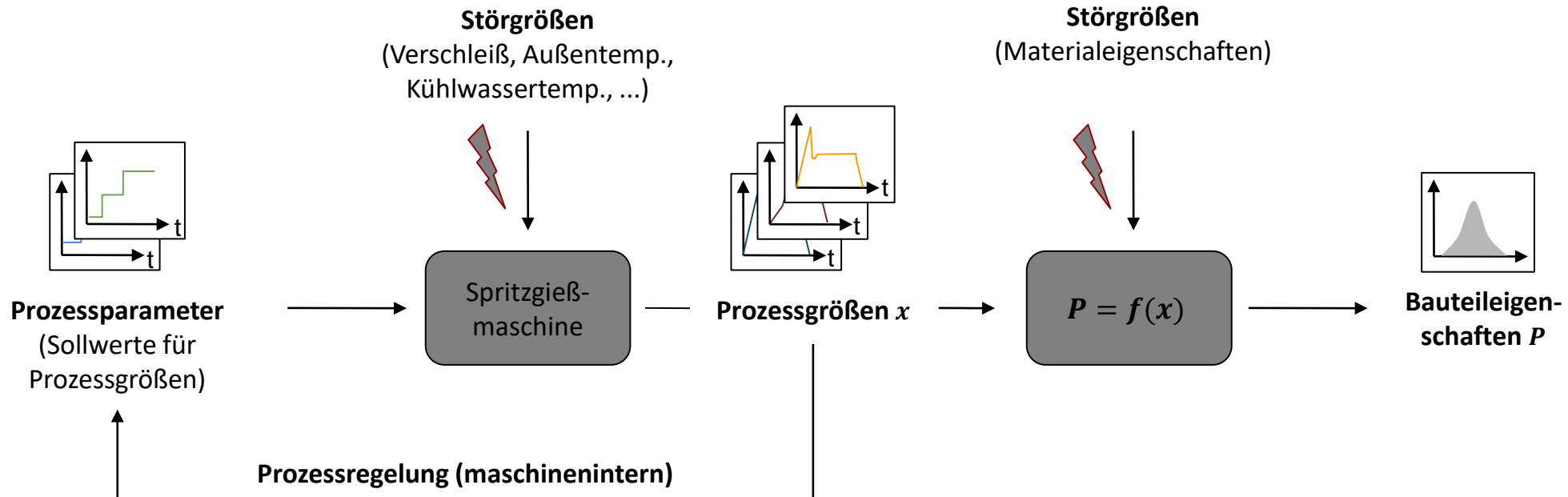
[1]

- **Begrüßung**
- **Projektüberblick DIM**
- **Technisch-methodische Entwicklung**
- **Vorstellung Transferkonzept**
- **Abschlussdiskussion**



- Regelung von Prozessgrößen erlaubt nur indirekt eine Einstellung definierter Bauteileigenschaften
- Nicht messbare Störgrößen ändern den Zusammenhang zwischen Prozessparametern und resultierenden Bauteileigenschaften

**Ziel:** Direkte Steuerung der Bauteilqualität, Kompensation von nicht messbaren Störgrößen, einfache Integration des Verfahrens in den bestehenden Produktionsprozess



## 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

## Projektbearbeiter:



+ Technischer Mitarbeiter + Hiwis

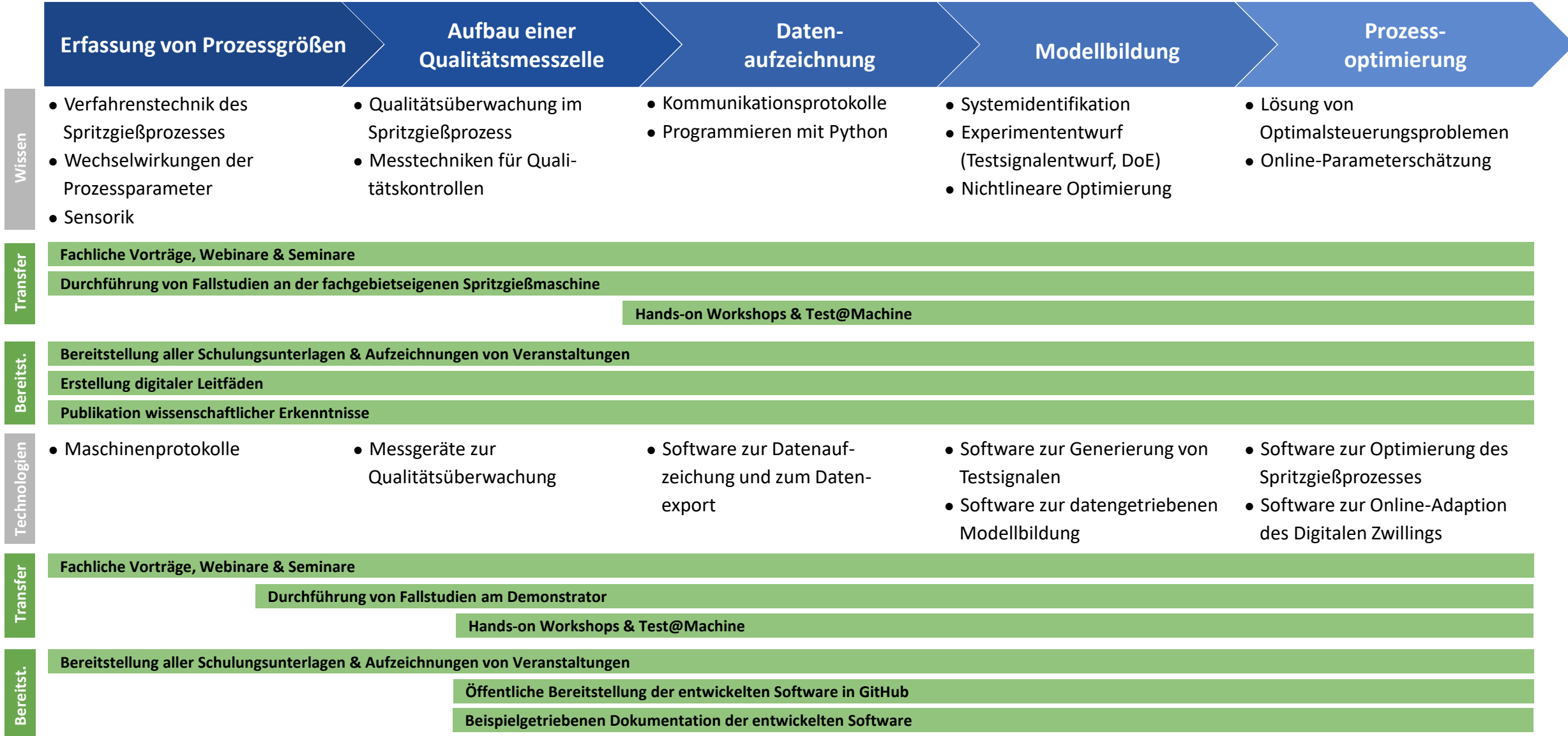
Marco Klute Alexander Rehmer

|      | 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    |      |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

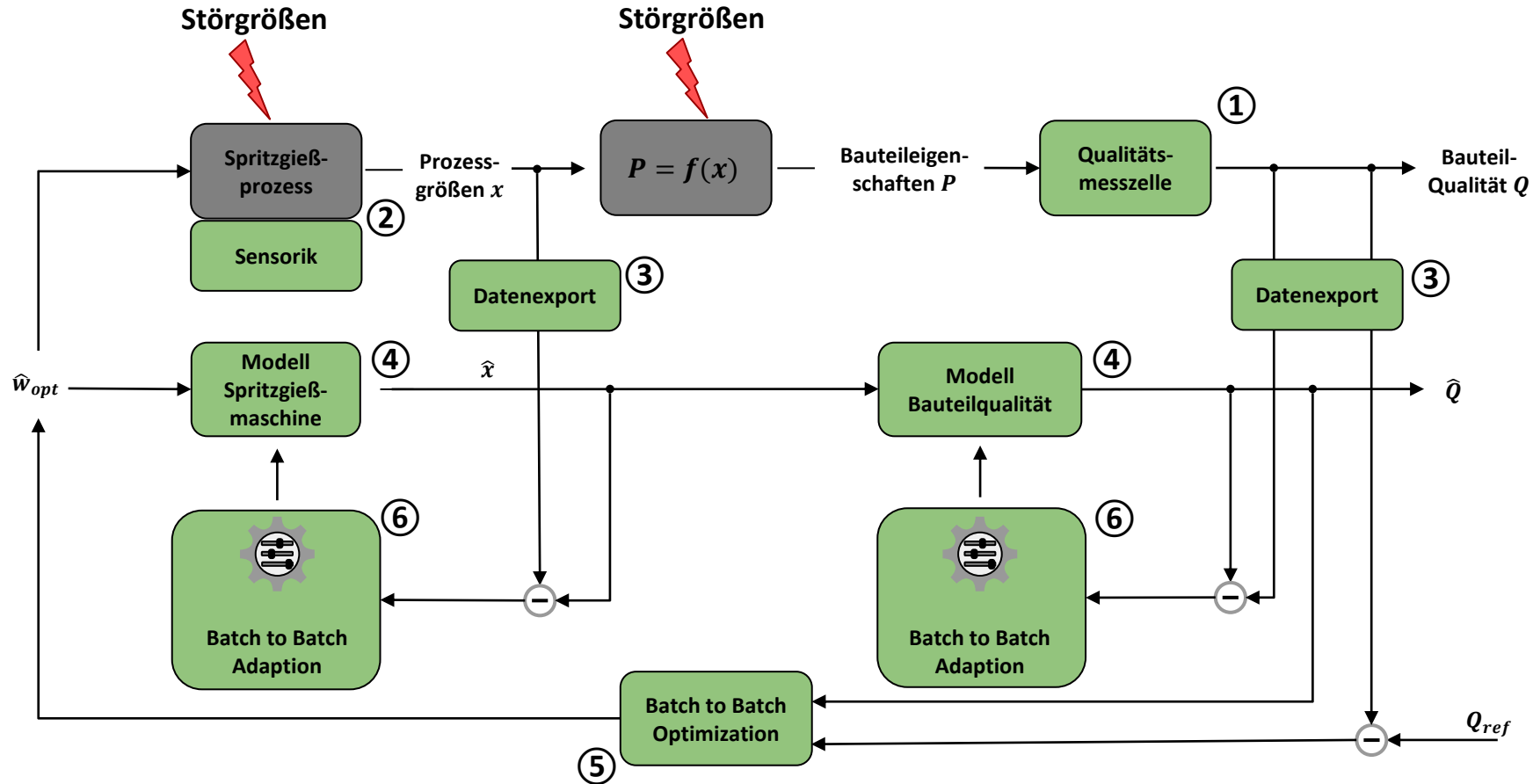
█ Entwicklung- und Implementierung      █ Transfer      █ Meilenstein

- AP0: Projektlenkungskreis
- AP1: Aufbau der Qualitätsmesszelle
- AP2: Datenaufzeichnung
- AP3: Modellbildung Digitaler Zwilling
- AP4: Prozessoptimierung
- AP5: Verbreitung der Projektergebnisse

- MS1: Demonstratoranlage aufgebaut
- MS2: Softwareentwicklung abgeschlossen



- Begrüßung
- Projektüberblick DIM
- **Technisch-methodische Entwicklung**
  - Rückblick: Lösungskonzept
  - Durchgeführte Entwicklungsmaßnahmen
  - Geplante Entwicklungsmaßnahmen
- Vorstellung Transferkonzept
- Abschlussdiskussion



### Entwicklungsschritte:

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

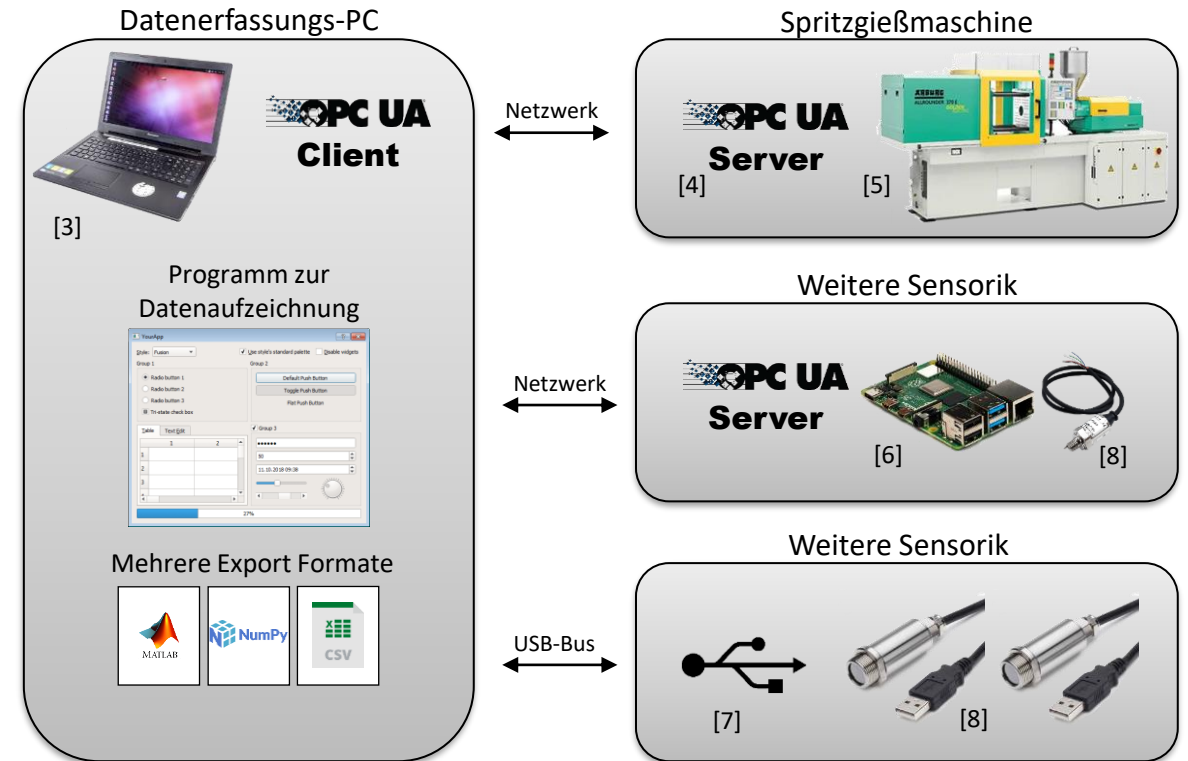


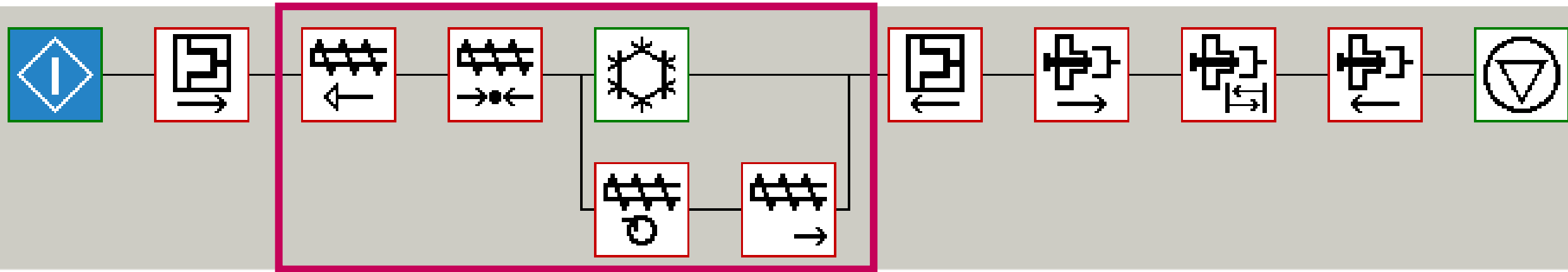
**Ziele:**

- Datenerfassung der Maschinengrößen
- Einbinden weiterer Sensorik
- Einfaches Programm zur Datenaufzeichnung
- Export der Daten in mehrere gängige Formate

**Geplante Umsetzung:**

- Maschinendaten per OPC UA Server abfragen
- Weitere Sensorik
  - Direkt an Datenerfassungs-PC mittels USB anschließen
  - Messgeräte an Kleincomputer mit eigenem OPC UA Server
- Programmumsetzung in Python
- Export für Matlab, Python Numpy und als CSV Datei



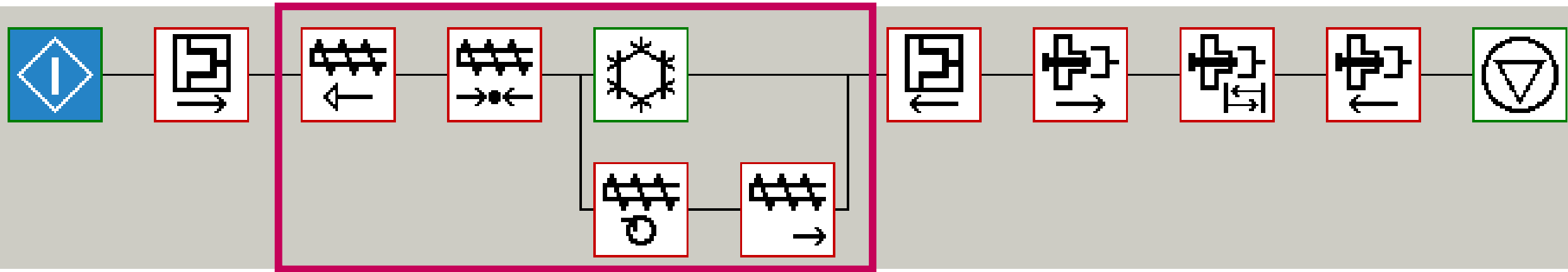


## Einzelwerte:

- Temperatur der Zylinderheizzonen; °C
- Umschaltpunkt; cm<sup>3</sup>
- Einspritzzeit; s
- Restmasse; cm<sup>3</sup>
- Dosiervolumen; cm<sup>3</sup>
- Dosierzeit; s
- Staudruck; bar
- ~~Zykluszeit; s~~

## Zeitlicher Verlauf:

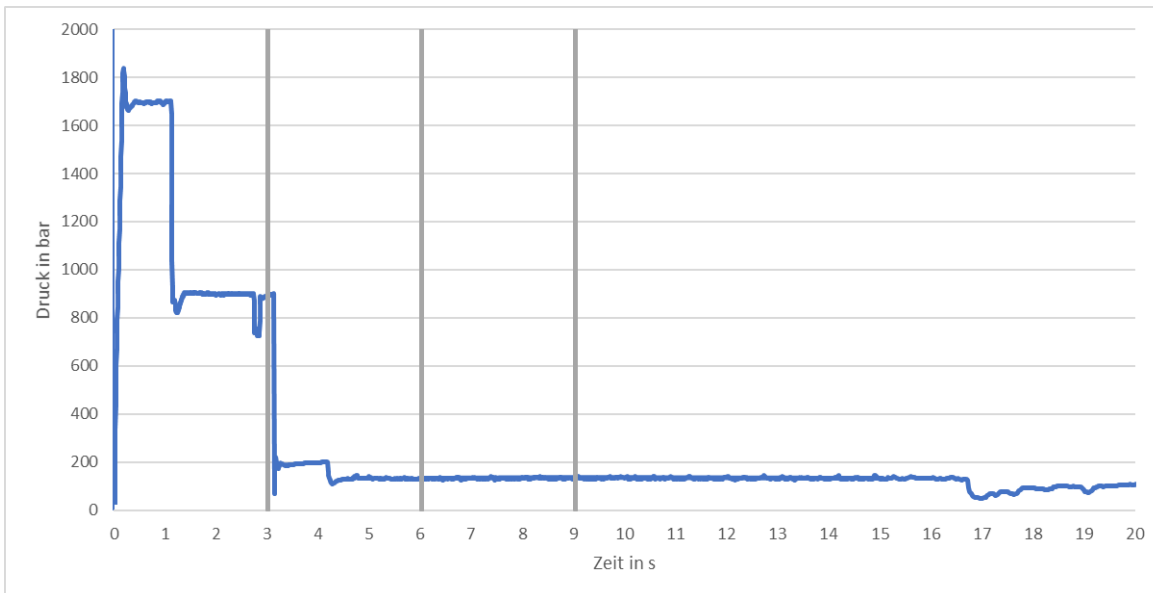
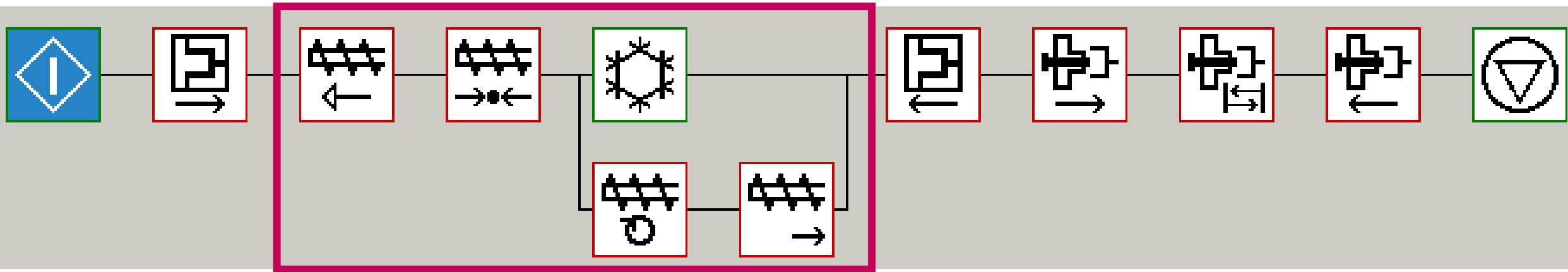
- Einspritzdruck; bar
- Einspritzstrom; cm<sup>3</sup>/s
- Schneckenvolumen; cm<sup>3</sup>
- Nachdruck; bar
- Werkzeuginnendruck; bar
- Temperatur im Werkzeug; °C



## Einzelwerte:

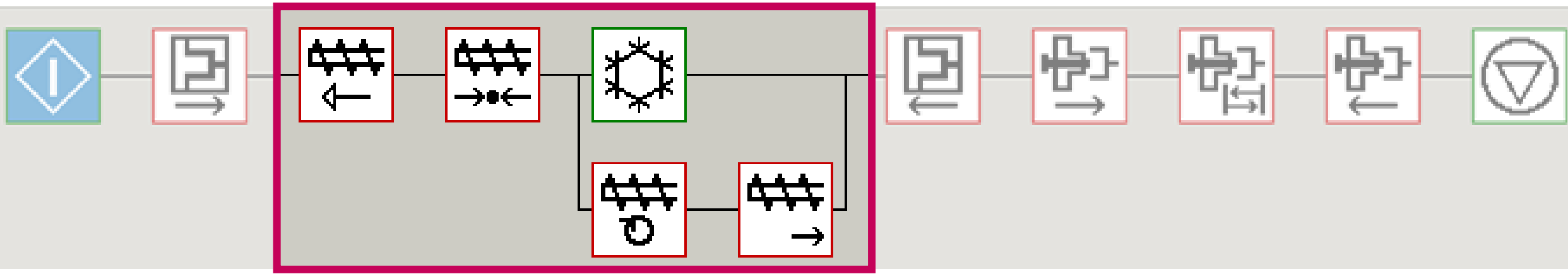
- Jedem Parameter ist eine eindeutige Node ID zugeordnet
- Node IDs können durch UaExpert ermittelt werden
- Über OPC UA können die der ID zugeordneten Werte abgefragt werden

- f4061 (ns=2;i=202650; Überwachung Massepolster)
  - f4061-Value (ns=2;i=202652; value of the parameter)
  - f4061-State (ns=2;i=202651; state of the parameter)
- V4061 (ns=2;i=202660; Massepolster, Referenzwert)
  - V4061-Value (ns=2;i=202662; value of the parameter)
  - V4061-State (ns=2;i=202661; state of the parameter)
- V4062 (ns=2;i=202670; Massepolster, Istwert)
  - V4062-Value (ns=2;i=202672; value of the parameter)
  - V4062-State (ns=2;i=202671; state of the parameter)
- V4063 (ns=2;i=202680; Massepolster, Toleranz)
  - V4063-Value (ns=2;i=202682; value of the parameter)
  - V4063-State (ns=2;i=202681; state of the parameter)
- f4014 (ns=2;i=202700; Überwachung Dosierzeit)
  - f4014-Value (ns=2;i=202702; value of the parameter)
  - f4014-State (ns=2;i=202701; state of the parameter)
- t4014 (ns=2;i=202710; Dosierzeit, Referenzwert)
  - t4014-Value (ns=2;i=202712; value of the parameter)
  - t4014-State (ns=2;i=202711; state of the parameter)
- t4015 (ns=2;i=202730; Dosierzeit, Istwert)
  - t4015-Value (ns=2;i=202732; value of the parameter)
  - t4015-State (ns=2;i=202731; state of the parameter)
- t4016 (ns=2;i=202720; Dosierzeit, Toleranz)
  - t4016-Value (ns=2;i=202722; value of the parameter)
  - t4016-State (ns=2;i=202721; state of the parameter)



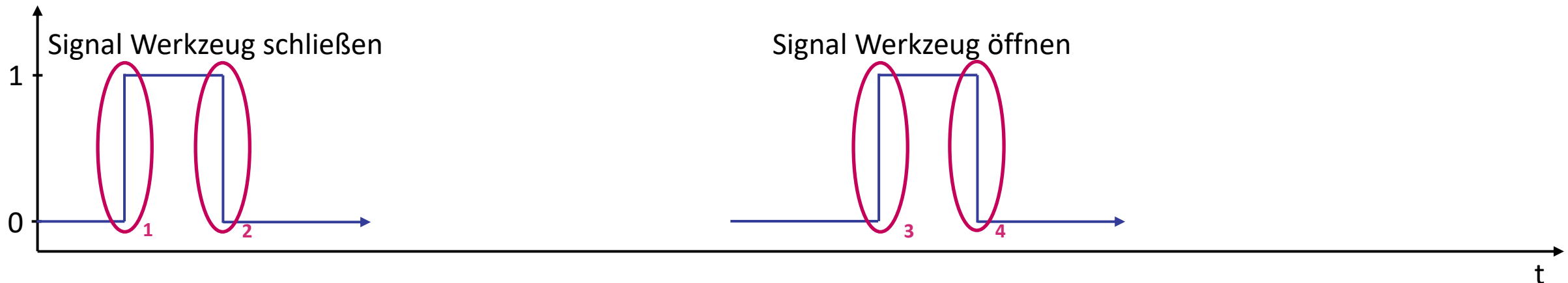
## Zeitlicher Verlauf:

- Relevante Parameter können als zeitlicher Verlauf graphisch in der Maschinensteuerung dargestellt werden
- Arburg: 4 Messgrafiken, 8 Monitoring Charts, 4 erweiterte Monitoring Charts
- 512 Messpunkte über die Aufzeichnungsdauer jeder Grafik
- Aufteilen auf mehrere Grafiken für höhere Auflösung
- Grafiken haben eigene Node IDs, über die der gesamte zeitliche Verlauf abgefragt werden kann



## Triggersignal für die Aufzeichnung:

- Bewegung des Werkzeugs umschließt den relevanten Bereich
- Durch zwei unterschiedliche Signale ergeben sich vier mögliche Zeitpunkte
- Abfragen der Daten ist zeitintensiv (ca. 3 Sekunden), deshalb 3 und 4 besser geeignet



## Hierarchical Data Format (HDF5):

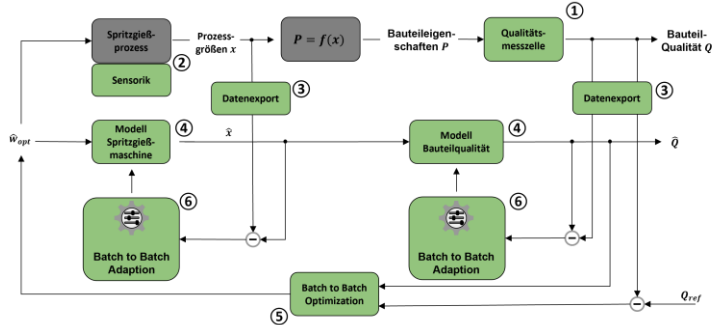
- Speichern der Prozessdaten in .h5-Datei
- Format zur Speicherung großer Datenmengen
- Ordnerstruktur ermöglicht die strukturierte Ablage sämtlicher Zyklen in einer Datei

T801I-T805I: Temperatur Zylinderheizzonen 1-5  
 V301I: Dosiervolumen  
 V4062: Restmassepolster  
 V4065: Umschaltvolumen  
 f071: Zyklenzähler  
 f3113I-f3413I: Messgrafiken 1-4  
 p401I: Staudruck  
 p4055: max. Spritzdruck  
 p4072: Umschaltspritzdruck  
 t4012: Zykluszeit  
 t4015: Dosierzeit  
 t4018: Einspritzzeit

- › cycle\_4427
- ↳ cycle\_4428
  - › T801I\_Value
  - › T802I\_Value
  - › T803I\_Value
  - › T804I\_Value
  - › T805I\_Value
  - › V301I\_Value
  - › V4062\_Value
  - › V4065\_Value
  - › f071\_Value
  - ↳ f3113I\_Value
    - › axis0
    - › axis1
    - › block0\_items
    - › block0\_values
  - › f3213I\_Value
  - › f3313I\_Value
  - › f3413I\_Value
  - › p401I\_Value
  - › p4055\_Value
  - › p4072\_Value
  - › t4012\_Value
  - › t4015\_Value
  - › t4018\_Value
- › cycle\_4429

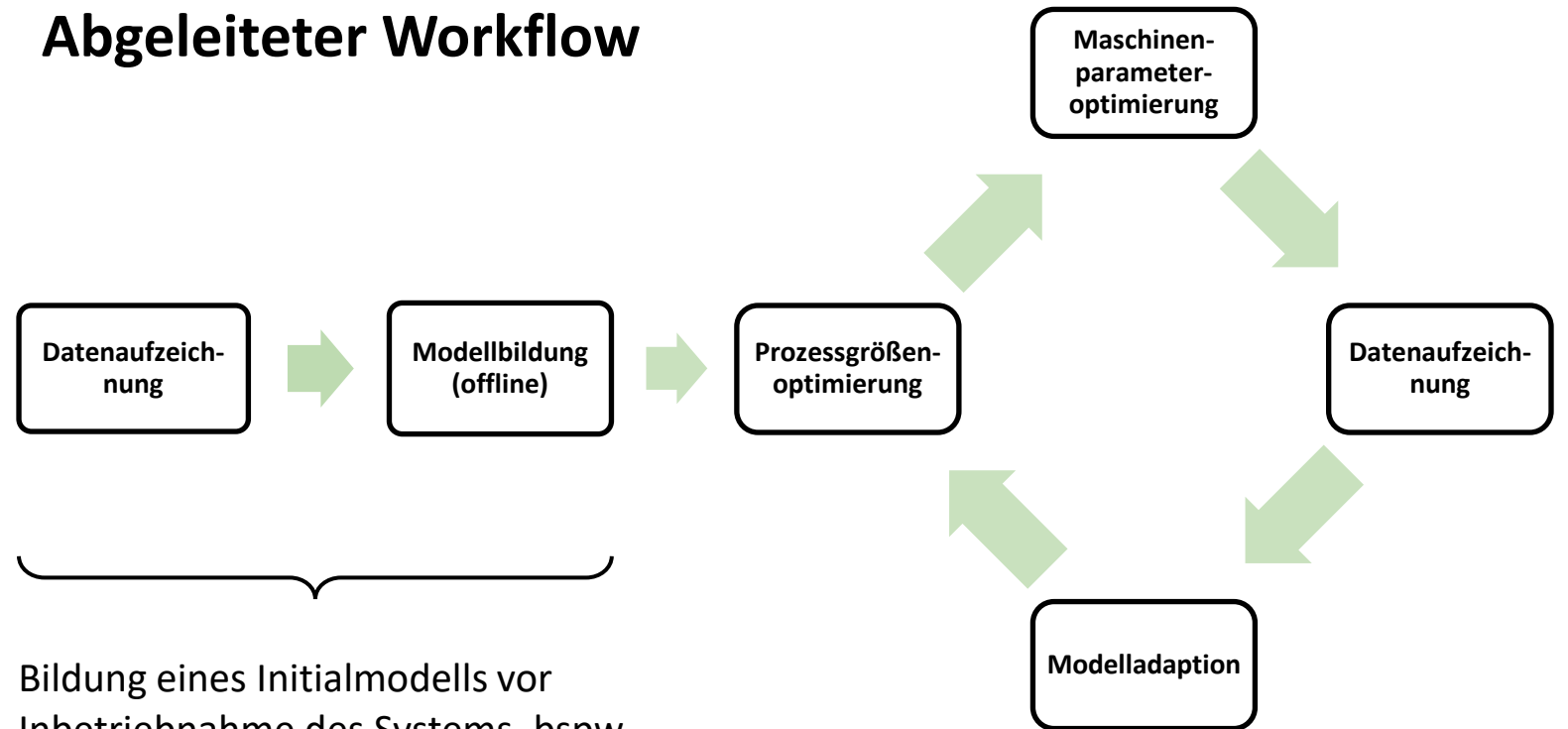
|   |                       |
|---|-----------------------|
| 0 | time                  |
| 1 | measurement_chart_1_0 |
| 2 | measurement_chart_1_1 |
| 3 | measurement_chart_1_2 |
| 4 | states                |

|    | 0          | 1          | 2          | 3          | 4   |
|----|------------|------------|------------|------------|-----|
| 0  | 0.0        | 0.0        | 45.8227... | 161.844... | 1.0 |
| 1  | 0.00999... | 0.0        | 45.8128... | 91.6455... | 1.0 |
| 2  | 0.01999... | 0.79032... | 45.8109... | 76.4103... | 1.0 |
| 3  | 0.02999... | 0.88911... | 45.7002... | 354.745... | 1.0 |
| 4  | 0.03999... | 6.81651... | 45.3288... | 669.528... | 1.0 |
| 5  | 0.04999... | 35.3668... | 44.2579... | 1065.76... | 1.0 |
| 6  | 0.05999... | 87.5279... | 42.7484... | 1211.19... | 1.0 |
| 7  | 0.06999... | 134.058... | 41.2013... | 1470.19... | 1.0 |
| 8  | 0.07999... | 149.666... | 39.8894... | 1710.32... | 1.0 |
| 9  | 0.08999... | 136.527... | 38.9114... | 1875.10... | 1.0 |
| 10 | 0.09999... | 106.693... | 38.2949... | 1910.25... | 1.0 |
| 11 | 0.10999... | 71.5239... | 37.9491... | 1850.49... | 1.0 |
| 12 | 0.11999... | 44.0603... | 37.7041... | 1766.46... | 1.0 |
| 13 | 0.12999... | 29.0442... | 37.4730... | 1703.06... | 1.0 |
| 14 | 0.13999... | 23.6108... | 37.2201... | 1663.80... | 1.0 |
| 15 | 0.14999... | 24.5987... | 36.9435... | 1639.65... | 1.0 |
| 16 | 0.15999... | 27.3648... | 36.6392... | 1626.76... | 1.0 |
| 17 | 0.16999... | 30.2297... | 36.2954... | 1626.18... | 1.0 |
| 18 | 0.17999... | 32.4031... | 35.9516... | 1633.68... | 1.0 |
| 19 | 0.18999... | 33.9837... | 35.5960... | 1643.99... | 1.0 |
| 20 | 0.19999... | 35.1692... | 35.2344... | 1654.77... | 1.0 |
| 21 | 0.20999... | 36.0583... | 34.8629... | 1666.02... | 1.0 |
| 22 | 0.21999... | 36.1571... | 34.4974... | 1674.23... | 1.0 |
| 23 | 0.22999... | 36.2559... | 34.1299... | 1680.09... | 1.0 |
| 24 | 0.23999... | 36.7498... | 33.7684... | 1684.77... | 1.0 |
| 25 | 0.24999... | 36.5523... | 33.4009... | 1691.92... | 1.0 |
| 26 | 0.25999... | 36.3547... | 33.0373... | 1697.67... | 1.0 |
| 27 | 0.26999... | 36.5523... | 32.6955... | 1703.88... | 1.0 |
| 28 | 0.27999... | 35.9595... | 32.3339... | 1706.10... | 1.0 |
| 29 | 0.28999... | 35.1692... | 32.0059... | 1712.55... | 1.0 |
| 30 | 0.29999... | 33.8849... | 31.6720... | 1712.78... | 1.0 |



- Aus dem Lösungskonzept abgeleiteter Workflow
- Zu entwickelnde Toolbox soll diesen Workflow intuitiv und unkompliziert abbilden
- Struktur der zu entwickelnden Software soll aus dem Workflow abgeleitet werden

## Abgeleiteter Workflow

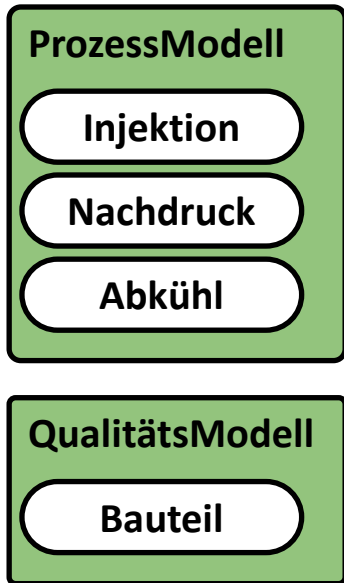


Bildung eines Initialmodells vor Inbetriebnahme des Systems, bspw. basierend auf Daten des Einrichtvorganges oder eines systematischen Versuchsplanes

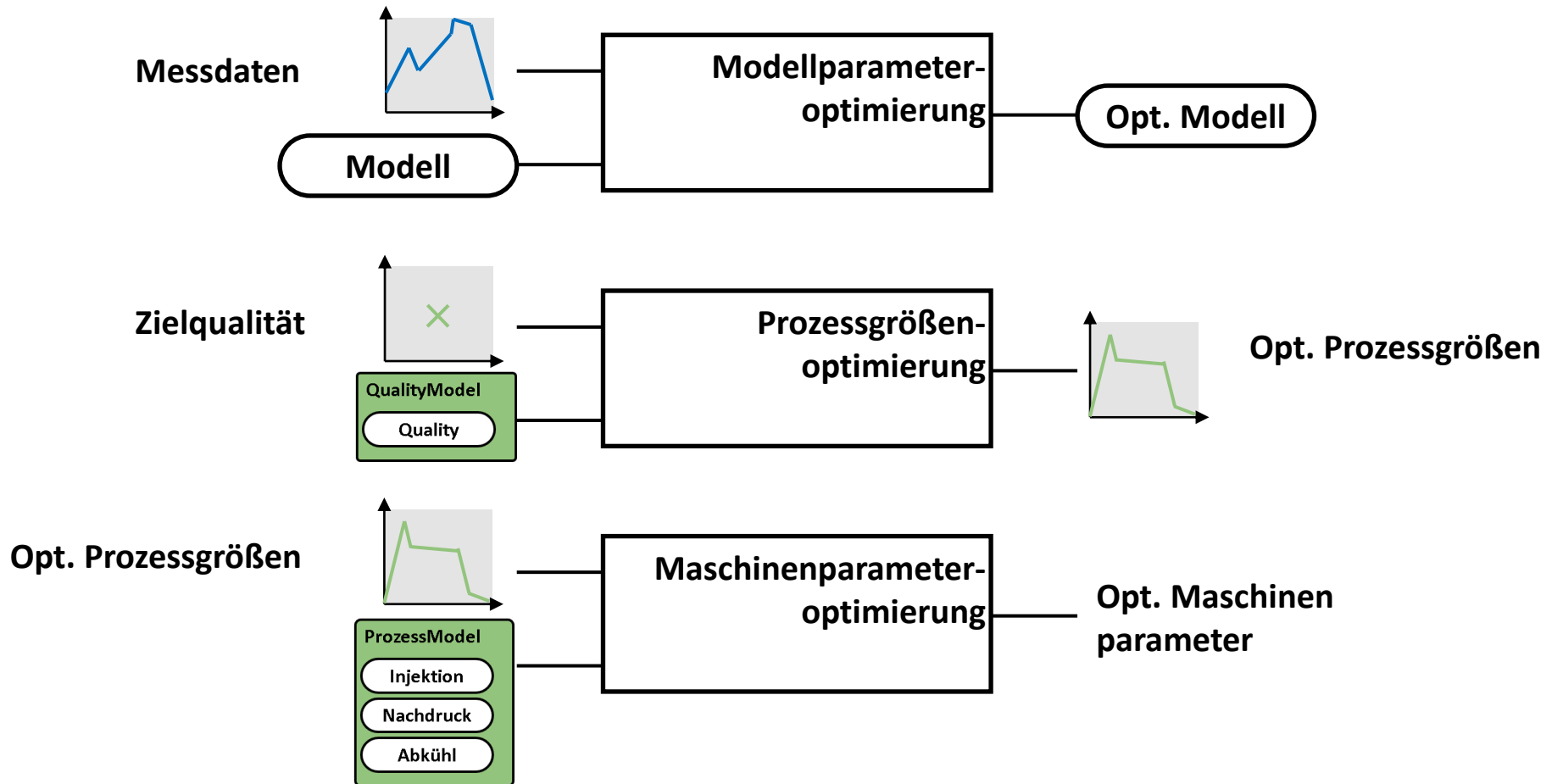
Zyklusweise modellbasierte Optimierung des Prozesses und ggf. Adaption des Prozessmodells

## Abgeleitete Softwarestruktur

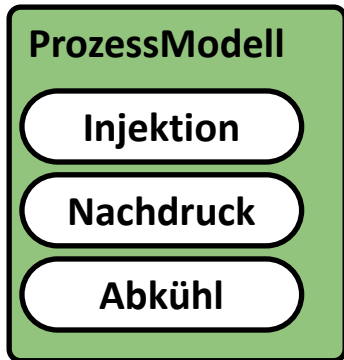
### Objekte



### Funktionen

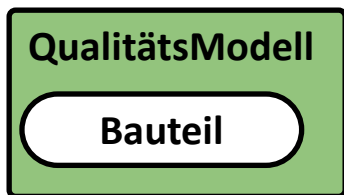






**Prozessmodell:** Container für alle Modelle des Spritzgießprozesses. Dieses umfasst

- Sollwert-Trajektorien (bspw. Soll-Hydraulikdruck) als Funktion der einstellbaren Maschinenparameter (Stufenhöhen und Haltezeiten)
- dynamische Modelle der einzelnen Phasen des Spritzgießprozesses



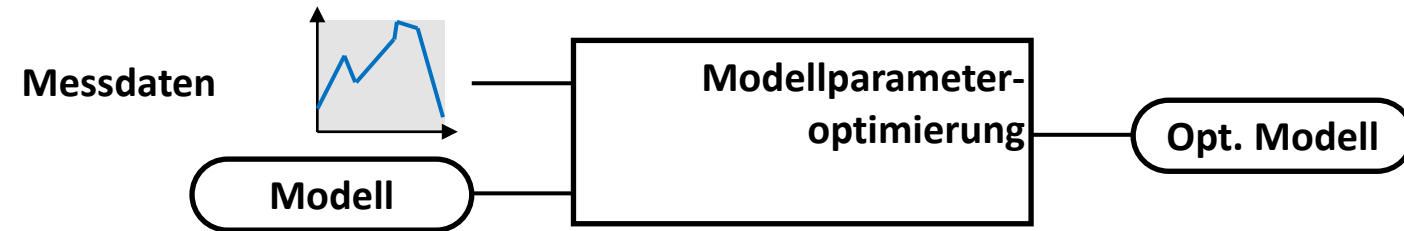
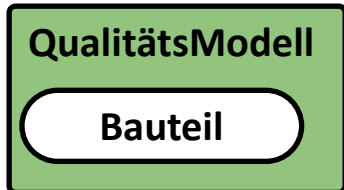
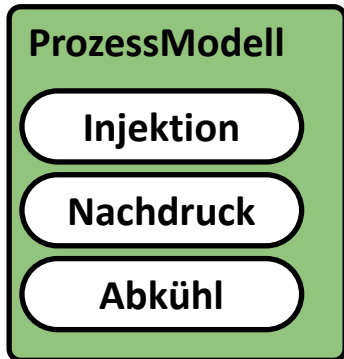
**Qualitätsmodell:** Container für alle Modelle welche den Verlauf der Prozessgrößen auf die resultierende Bauteilqualität abbilden. Dieses umfasst

- entweder ein dynamisches Modell
- oder u.U. mehrere in Reihe geschaltete dynamische Modelle, um verschiedene Phasen (Formfüllung, Nachdruck, Abkühlung, etc.) zu berücksichtigen falls erforderlich

## Implementierte Modellstrukturen

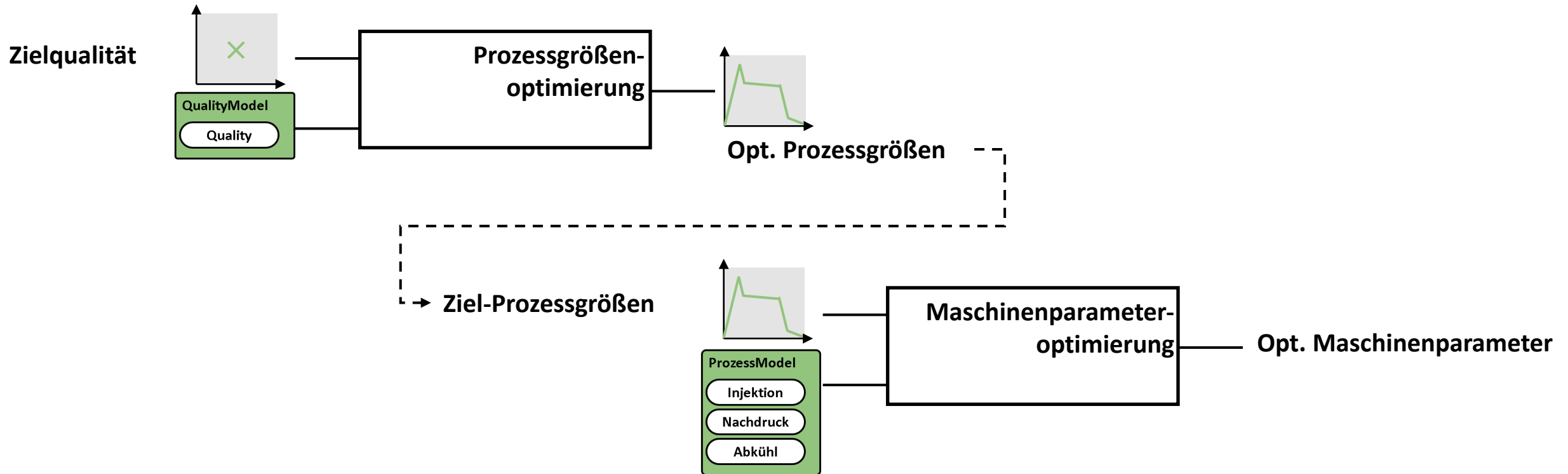
- Multilayer-Perceptron (MLP) mit Time-Delay (vorgesehen für Prozessmodell)
- Long short-term memory (LSTM) Netz (vorgesehen für Qualitätsmodell)
- Gated Recurrent Unit (GRU) Netz (vorgesehen für Qualitätsmodell)

Framework erlaubt Nachimplementierung beliebiger Modelle mit rel. wenig Aufwand: Modellparameter und Modellgleichungen können "einfach" aufgeschrieben werden.



## Modellparameteroptimierung:

- Methoden zur Schätzung der optimalen Parameter der dynamischen Modelle (gegeben Messdaten)
- Die gleichen Methoden können für die Modelladaption im laufenden Betrieb genutzt werden

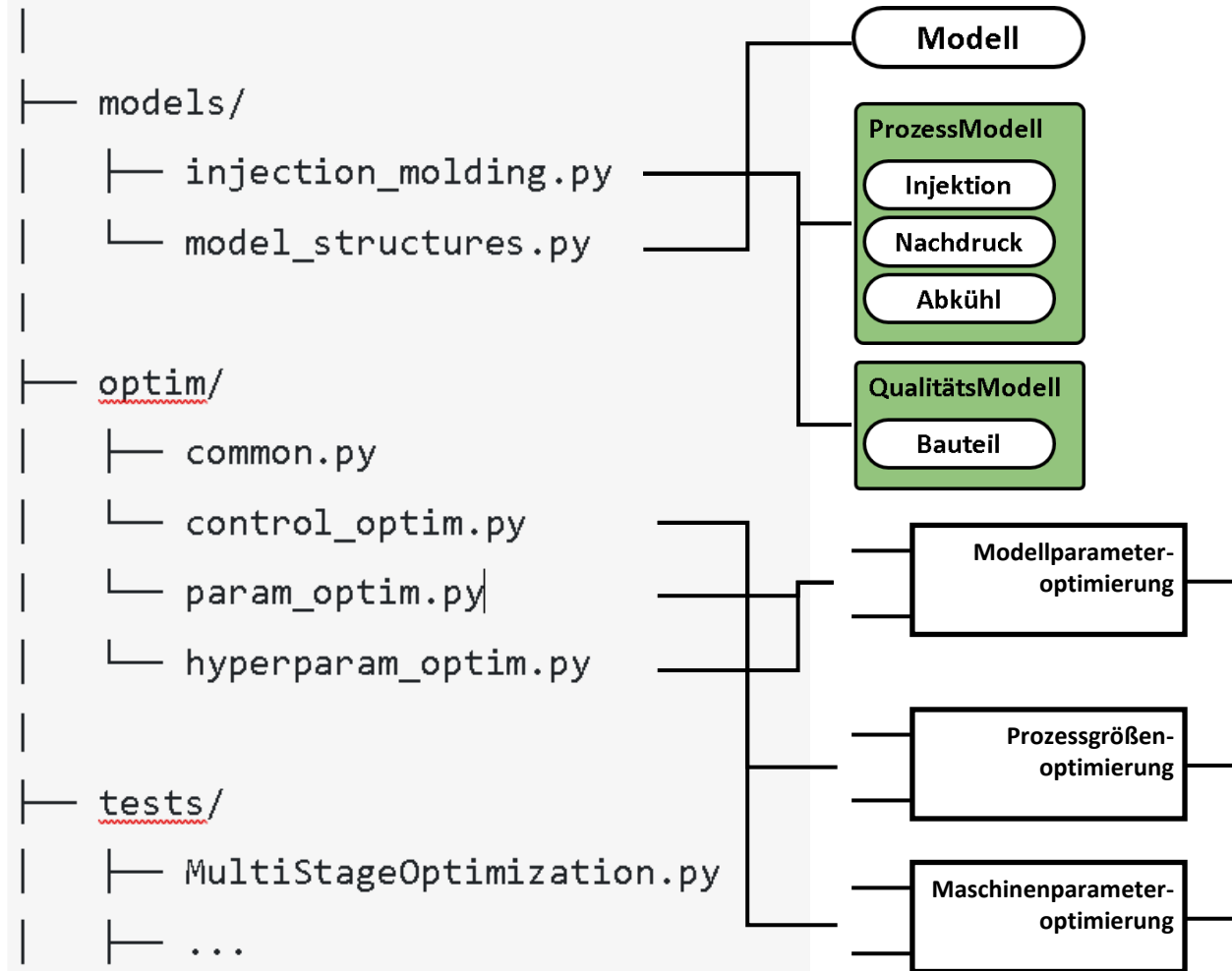


**Prozessgrößenoptimierung:** Berechnet gegeben ein Qualitätsmodell und eine vom Nutzer geforderte Bauteilqualität die erforderlichen optimalen Prozessgrößenverläufe, um diese Qualität zu erreichen.

**Maschinenparameteroptimierung:** Berechnet gegeben ein Prozessmodell und die berechneten optimalen Prozessgrößenverläufe die einzustellenden Maschinenparameter, um diese Prozessgrößenverläufe bestmöglich zu realisieren (und damit die geforderte Bauteilqualität)

## Softwarestruktur

DigitalTwinInjectionMoulding/



## Fortschritt



|      | 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     |      |    |    |      |   |   |   |   |   | 1 |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| AP 3 | 3     | 2     | 8     |      |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| AP 4 | 2     | 2     | 9     |      |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   | 2 |   |   |    |    |    |
| 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

## AP1:

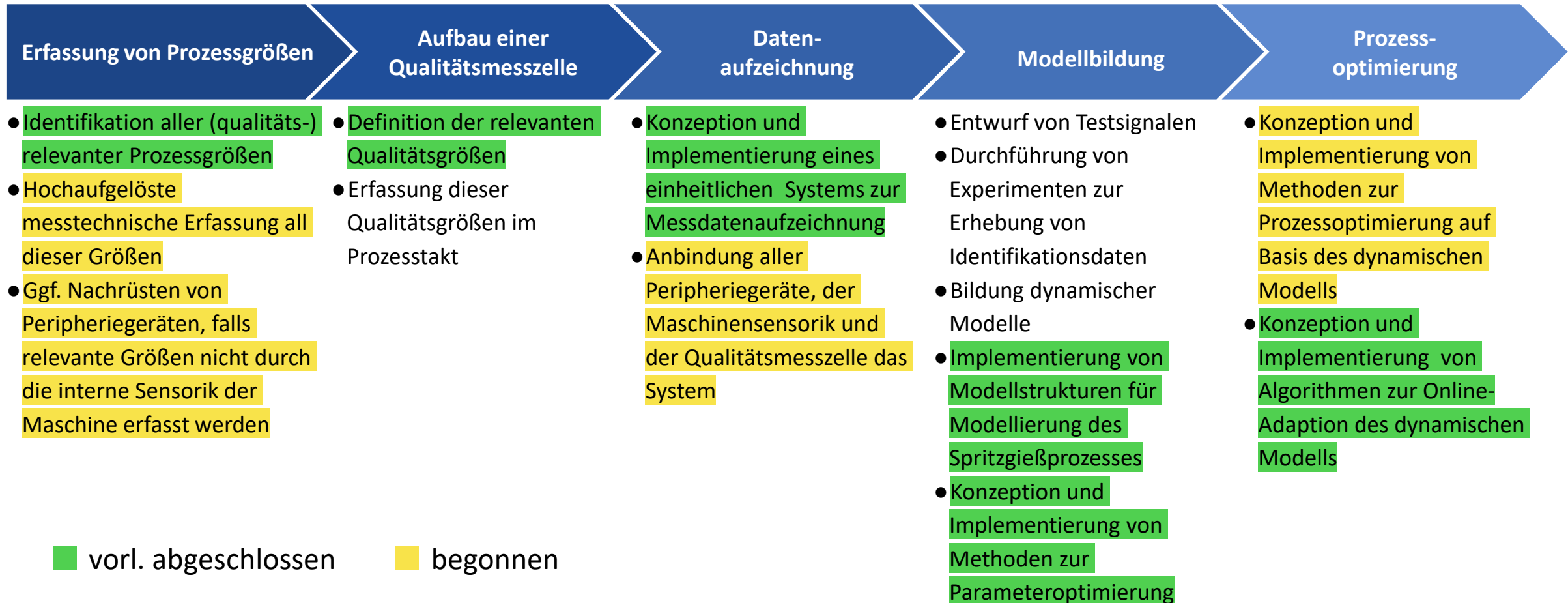
- Ausstattung des Spritzgießwerkzeuges mit Sensorik
- Nachrüsten von Sensorik zur Störgrößenüberwachung  
(Hallentemperatur + rel. Luftfeuchtigkeit, Kühlwassertemperatur + -durchfluss)

## AP2:

- Anpassung der Messgrafiken an die tatsächliche Zykluszeit zur Optimierung der Auflösung

## AP3 & 4 :

- Fertigstellung und Dokumentation der vorgestellten Methoden, d.h. weitgehende vorläufige Fertigstellung der Toolbox
- Validierung der entwickelten Methoden an experimentell erhobenen Daten (bedingt eventuelle Implementierung weiterer Methoden / Anpassung vorhandener Methoden)



- Begrüßung
- Vorstellung des Projekts DIM
- Technisch-methodische Entwicklung
- **Vorstellung Transferkonzept**
  - Überblick Wissens- und Technologietransfer
  - Workshops
  - Leitfäden
- **Abschlussdiskussion**





## Workshops & Seminare

- Zielgruppe:** F&E-Ingenieure (grundlegende Programmier- und Mathematikkenntnisse erforderlich)
- Format:** 50 % Seminare zur Vermittlung grundlegenden Methodenwissens  
50 % Hands-on Workshops mit Rechnerübungen zum Einsatz der entwickelten Software  
online, Aufzeichnungen werden über Projektwebseite zur Verfügung gestellt
- Dauer:** ca. 4 Stunden pro Veranstaltung
- Durchführung:** online, Übertragung und Aufzeichnung der Veranstaltung per Zoom  
Teilnehmer nutzen eigenen Rechner zur Bearbeitung von Aufgaben & Fallstudien  
Schulungsunterlagen (Folien, Datensätze, etc.) werden über Projektwebseite zur Verfügung gestellt
- Anmeldung:** online über die Projektwebseite, begrenzt auf ca. 30 Teilnehmer
- Zertifikat:** erwünscht? pro Veranstaltung?

## Digitale Zwillinge in der Kunststoffverarbeitung

**Ziel:** Zum Auftakt der Seminar- und Workshopreihe soll zunächst ein Grundverständnis über digitale Prozessabbildungen geschaffen und deren Nutzen im Bereich der Kunststofftechnik verdeutlicht werden. Außerdem werden die nötigen Methoden zur digitalen Prozessüberwachung, die im Rahmen der Seminare und Workshops vermittelt werden, vorgestellt.

**Umfang:** 1 h Seminar

**Inhalt:** Seminar

- Definition digitaler Zwillinge
- Vorteile modellbasierter Prozessüberwachung und -steuerung
- Notwendige Methoden
- Überblick über die Inhalte der Seminare und Workshops

- Ziel:** Zur Entwicklung eines digitalen Zwillings ist eine hochaufgelöste Erfassung der Prozess- und Störgrößen erforderlich. In diesem Seminar soll anhand der im Rahmen des Projektes aufgebauten Demonstratoranlage die Auswahl der relevanten Prozessgrößen, sowie die Ermittlung der auf den Prozess wirkenden Störgrößen vorgestellt werden. Außerdem soll vermittelt werden, wie durch zusätzliche Sensorik eine Überwachung einiger Störgrößen möglich ist und wie die Prozessgrößen aus der Spritzgießmaschine ausgelesen werden können.
- Umfang:** 1 h Seminar
- Inhalt:** Seminar
- Prozessgrößenauswahl
  - Ermittlung der möglichen Störgrößen
  - Zusätzliche Sensorik zur Überwachung von Störgrößen
  - Auslesen der Daten aus der Maschinensteuerung

- Ziel:** Ein digitaler Zwilling nutzt die durch die Spritzgießmaschine erzeugten Prozessdaten, um dadurch die Bauteilqualität vorherzusagen. Um das System anzulernen und die prädizierte Qualität zu validieren müssen neben den Prozessdaten auch Qualitätsmerkmale ermittelt werden. In diesem Seminar soll anhand der im Rahmen des Projektes genutzten Demonstratoranlage der Aufbau einer beispielhaften Qualitätsmesszelle und die Qualitätsgrößenermittlung im Prozesstakt vorgestellt werden.
- Umfang:** 1 h Seminar
- Inhalt:** Seminar
- Auswahl der zu ermittelnden Qualitätsmerkmale
  - Aufbau der Qualitätsmesszelle
  - Messung der Qualitätsgrößen im Prozesstakt
  - Zuordnung der Qualitätsgrößen und Prozessgrößen

|                |  |  |
|----------------|--|--|
| <b>Ziel:</b>   | Zur Anwendung und Anpassung der entwickelten Toolbox sind grundlegende bis fortgeschrittene Programmierkenntnisse in Python erforderlich. In diesem Workshop sollen die Aspekte und Techniken der Programmiersprache vermittelt werden, welche für die darauf aufbauenden Transferveranstaltungen erforderlich sind. |  |
| <b>Umfang:</b> | 1 h Seminar  |  |
|                | 1 h Hands-on Workshop  | Hands-on Workshop  |
| <b>Inhalt:</b> | Seminar <ul style="list-style-type: none"><li>• Datentypen</li><li>• Objekte</li><li>• Funktionen</li><li>• Klassen &amp; Methoden</li><li>• Flow Control</li><li>• Nutzung von Bibliotheken</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Bearbeitung von Übungsaufgaben zu den behandelten Themen</li></ul> |

- Ziel:** Für die Abfrage und Speicherung der Prozessparameter ist im Rahmen des Projekts ein Python-Skript entwickelt worden, das über die OPC-UA Schnittstelle der Spritzgießmaschine die Daten ausliest. In diesem Workshop sollen die Funktionsweise und die Methoden des Skriptes erläutert werden. Außerdem soll den Teilnehmern vermittelt werden, wie dem Skript zusätzliche Parameter hinzugefügt und das Triggersignal, welches die Datenabfrage startet, angepasst werden kann.
- Umfang:** 1 h Seminar  
1 h Hands-on Workshop
- Inhalt:**
- | Seminar   | Hands-on Workshop  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Ermittlung von Node IDs der jeweiligen Prozessparameter</li><li>• Auswahl eines geeigneten Triggersignals</li><li>• Verbindungsherstellung über die OPC-UA Schnittstelle</li><li>• Vorstellung der Methoden des für die Datenauslesung genutzten Python-Skripts</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Erweiterung des Skriptes durch zusätzliche Prozessparameter</li><li>• Anpassung des Triggersignals</li><li>• Live Prozessdatenaufzeichnung an der Demonstratoranlage</li></ul> |

**Ziel:** In zwei aufeinanderfolgenden Veranstaltungen werden zunächst die Grundlagen der datengetriebenen Modellbildung und nichtlinearen Optimierung erläutert und durch die Bearbeitung kleiner Fallstudien veranschaulicht. Darauf aufbauend werden die in der Toolbox implementierten Methoden zur datengetriebenen Modellbildung des Spritzgießprozesses vorgestellt und auf Messdaten der Demonstratormaschine angewendet.

**Umfang:** 2 Veranstaltungen mit jeweils  
2 h Seminar  
2 h Hands-on Workshop

**Inhalt:** Seminar

- Grundlagen der datengetriebenen Modellbildung
- Grundlagen der nichtlinearen Optimierung
- Datengetriebene Modellbildung des Spritzgießprozesses
- Einführung in CasADi
- Vorstellung der entwickelten Methoden

Hands-on Workshop

- Parameteroptimierung mit CasADi
- Anwendung der entwickelten Methoden zur Modellbildung in akademischen Fallstudien.
- Anwendung der entwickelten Methoden zur Modellbildung des Spritzgießprozesses mit realen Messdaten



- Ziel:** In zwei aufeinanderfolgenden Veranstaltungen werden zunächst die Grundlagen der numerischen Optimalsteuerung erläutert und durch die Bearbeitung einer kleinen Fallstudie veranschaulicht. Darauf aufbauend werden die in der Toolbox implementierten Methoden zur Optimierung des Spritzgießprozesses vorgestellt und zur Lösung einer realitätsnahen Fallstudie angewendet.
- Umfang:** 2 Veranstaltungen mit jeweils  
2 h Seminar  
2 h Hands-on Workshop
- Inhalt:**
- | Seminar   | Hands-on Workshop  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Einführung: Numerische Lösung von Optimalsteuerungsproblemen</li><li>• Optimalsteuerung des Spritzgießprozesses</li><li>• Vorstellung der entwickelten Methoden</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Optimalsteuerung mit CasADi</li><li>• Anwendung der entwickelten Methoden zur Optimalsteuerung auf akademische Fallstudie.</li><li>• Anwendung der entwickelten Methoden zur Optimalsteuerung des Spritzgießprozesses auf realitätsnahe Fallstudie</li></ul> |

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Digitale Zwillinge in der Kunststoffverarbeitung | Oktober 2021             |
| Erfassung von Prozessgrößen                      | November 2021            |
| Aufbau einer Qualitätsmesszelle                  | Dezember 2021            |
| Grundlagen der Programmierung mit Python         | Januar 2022              |
| Datenaufzeichnung                                | Februar 2022             |
| Modellbildung                                    | März & April 2022        |
| Prozessoptimierung                               | September & Oktober 2022 |

# Leitfäden

- Inhalt:** Dokumentation der erarbeiteten Lösungskonzepte, durchgeführten Entwicklungstätigkeiten, verwendeten Werkzeuge und aufgetretenen Problemen für die Entwicklungsphasen
- Erfassung von Prozessgrößen
  - Aufbau Qualitätsmesszelle
  - Modellbildung Spritzgießprozess
  - Optimierung Spritzgießprozess
- Umfang:** 10-20 Din A4 Seiten pro Entwicklungsphase
- Format:** PDF-Dokument

# Toolbox

Toolbox derzeit verfügbar unter [GitHub](https://github.com/MRT-RT/DigitalTwinInjectionMolding): <https://github.com/MRT-RT/DigitalTwinInjectionMolding>

### Dokumentation der Toolbox:

- im Quellcode
- sowie beispielgetriebe Dokumentation mit Jupyter Notebooks (englisch), d.h. ausführbarer Code mit Erklärungen, Formeln, Abbildungen, ...

### Lizenzen:

- alle verwendeten Bibliotheken
- und die entwickelte Toolbox

werden unter der BSD2 Lizenz oder ähnlichen Lizenzen vertrieben, die eine kommerzielle Nutzung erlauben.

```
class MLP():
    """
    Implementation of a single-layered Feedforward Neural Network.
    """

    def __init__(self, dim_u, dim_out, dim_hidden, name):
        """
        Initialization procedure of the Feedforward Neural Network Architecture

        Parameters
        -----
        dim_u : int
            Dimension of the input, e.g. dim_u = 2 if input is a 2x1 vector
        dim_out : int
            Dimension of the output, e.g. dim_out = 3 if output is a 3x1 vector.
        dim_hidden : int
            Number of nonlinear neurons in the hidden layer, e.g. dim_hidden=10,
            if NN is supposed to have 10 neurons in hidden layer.
        name : str
            Name of the model, e.g. name = 'InjectionPhaseModel'.

        Returns
        -----
        None.

        """
        self.dim_u = dim_u
        self.dim_hidden = dim_hidden
        self.dim_out = dim_out
        self.name = name

        self.Initialize()
```

### Kommentierung Quellcode

### Choose a model

In this case a Multilayer Perceptron (MLP) is chosen as modelling approach, the model equations of the implemented MLP are

$$h_{k+1} = \tanh(W_h \cdot [u_k^T, y_{k-1}^T]^T + b_h)$$

$$y_{k+1} = \tanh(W_o \cdot h_{k+1} + b_o)$$

```
In [14]: model = MLP(dim_u=2, dim_out=2, dim_hidden=10, name='MLP')
```

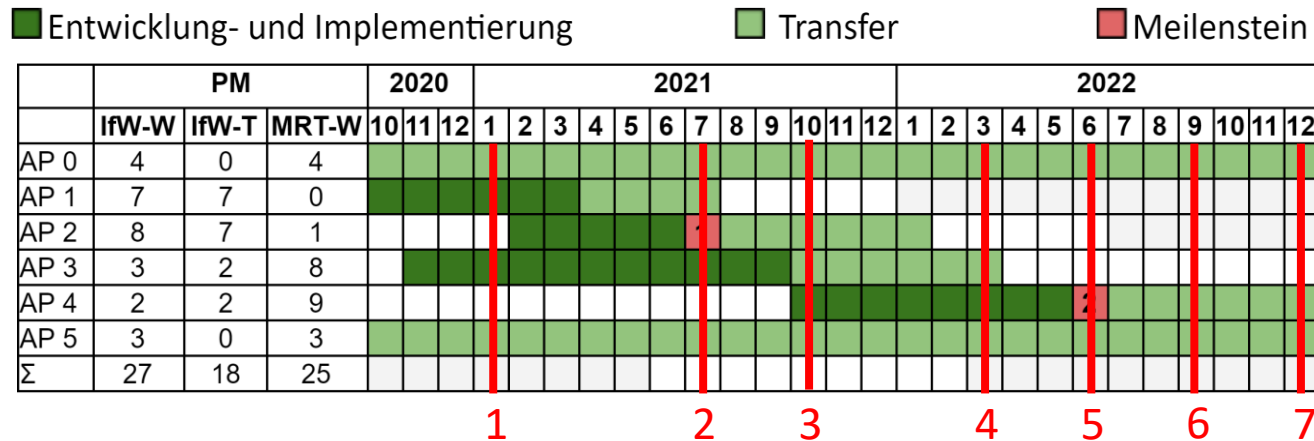
In the following, all of the implemented methods for parameter estimation will be employed, starting with ModelParameterEstimation():

### Jupyter Notebook

- Begrüßung
- Projektüberblick DIM
- Technisch-methodische Entwicklung
- Vorstellung Transferkonzept
- **Abschlussdiskussion**

## Zusammenkommen des Projektleitungskreises (Vorschlag)

- Beginn jedes Arbeitspaketes zur Ausarbeitung und Verabschiedung der Entwicklungs- und Transfermaßnahmen
- Am Ende jedes Arbeitspaketes zur Maßnahmenkontrolle



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

1. Kick-Off
2. Vorstellung der Datenauslesung & Ausarbeitung Transfermaßnahmen
3. Präsentation der Demonstratoranlage
4. Rückkopplung Entwicklungstätigkeiten Modellbildung
5. Rückkopplung Transfermaßnahmen Modellbildung
6. Präsentation der entwickelten Software (ggf. Demonstration an Demonstratoranlage)
7. Abschlusstreffen



- [1] <https://hmq-laserscanning.ch/referenzen/644/spritzgiessmaschine.html>
- [2] Schmitt et al. „Digitaler Zwilling in der Kunststofftechnik“. In: Industrie 4.0 Management 37 (2021) 2, p. 17-20
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Notebook>
- [4] <https://opcfoundation.org/>
- [5] [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/bilder/presse\\_300dpi/arburg\\_091335\\_allrounder\\_370h.jpg](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/bilder/presse_300dpi/arburg_091335_allrounder_370h.jpg)
- [6] [https://de.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://de.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [7] [https://de.wikipedia.org/wiki/Universal\\_Serial\\_Bus](https://de.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus)
- [8] <https://www.omega.de/pptst/OS-MINIUSB.html>