

Seminar- & Workshop-Reihe

Digital Twin of Injection Molding (DIM)



[1]

Forschungskonsortium

- Institut für Werkstofftechnik / FG Kunststofftechnik, Prof. Dr.-Ing. H.-P. Heim
- FG Mess- und Regelungstechnik, Prof. Dr.-Ing. A. Kroll



Marco Klute



+



Alexander Rehmer



+



Stefan Rosenbach



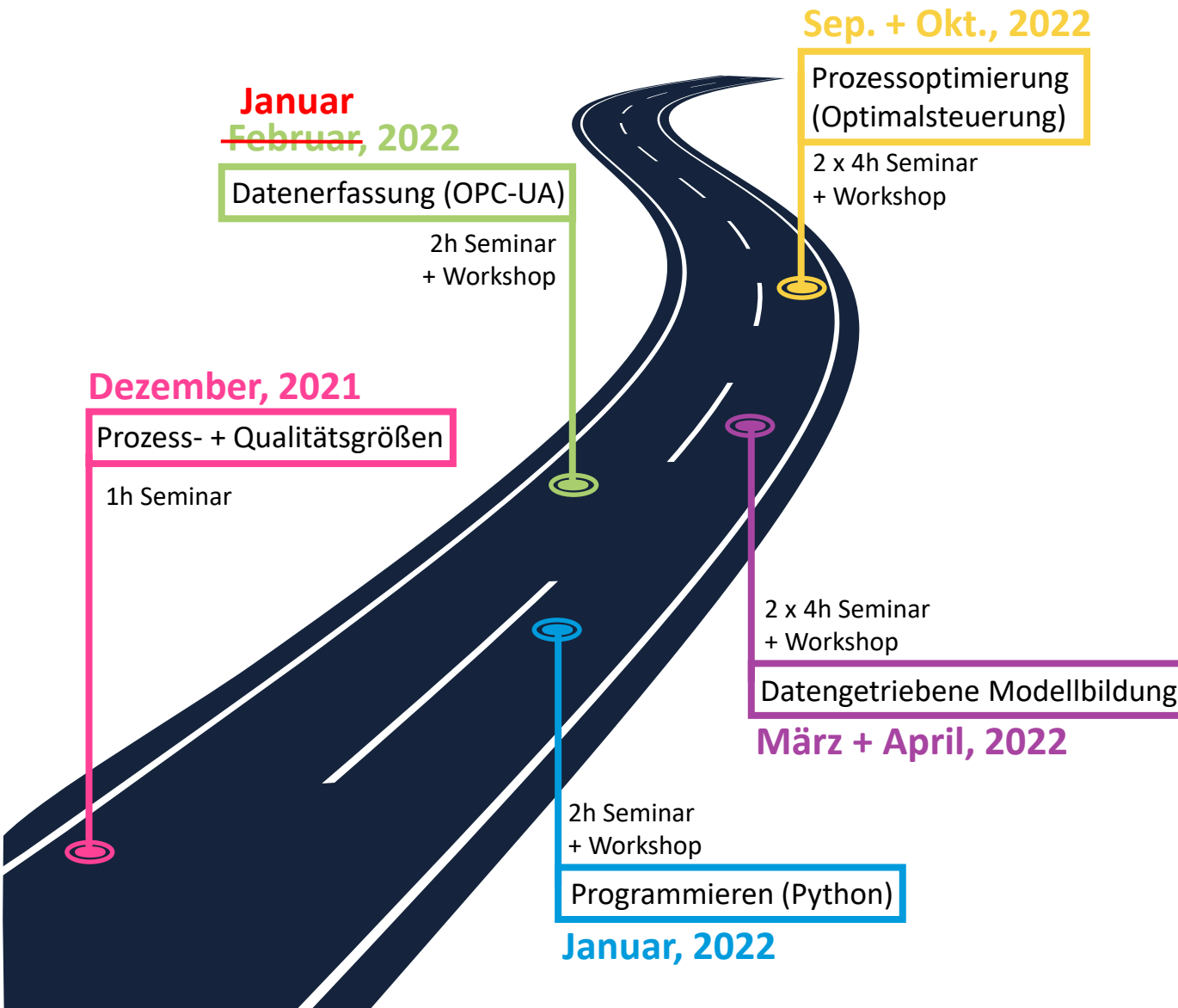
+

Studentische
Hilfskräfte



Kontakt:

- dim@uni-kassel.de
- www.uni-kassel.de/go/DIM



- **Erfassung von Prozess- und Qualitätsgrößen**
 - Prozessgrößen- und Sensorauswahl
 - Auslesen von Daten aus der Maschinensteuerung
 - Auswahl und Erfassung von Qualitätsgrößen
 - Aufbau einer Qualitätsmesszelle
- **Programmieren mit Python**
 - Grundlegende und fortgeschrittene Aspekte der objektorientierten Programmierung mit Python
- **Datenerfassung mit OPC-UA**
 - Überblick über die Funktionsweise des Python-Skripts zur Datenaufzeichnung
 - Anpassung/Erweiterung zur Erfassung gewünschter Prozessparameter
- **Datengetriebene Modellbildung**
 - Grundlagen der datengetriebenen Modellbildung und nichtlinearen Optimierung
 - Modellbildung des Spritzgießprozesses
- **Prozessoptimierung mittels numerischer Optimalsteuerung**
 - Grundlagen der numerischen Optimalsteuerung
 - Optimalsteuerung des Spritzgießprozesses

Datenerfassung und -export mit OPC-UA am Beispiel einer Arburg Spritzgießmaschine

Seminar & Workshop
25.01.2022



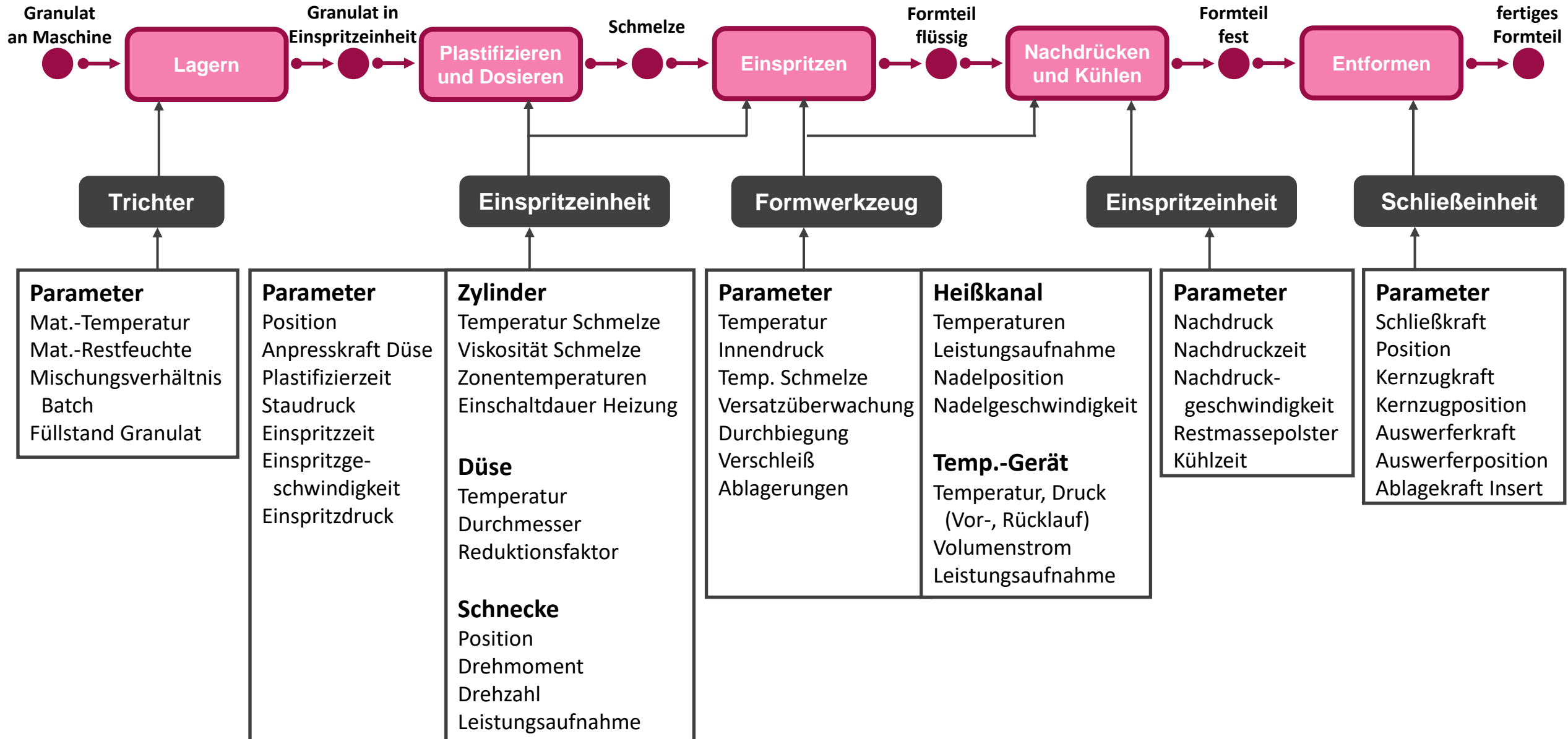
[1]

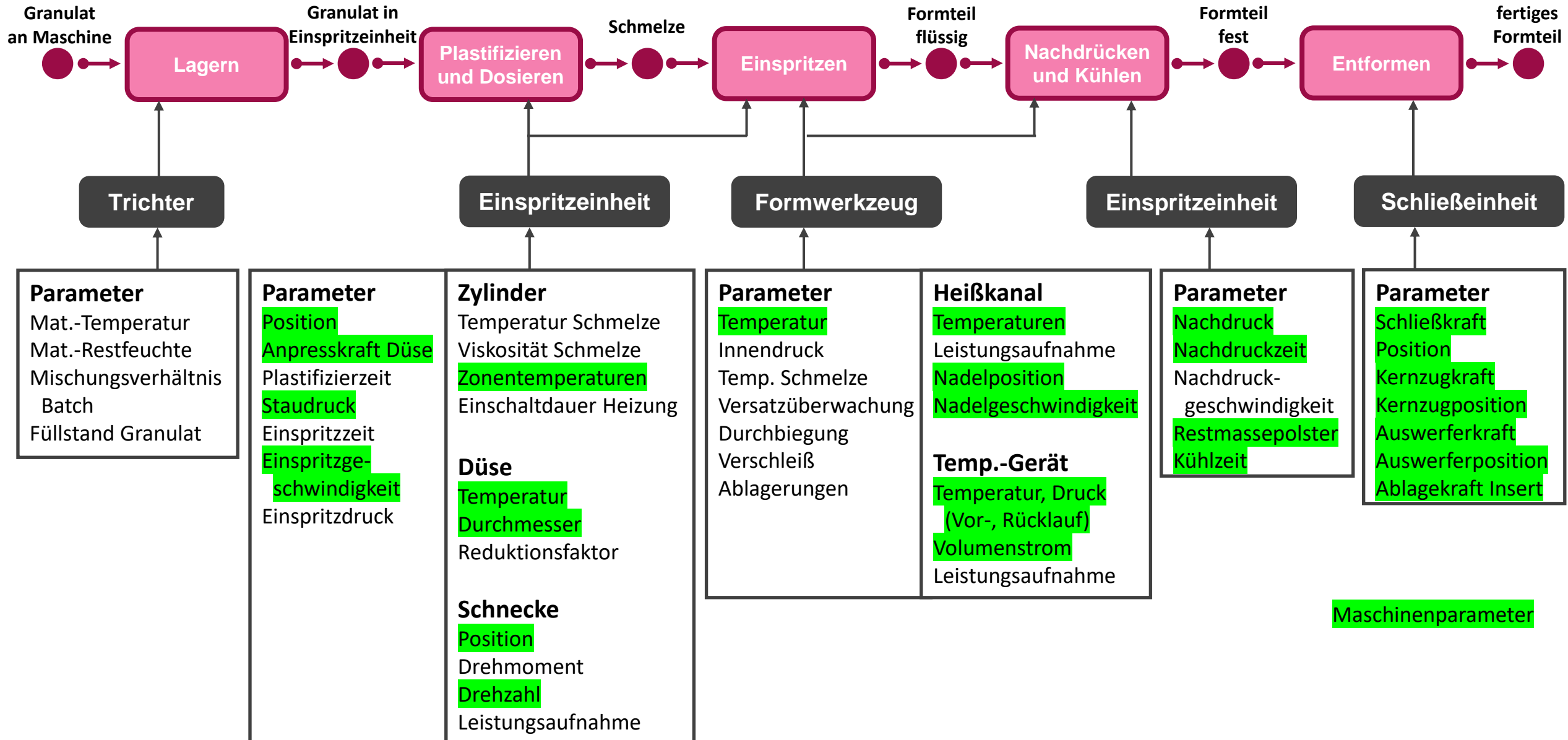
Seminar

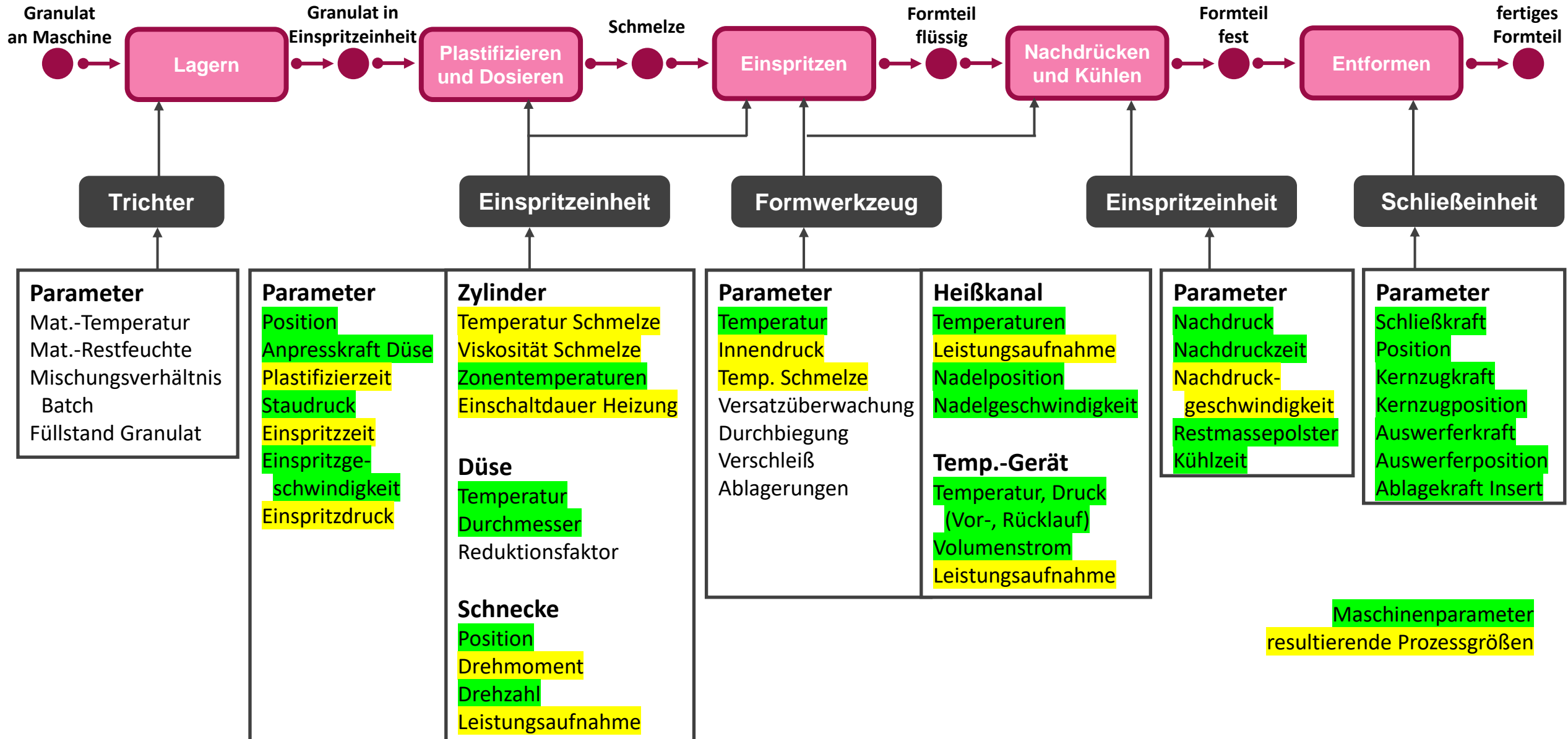
- **Rückblick: Prozessgrößenauswahl**
- **OPC-UA**
- **Einstellungen an der Spritzgießmaschine**
- **Ermittlung der Node-IDs**
- **Aufbau und Funktionen des Python-Skripts**

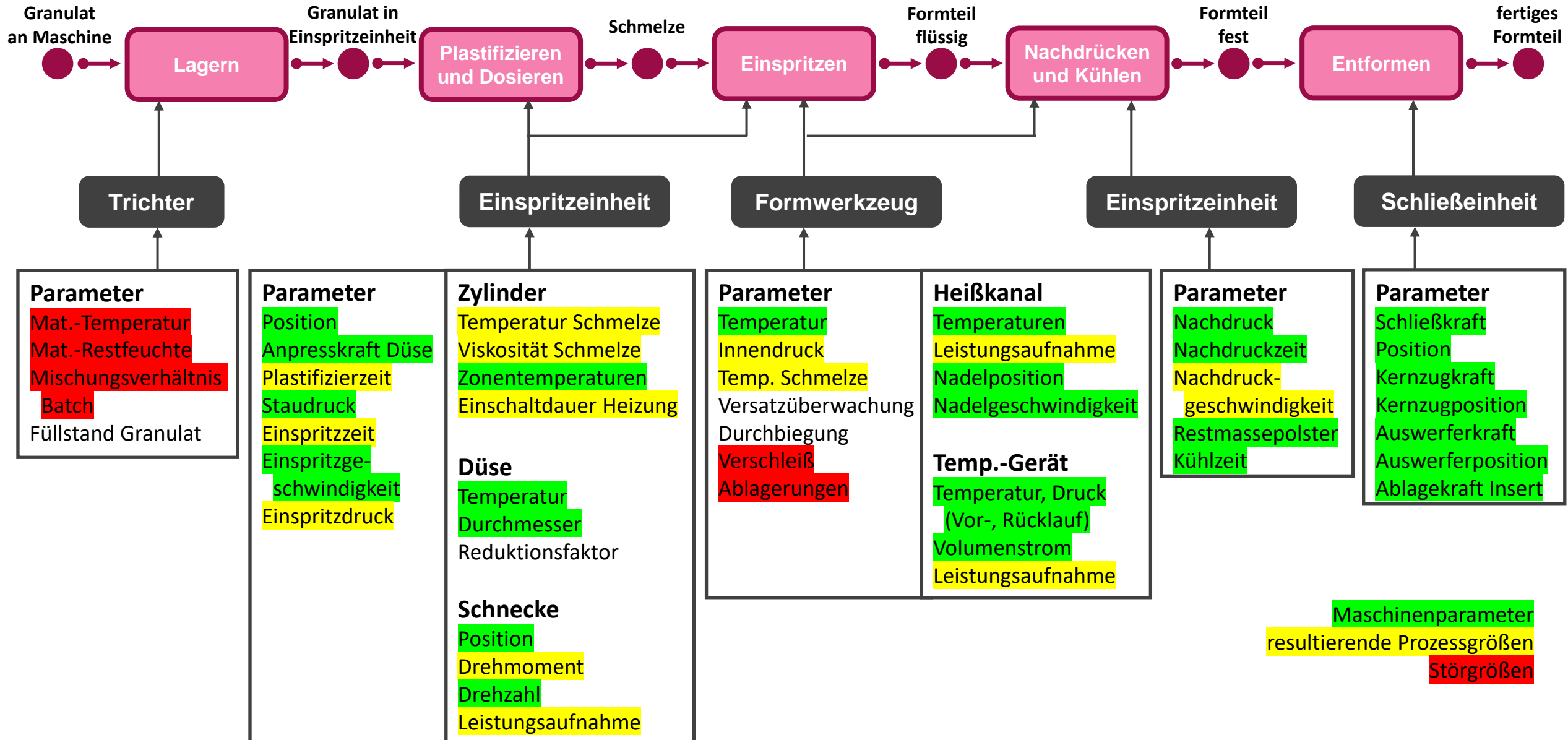
Workshop

- **Anpassung des Skripts**

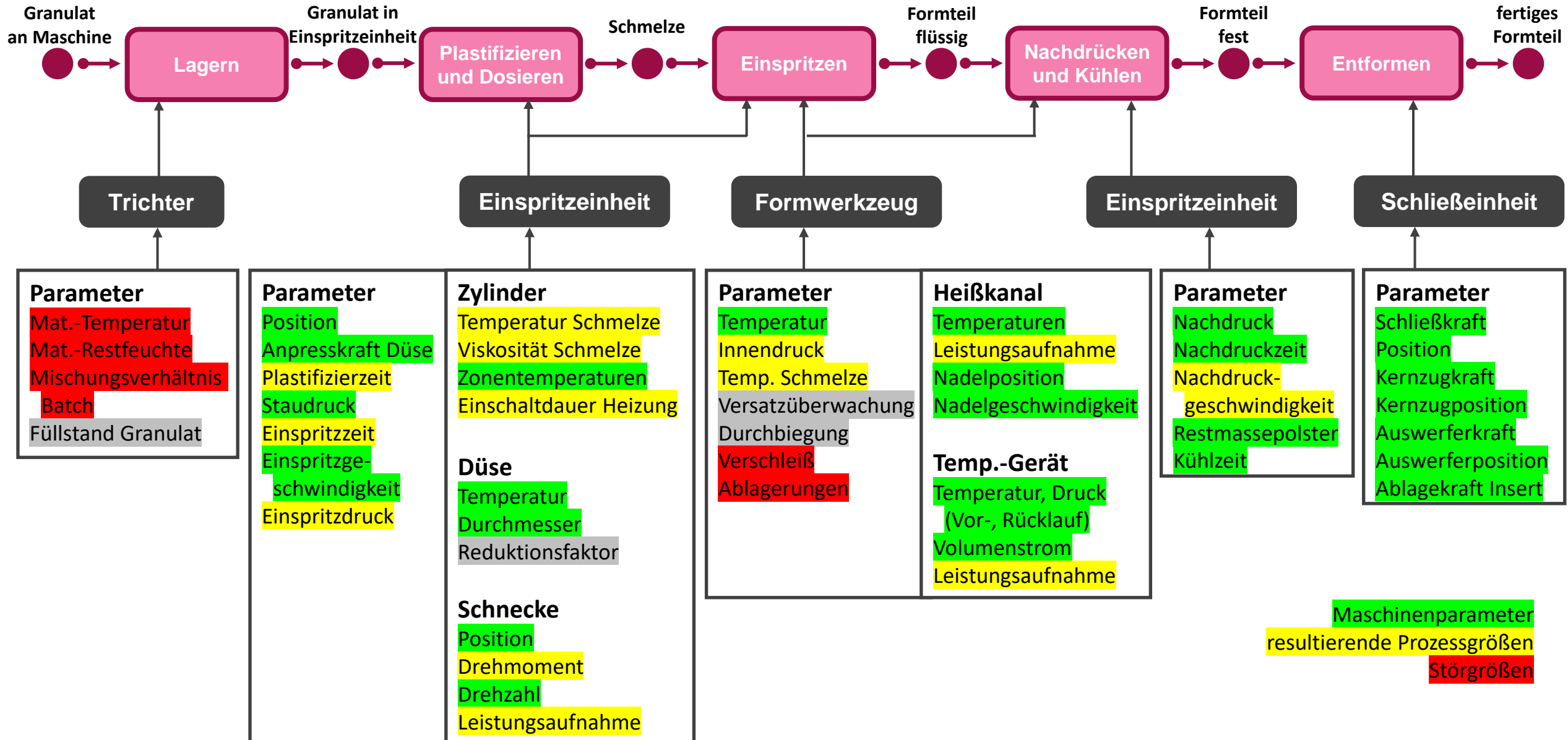


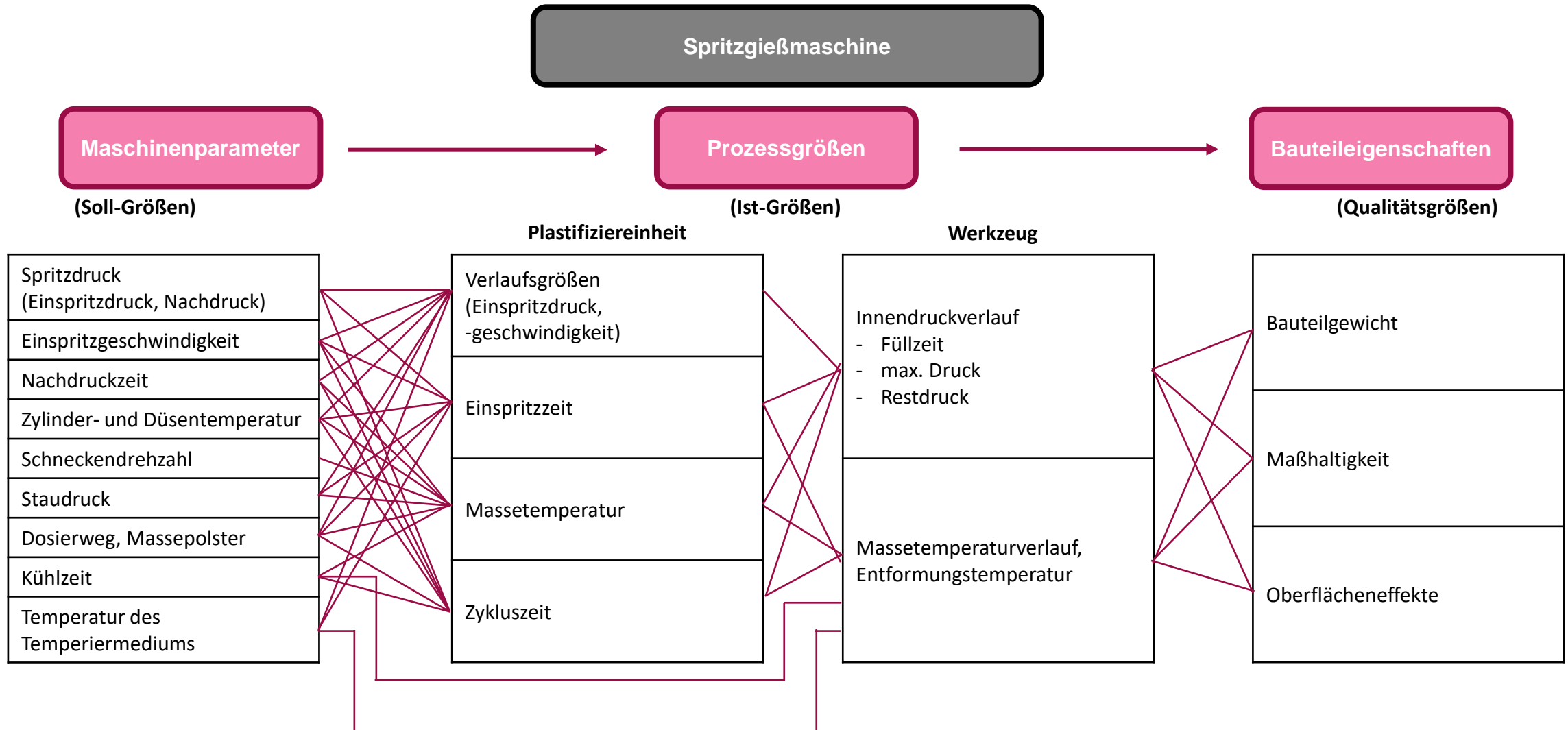






Maschinenparameter
resultierende Prozessgrößen
Störgrößen





Beispiel für die Modellbildung eines Digitalen Zwillings

Prozessmodell

Eingangsgrößen

Spritzdruck (Einspritzdruck, Nachdruck)
Einspritzgeschwindigkeit
Nachdruckzeit
Zylinder- und Düsentemperatur
Schneckendrehzahl
Staudruck
Dosierweg, Massepolster
Kühlzeit
Temperatur des Temperiermediums

Zielgrößen

Verlaufsgrößen (Einspritzdruck, -geschwindigkeit)
Einspritzzeit
Massetemperatur
Zykluszeit

Zielgrößen

Innendruckverlauf - Füllzeit - max. Druck - Restdruck
Massetemperaturverlauf, Entformungstemperatur

Bauteilgewicht

Maßhaltigkeit

Oberflächeneffekte

Seminar

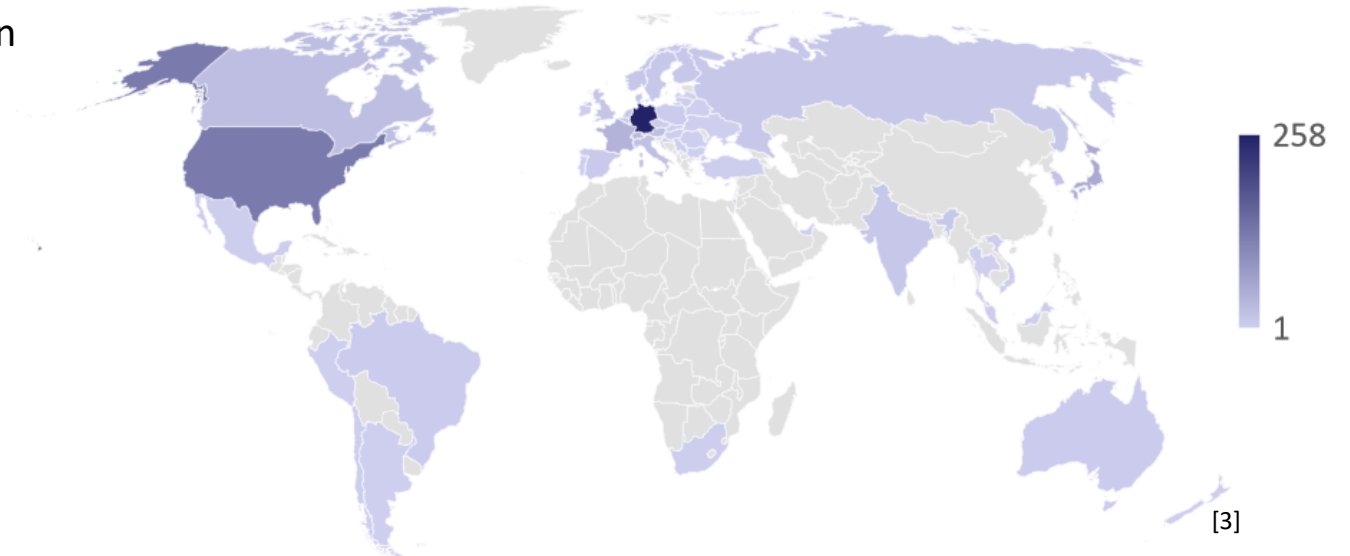
- Rückblick: Prozessgrößenauswahl
- **OPC-UA**
- Einstellungen an der Spritzgießmaschine
- Ermittlung der Node-IDs
- Aufbau und Funktionen des Python-Skripts

Workshop

- Anpassung des Skripts

Open Platform Communications

- OPC ist ein Standard für einen sicheren und zuverlässigen Datenaustausch im Bereich der industriellen Automatisierung und anderen Branchen (ursprünglich **O**bject **L**inking and **E**mbelling for **P**rocess **C**ontrol).
- Plattformunabhängig und gewährleistet nahtlosen Informationsaustausch zwischen Geräten verschiedener Hersteller.
- Die OPC Foundation ist für die Entwicklung und Pflege des Standards verantwortlich.
 - 1994 als Task-Force gegründet (Zusammenschluss aus 4 Unternehmen); 1996 Entstehung der Foundation.
 - Mittlerweile 860 beteiligte Unternehmen aus 51 Ländern (Maschinenhersteller, Automationstechniker, Endanwender, Programmierer, Forschungsinstitute ...).
 - 11 entwickelte Standards und Spezifikationsgruppen

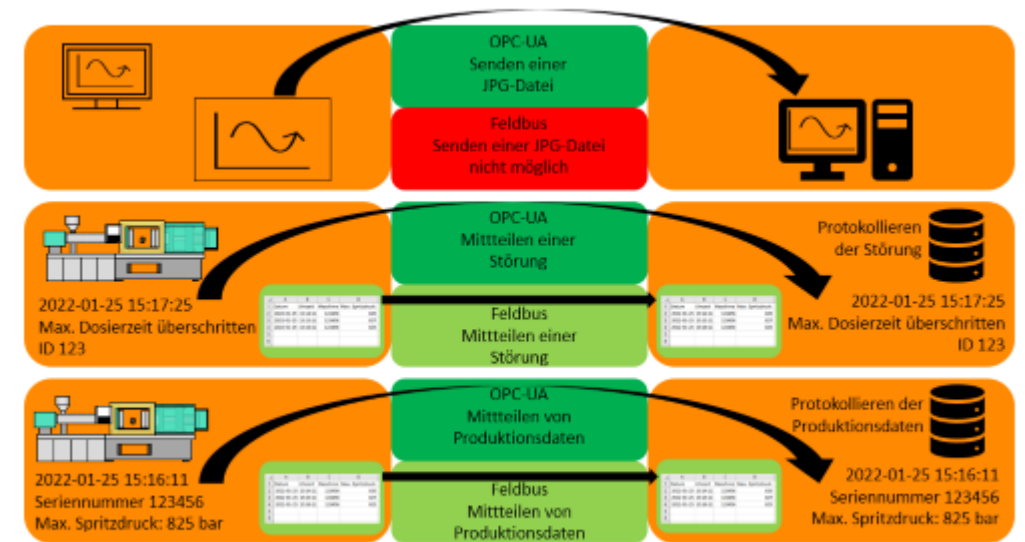


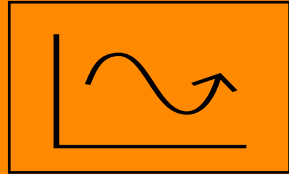
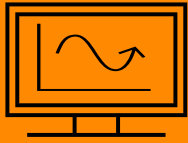
Open Platform Communications – Unified Architecture

- Standard für den Datenaustausch als hersteller – und plattformunabhängige, serviceorientierte Architektur.
- Maschinendaten (Regelgrößen, Messwerte, Parameter, ...) können transportiert und maschinenlesbar semantisch beschrieben werden.

Nutzen:

- Gesicherte Kommunikation ohne zusätzliche Hardware direkt im Protokoll
- Einfache und eindeutige Interpretation der Daten
- Einfache Vernetzung auf Ethernet-Basis, Verwendung der bestehenden Industrial Ethernet-Infrastruktur
- International standardisierte Schnittstellen zur einfachen Maschinenintegration (Companion Spezifikationen)





OPC-UA
Senden einer
JPG-Datei

Feldbus
Senden einer JPG-Datei
nicht möglich



2022-01-25 15:17:25
Max. Dosierzeit überschritten
ID 123

	A	B	C	D
1	Datum	Uhrzeit	Maschine	Max. Spritzdruck
2	2022-01-25	15:16:11	123456	820
3	2022-01-25	15:15:11	123456	827
4	2022-01-25	15:16:11	123456	825
5				
6				

OPC-UA
Mitteilen einer
Störung

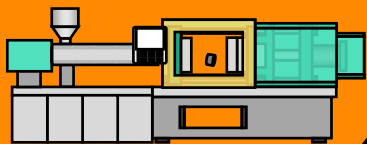
Feldbus
Mitteilen einer
Störung

Protokollieren
der Störung



2022-01-25 15:17:25
Max. Dosierzeit überschritten
ID 123

	A	B	C	D
1	Datum	Uhrzeit	Maschine	Max. Spritzdruck
2	2022-01-25	15:16:11	123456	820
3	2022-01-25	15:15:11	123456	827
4	2022-01-25	15:16:11	123456	825
5				
6				



2022-01-25 15:16:11
Seriennummer 123456
Max. Spritzdruck: 825 bar

	A	B	C	D
1	Datum	Uhrzeit	Maschine	Max. Spritzdruck
2	2022-01-25	15:16:11	123456	820
3	2022-01-25	15:15:11	123456	827
4	2022-01-25	15:16:11	123456	825
5				
6				

OPC-UA
Mitteilen von
Produktionsdaten

Feldbus
Mitteilen von
Produktionsdaten

Protokollieren der
Produktionsdaten



2022-01-25 15:16:11
Seriennummer 123456
Max. Spritzdruck: 825 bar

	A	B	C	D
1	Datum	Uhrzeit	Maschine	Max. Spritzdruck
2	2022-01-25	15:16:11	123456	820
3	2022-01-25	15:15:11	123456	827
4	2022-01-25	15:16:11	123456	825
5				
6				

Open Platform Communications – Unified Architecture

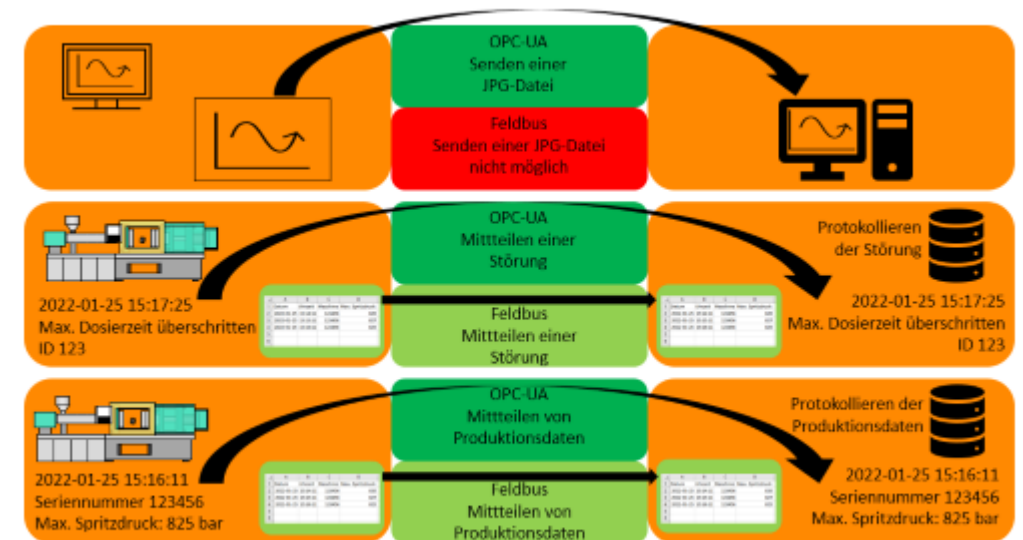
- Standard für den Datenaustausch als hersteller – und plattformunabhängige, serviceorientierte Architektur.
- Maschinendaten (Regelgrößen, Messwerte, Parameter, ...) können transportiert und maschinenlesbar semantisch beschrieben werden.

Nutzen:

- Gesicherte Kommunikation ohne zusätzliche Hardware direkt im Protokoll
- Einfache und eindeutige Interpretation der Daten
- Einfache Vernetzung auf Ethernet-Basis, Verwendung der bestehenden Industrial Ethernet-Infrastruktur
- International standardisierte Schnittstellen zur einfachen Maschinenintegration (Companion Spezifikationen)

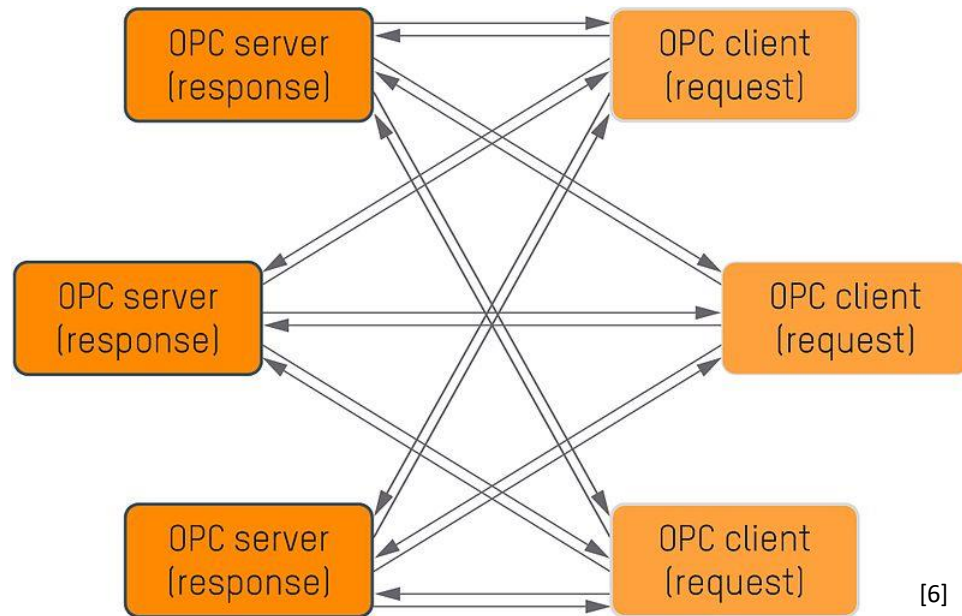
Grenzen:

- OPC-UA ist nicht ohne Weiteres echtzeitfähig (OPC-UA over TSN)



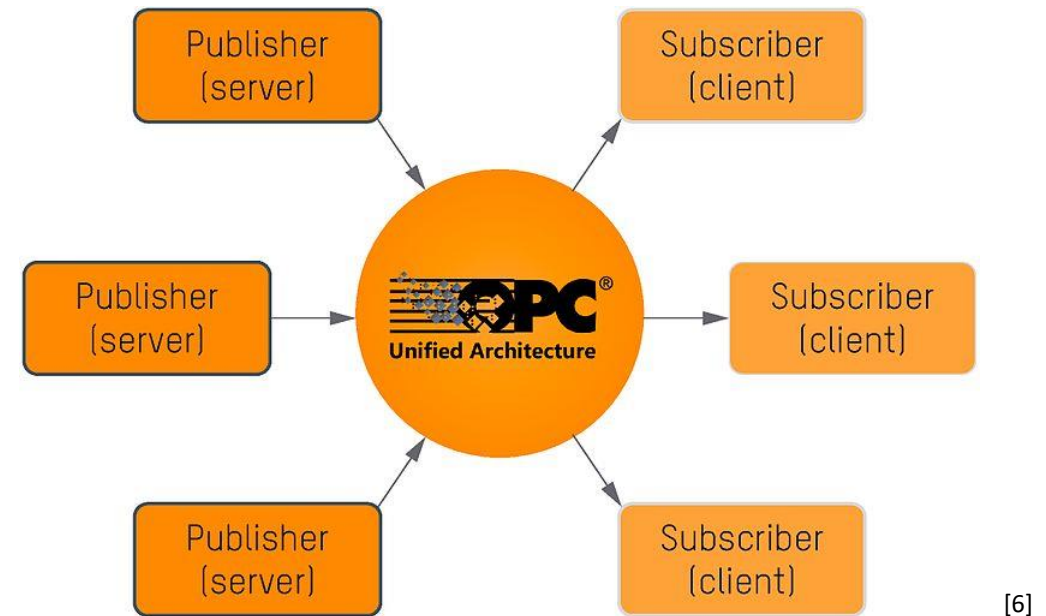
Open Platform Communications – Unified Architecture

Client/Server-Mechanismus



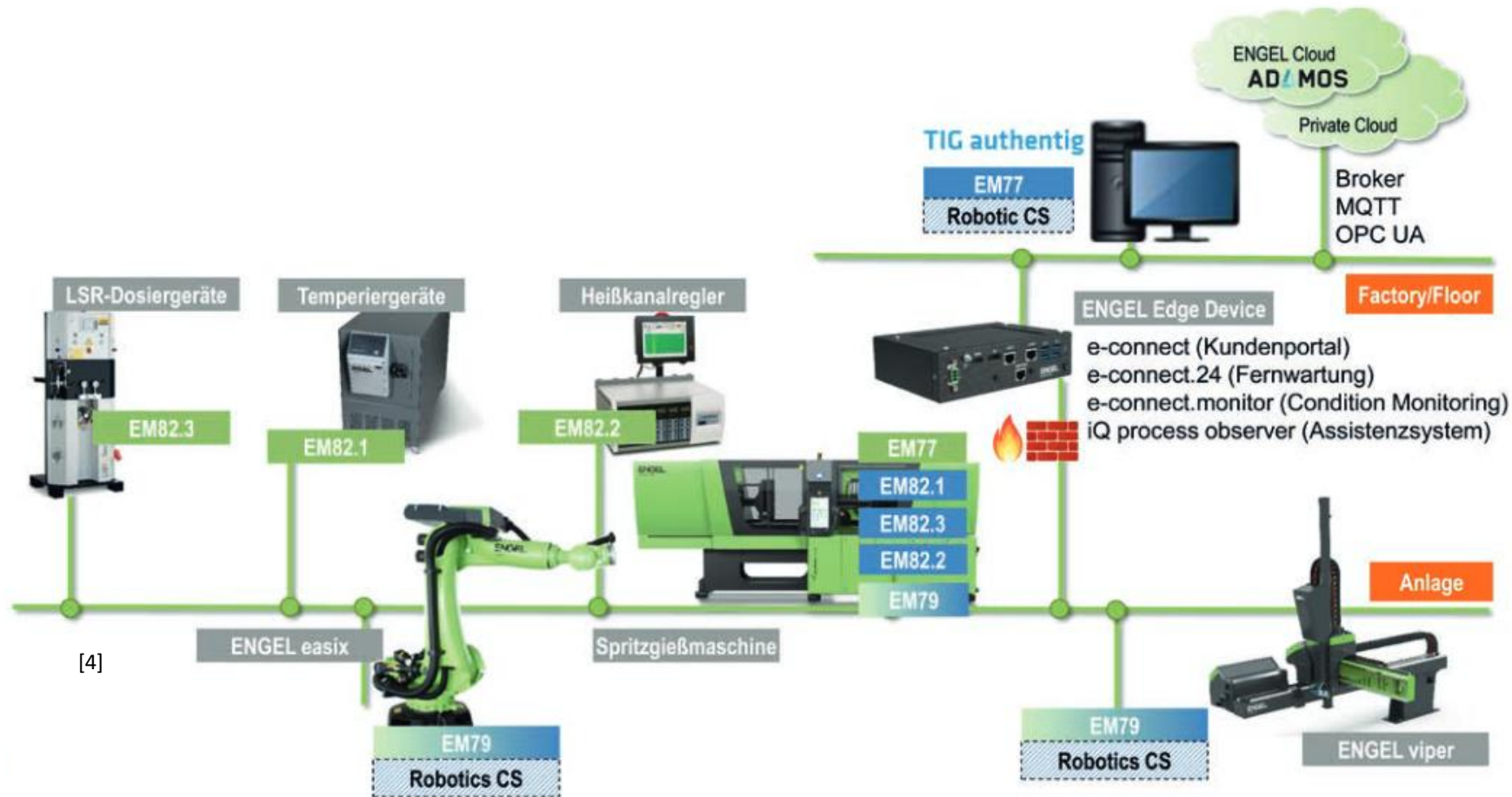
- Client fragt Information an (Request)
- Server antwortet auf Anfrage (Response)
- Langsame Übertragung bei vielen Teilnehmern

Publish/Subscribe-Modell



- Server sendet seine Daten an das Netzwerk (Publish)
- Jeder Client kann diese Daten empfangen (Subscribe)
- In Kombination mit OPC-UA over TSN werden Echtzeitanforderungen der Industrie erfüllt

Beispielhafte Prozesskette mit OPC-UA Verknüpfung





- Gegründet 1964
- Dachverband der europäischen Kunststoff- und Gummimaschinenindustrie
- Vertritt rund 1.000 Unternehmen, die Geräte, Maschinen und Anlagen für diese Branche herstellen
- Entwickelt auf OPC-UA basierende Standards für die Kunststoffverarbeitung
 - EUROMAP 83: Allgemeine Typdefinitionen
 - EUROMAP 77: Datenaustausch zwischen Spritzgießmaschinen und Manufacturing Execution Systems (MES)
 - EUROMAP 79: Schnittstelle zwischen Spritzgießmaschine und Handlingsystemen / Roboter
 - EUROMAP 82.1: Temperiergeräte
 - EUROMAP 82.2: Heißkanalsysteme
 - EUROMAP 82.3: LSR-Dosiersysteme
 - EUROMAP 84: Datenaustausch zwischen Extrusionslinien und Manufacturing Execution Systems (MES)

Seminar

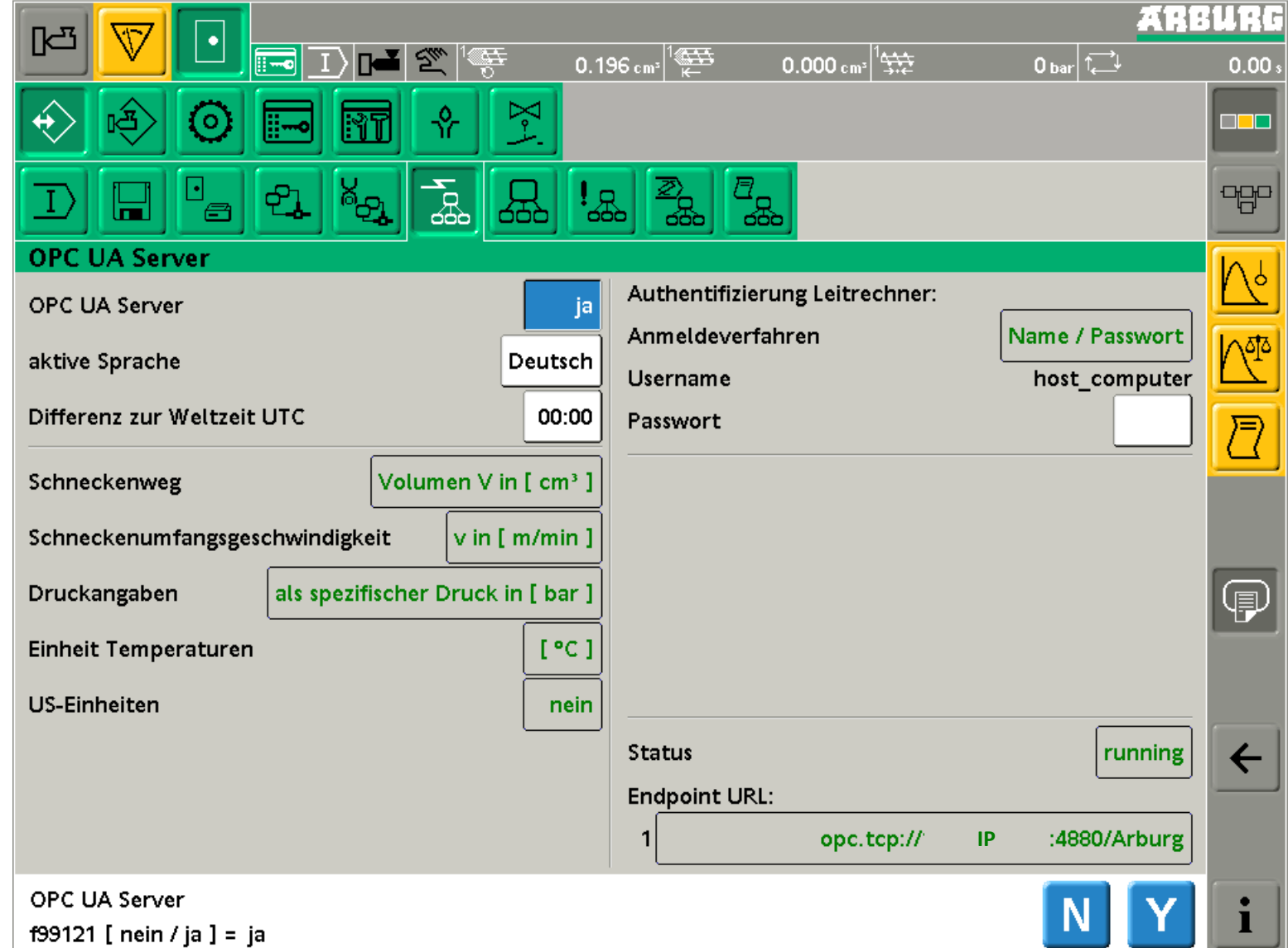
- Rückblick: Prozessgrößenauswahl
- OPC-UA
- **Einstellungen an der Spritzgießmaschine**
- Ermittlung der Node-IDs
- Aufbau und Funktionen des Python-Skripts

Workshop

- Anpassung des Skripts

OPC UA in Maschinensteuerung:

- OPC UA Server aktivieren
(Status = running)
- Username, Passwort und
Endpoint URL übernehmen



The screenshot shows the ARBURG machine control interface. At the top, there is a status bar with various icons and numerical values: 0.196 cm³, 0.000 cm³, 0 bar, and 0.00 s. Below this is a toolbar with icons for different functions. The main area is titled "OPC UA Server" and contains several settings:

- OPC UA Server:** A blue button labeled "ja" (yes).
- aktive Sprache:** A button labeled "Deutsch" (German).
- Differenz zur Weltzeit UTC:** A button labeled "00:00".
- Schneckenweg:** A button labeled "Volumen V in [cm³]".
- Schneckenumfangsgeschwindigkeit:** A button labeled "v in [m/min]".
- Druckangaben:** A button labeled "als spezifischer Druck in [bar]".
- Einheit Temperaturen:** A button labeled "[°C]".
- US-Einheiten:** A button labeled "nein" (no).

On the right side, there is a section for authentication:

- Authentifizierung Leitrechner:** A section with a "Name / Passwort" button.
- Anmeldeverfahren:** A button labeled "Name / Passwort".
- Username:** A text field containing "host_computer".
- Passwort:** A text field.
- Status:** A button labeled "running".
- Endpoint URL:** A text field containing "1 opc.tcp:// IP :4880/Arburg".

At the bottom, there is a status bar with the text "OPC UA Server f99121 [nein / ja] = ja" and three buttons: "N", "Y", and "i".

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Nachdruckzeit (alle Stufen)
Dosiervolumen
Umschaltvolumen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen
Dosiervolumen
Umschaltvolumen
Massepolster

Ist-Größen

Verlauf

Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schnecken volumen
Staudruck

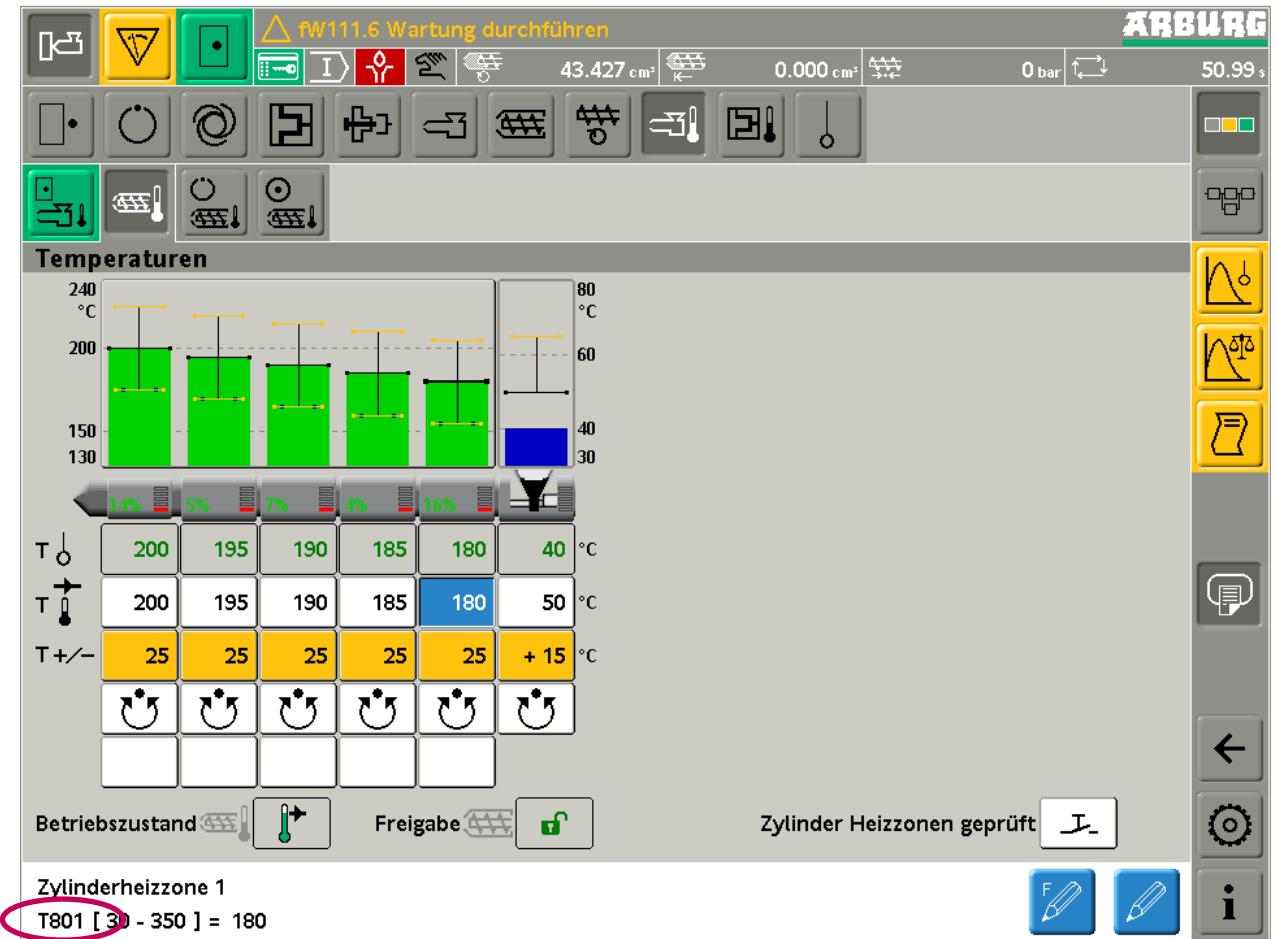
Staudruck

Max. Spritzdruck
Umschalt spritzdruck
Dosierzeit
Einspritzzeit

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	
Nachdruckzeit (alle Stufen)	
Dosiervolumen	
Umschaltvolumen	
Staudruck	

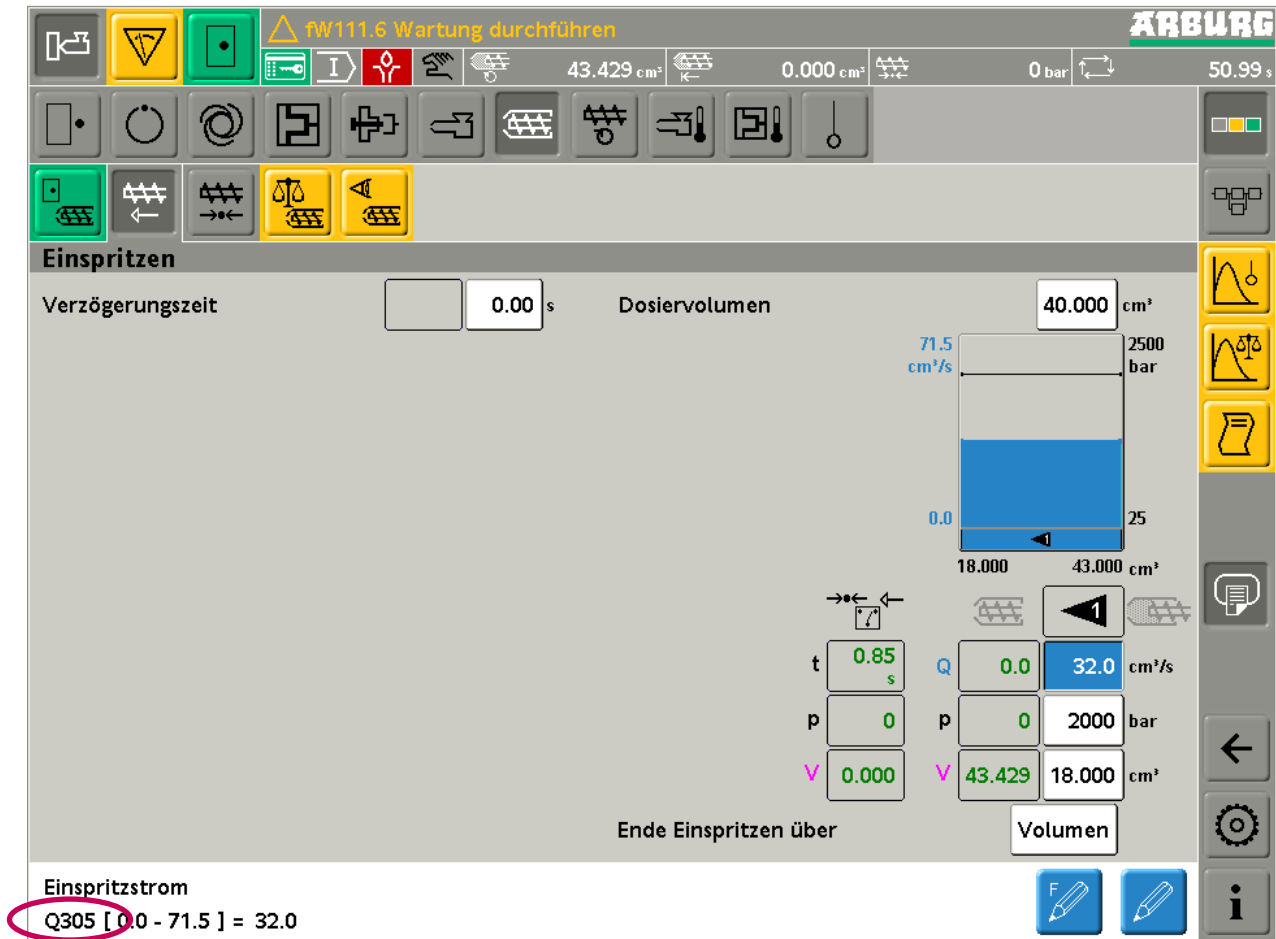


[8]

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	
Nachdruckzeit (alle Stufen)	
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	



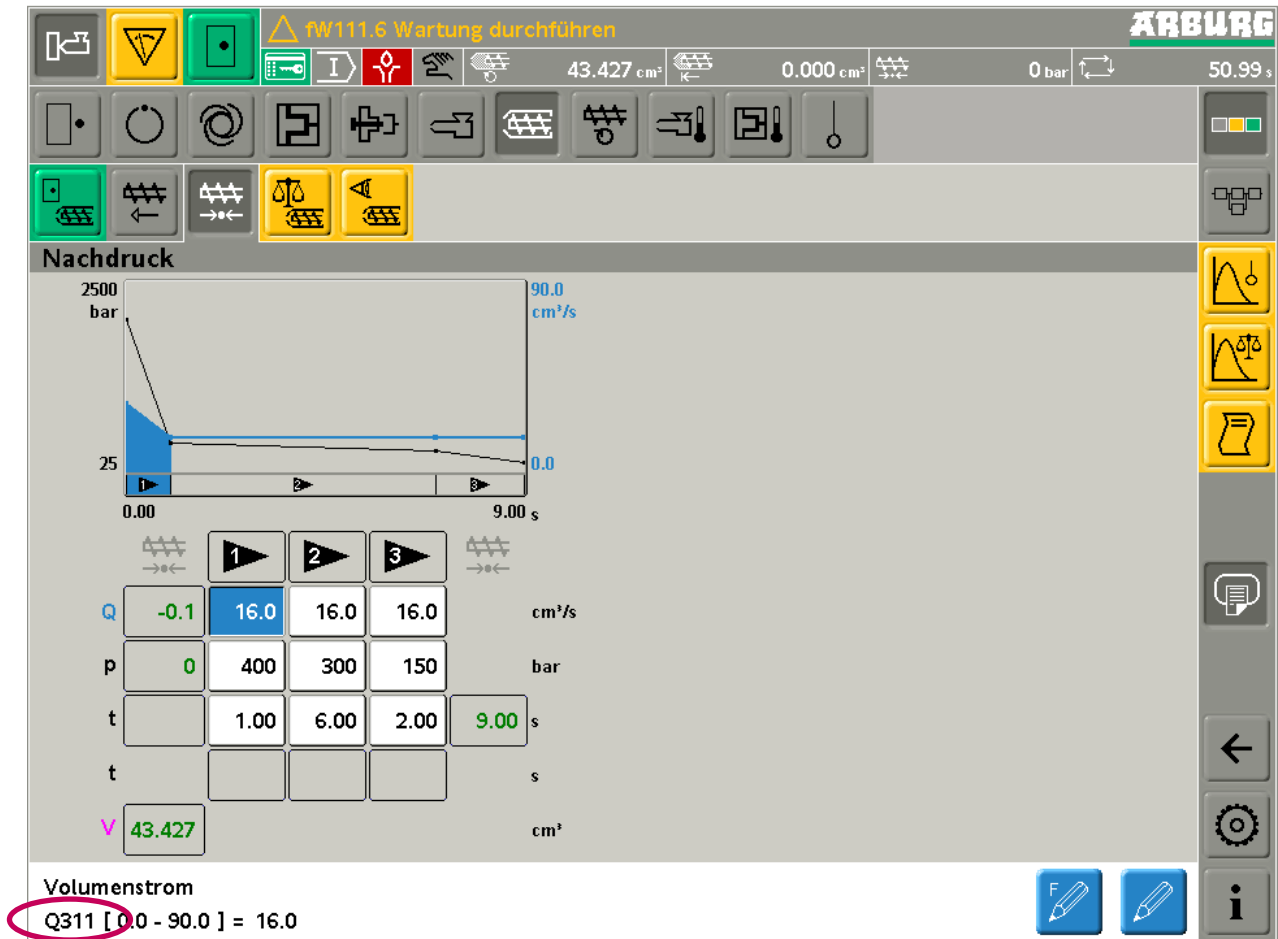
[8]

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305

Staudruck	
-----------	--

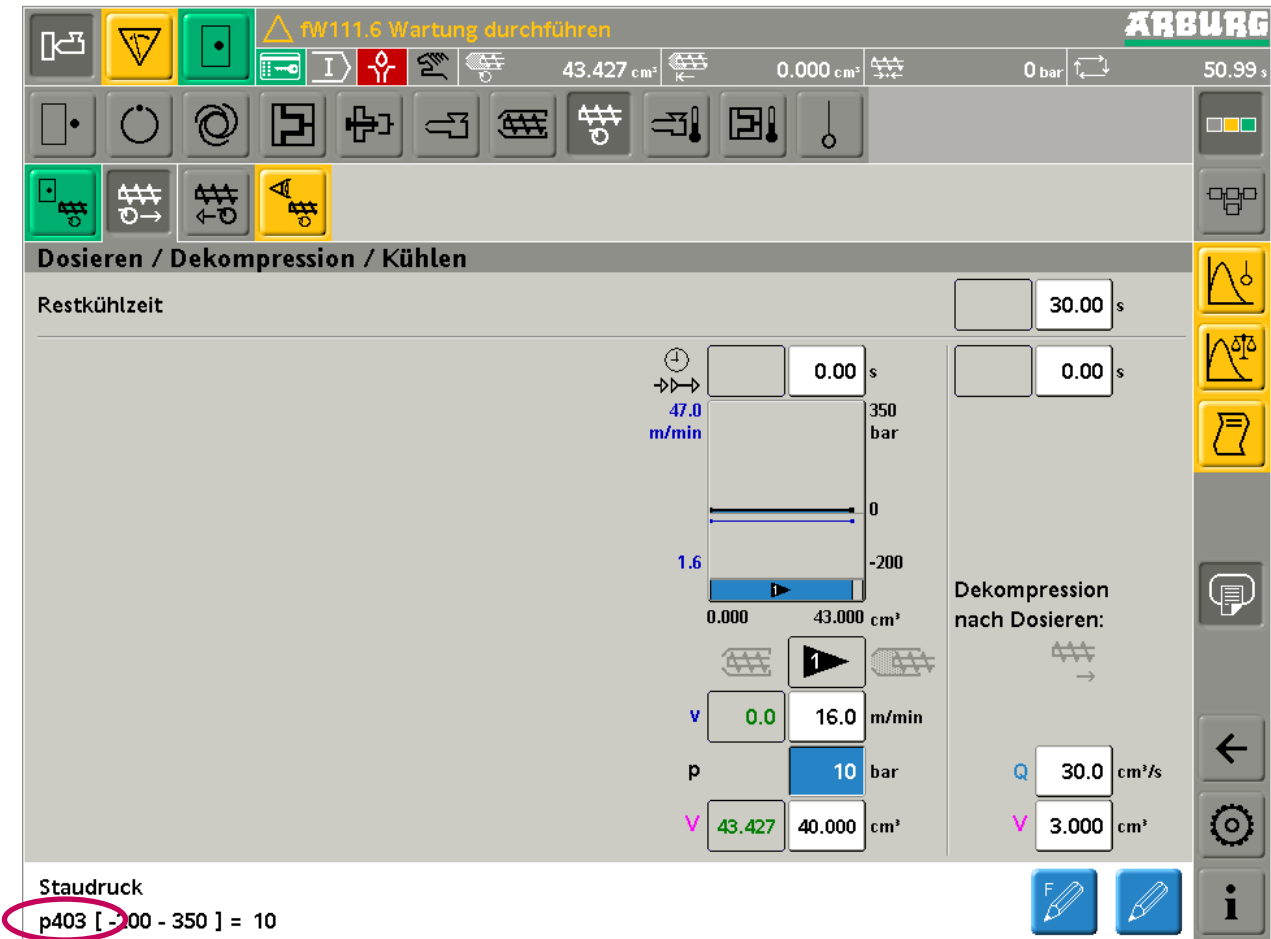


[8]

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403



[8]

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403

Ist-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	
Dosiervolumen	
Umschaltvolumen	
Massepolster	
Max. Spritzdruck	
Umschaltspritzdruck	
Dosierzeit	
Einspritzzeit	

Soll-Größen

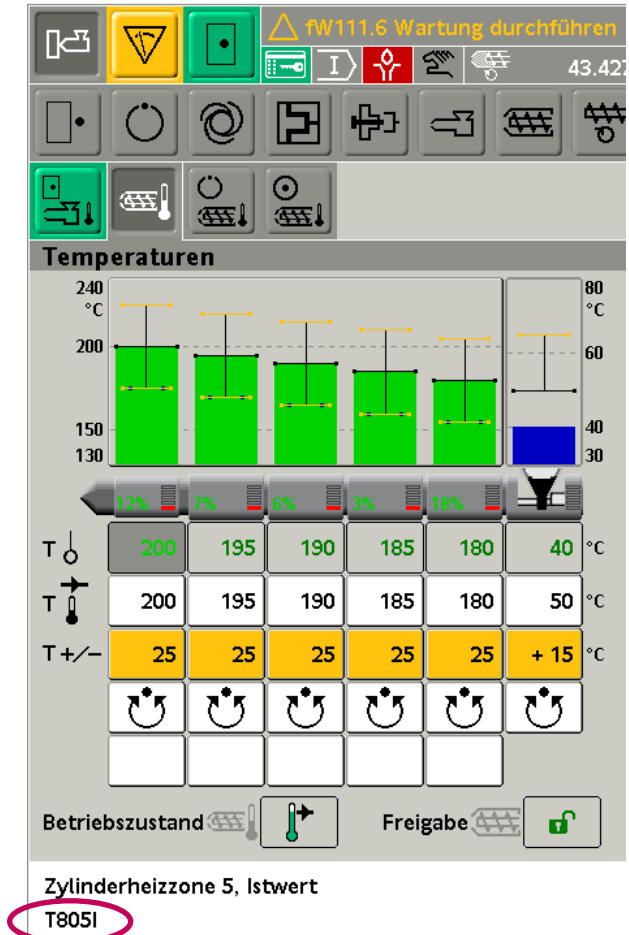
Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801l, ...
Dosiervolumen	
Umschaltvolumen	
Massepolster	
Max. Spritzdruck	
Umschaltspritzdruck	
Dosierzeit	
Einspritzzeit	

Ist-Größen



Soll-Größen

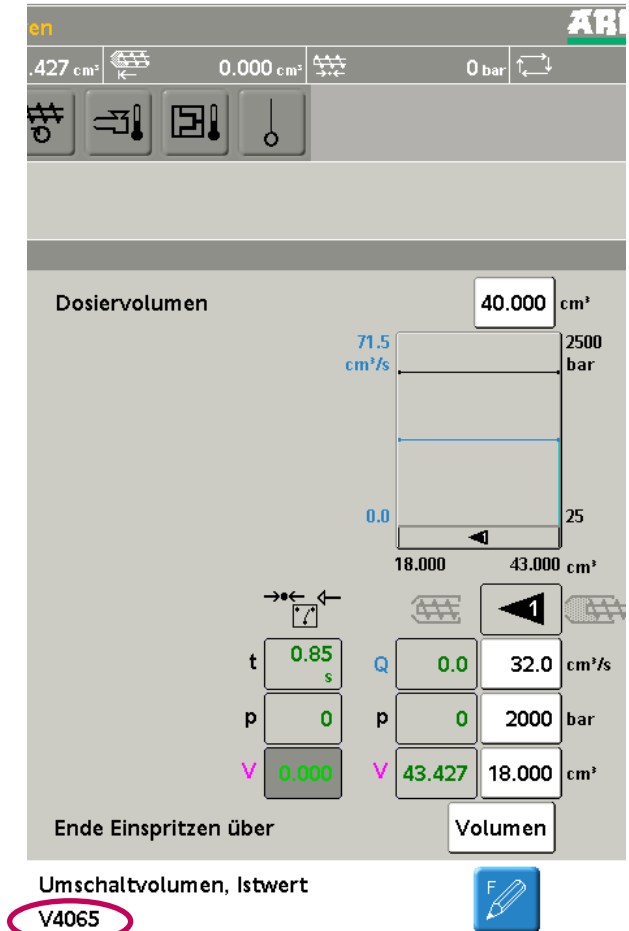
Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801l, ...
Dosiervolumen	
Umschaltvolumen	V4065
Massepolster	
Max. Spritzdruck	
Umschaltspritzdruck	
Dosierzeit	
Einspritzzeit	

Ist-Größen



Soll-Größen

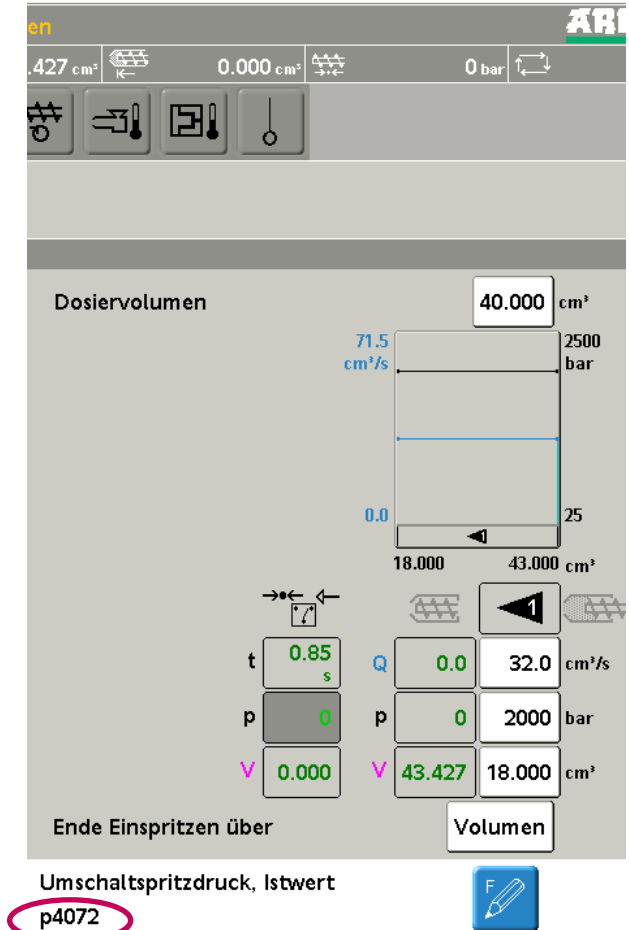
Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiertvolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801l, ...
Dosiertvolumen	
Umschaltvolumen	V4065
Massepolster	
Max. Spritzdruck	
Umschaltspritzdruck	p4072
Dosierzeit	
Einspritzzeit	

Ist-Größen



Soll-Größen

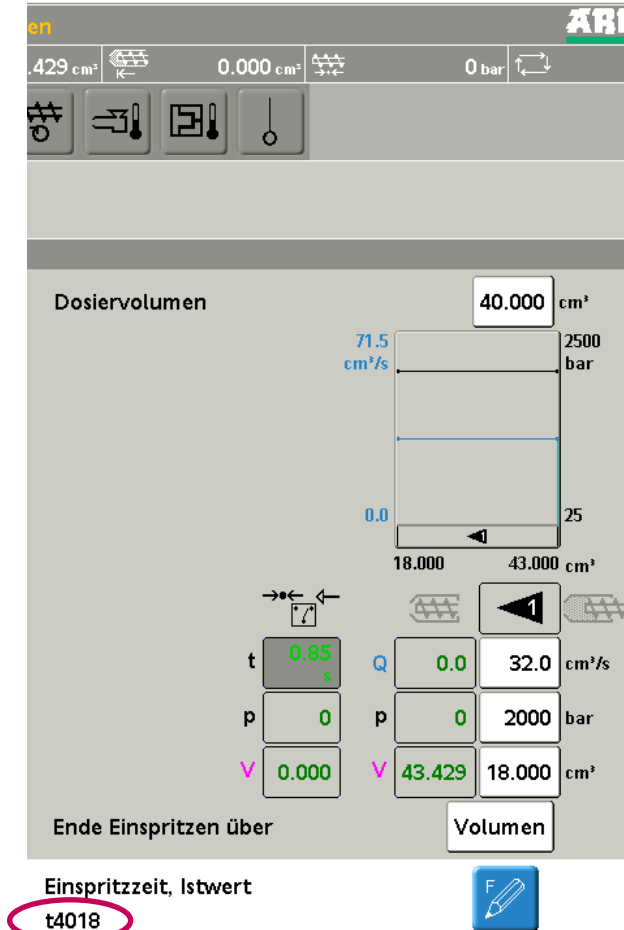
Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiertvolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801l, ...
Dosiertvolumen	
Umschaltvolumen	V4065
Massepolster	
Max. Spritzdruck	
Umschaltspritzdruck	p4072
Dosierzeit	
Einspritzzeit	t4018

Ist-Größen



Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403

Ist-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801I, ...
Dosiervolumen	V301I
Umschaltvolumen	V4065
Massepolster	V4062
Max. Spritzdruck	p4055
Umschaltspritzdruck	p4072
Dosierzeit	t4015
Einspritzzeit	t4018

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305
Staudruck	p403

Ist-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801I, ...
Dosiervolumen	V301I
Umschaltvolumen	V4065
Massepolster	V4062
Max. Spritzdruck	p4055
Umschaltspritzdruck	p4072
Dosierzeit	t4015
Einspritzzeit	t4018

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

Soll-Größen

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801, ...
Einspritzstrom	Q305
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)	Q311, ...
Nachdruckhöhe (alle Stufen)	p311, ...
Nachdruckzeit (alle Stufen)	t311, ...
Dosiervolumen	V403
Umschaltvolumen	V305

Staudruck	p403
-----------	------

Skalar

Temperatur Zylinderheizzonen	T801l, ...
------------------------------	------------

Dosiervolumen	V301l
Umschaltvolumen	V4065
Massepolster	V4062

Max. Spritzdruck	p4055
Umschaltspritzdruck	p4072
Dosierzeit	t4015
Einspritzzeit	t4018

Ist-Größen

Verlauf

Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schnecken volumen

Staudruck

Ist-Größen

- Die Übertragungsrate der OPC-UA Schnittstelle erlaubt keine Datenübermittlung in der benötigten Frequenz.
- Die Steuerung der Spritzgießmaschine bietet die Möglichkeit einer grafischen Darstellung von Trajektorien ausgewählter Parameter.

Messgrafiken	Überwachungsgrafiken
Werkzeugkraft (soll/ist)	Werkzeugkraft (ist)
Auswerferkraft (ist)	Auswerferkraft (ist)
Einspritzstrom (soll/ist)	Einspritzstrom (ist)
Schneckenvolumen (ist)	Schneckenvolumen (ist)
Einspritzdruck (soll/ist)	Einspritzdruck (ist)
Druck Steuerkreis 1	Druck Steuerkreis 1
Werkzeugweg (ist)	Werkzeugweg (ist)
Düsenweg (ist)	Auswerferweg (ist)
Auswerferweg (ist)	Zusätzliche Sensoren (ist)
Werkzeuggeschwindigkeit (ist)	
Auswerfergeschwindigkeit (ist)	
Zusätzliche Sensoren (ist)	

Verlauf

Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schneckenvolumen

Staudruck

Ist-Größen

- Die Übertragungsrate der OPC-UA Schnittstelle erlaubt keine Datenübermittlung in der benötigten Frequenz.
- Die Steuerung der Spritzgießmaschine bietet die Möglichkeit einer grafischen Darstellung von Trajektorien ausgewählter Parameter.
- Die dafür erfassten Messpunkte können in tabellarischer Form exportiert werden (auf Speichermedium oder über OPC-UA).

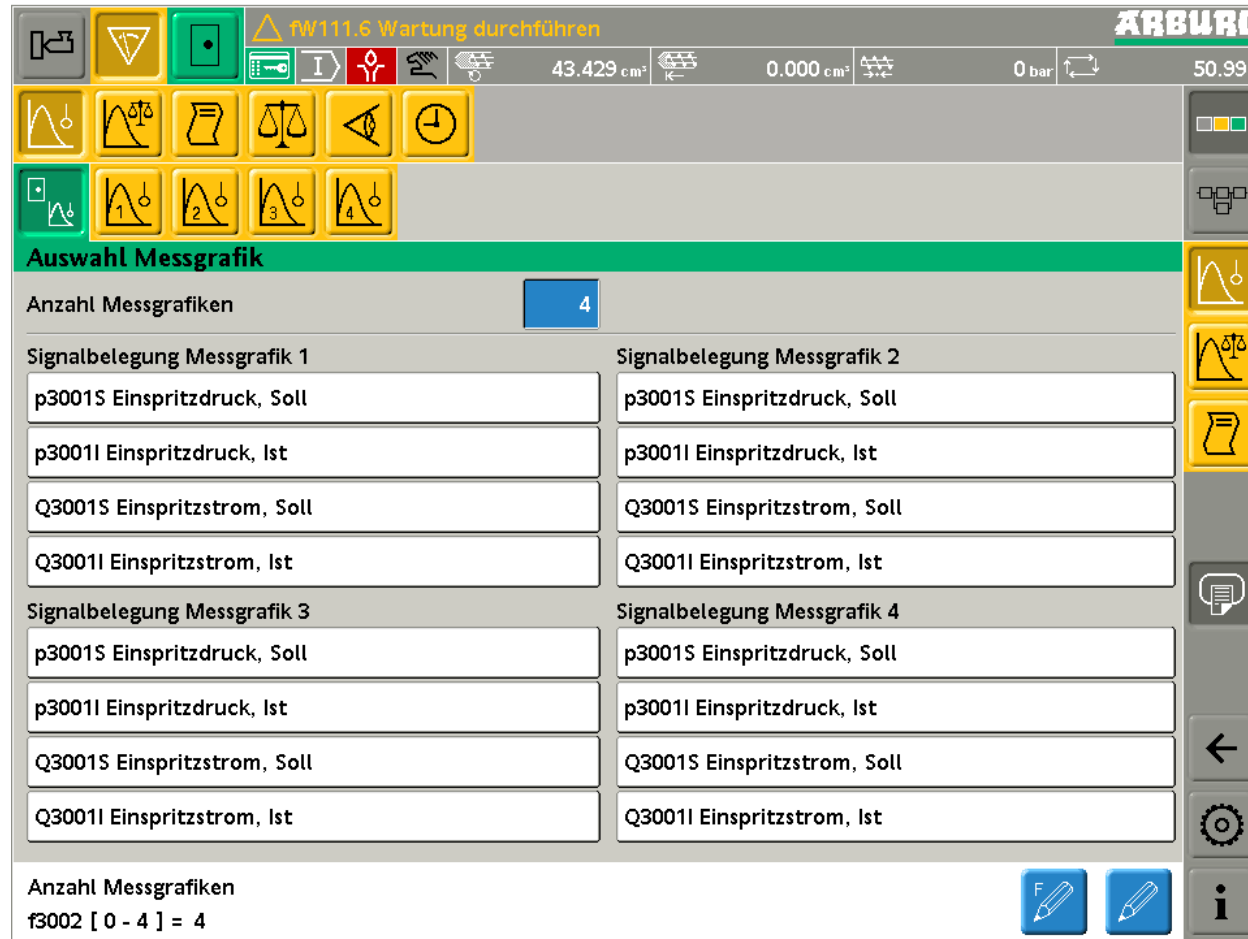
Verlauf

Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schneckenvolumen

Staudruck

Ist-Größen

Verlauf



ARBURG

FW111.6 Wartung durchführen

43.429 cm³ 0.000 cm³ 0 bar 50.99 s

Auswahl Messgrafik

Anzahl Messgrafiken: 4

Signalbelegung Messgrafik 1	Signalbelegung Messgrafik 2
p3001S Einspritzdruck, Soll	p3001S Einspritzdruck, Soll
p3001I Einspritzdruck, Ist	p3001I Einspritzdruck, Ist
Q3001S Einspritzstrom, Soll	Q3001S Einspritzstrom, Soll
Q3001I Einspritzstrom, Ist	Q3001I Einspritzstrom, Ist

Signalbelegung Messgrafik 3	Signalbelegung Messgrafik 4
p3001S Einspritzdruck, Soll	p3001S Einspritzdruck, Soll
p3001I Einspritzdruck, Ist	p3001I Einspritzdruck, Ist
Q3001S Einspritzstrom, Soll	Q3001S Einspritzstrom, Soll
Q3001I Einspritzstrom, Ist	Q3001I Einspritzstrom, Ist

Anzahl Messgrafiken: f3002 [0 - 4] = 4

Einspritzdruck

Einspritzstrom

Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)

Nachdruckhöhe (alle Stufen)

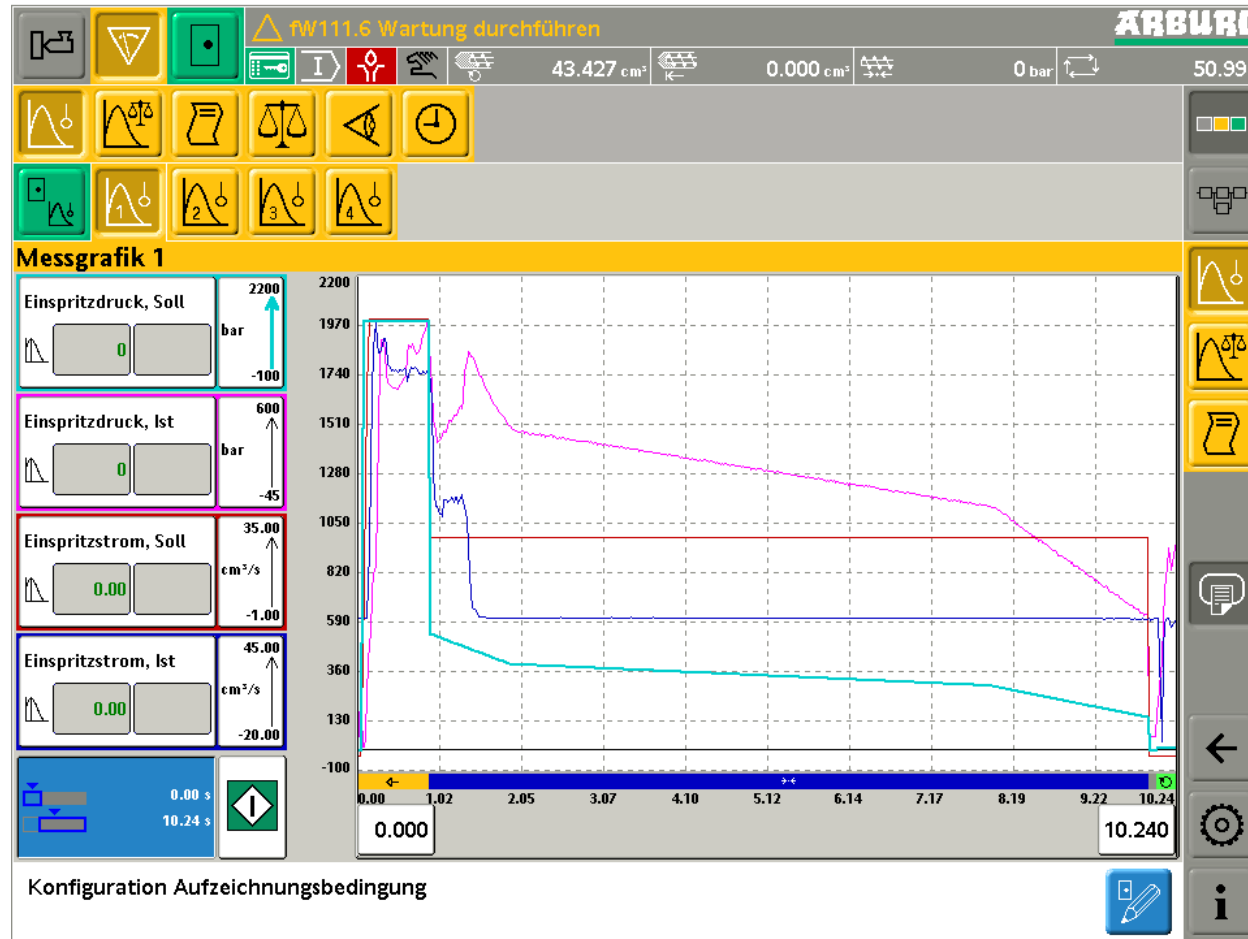
Schneckenvolumen

Staudruck

Jede der vier Messgrafiken kann bis zu vier Parameter beinhalten.

Ist-Größen

Verlauf



Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schneckenvolumen

Staudruck

[8]

Ist-Größen

Verlauf

Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schneckenvolumen

Staudruck



[8]

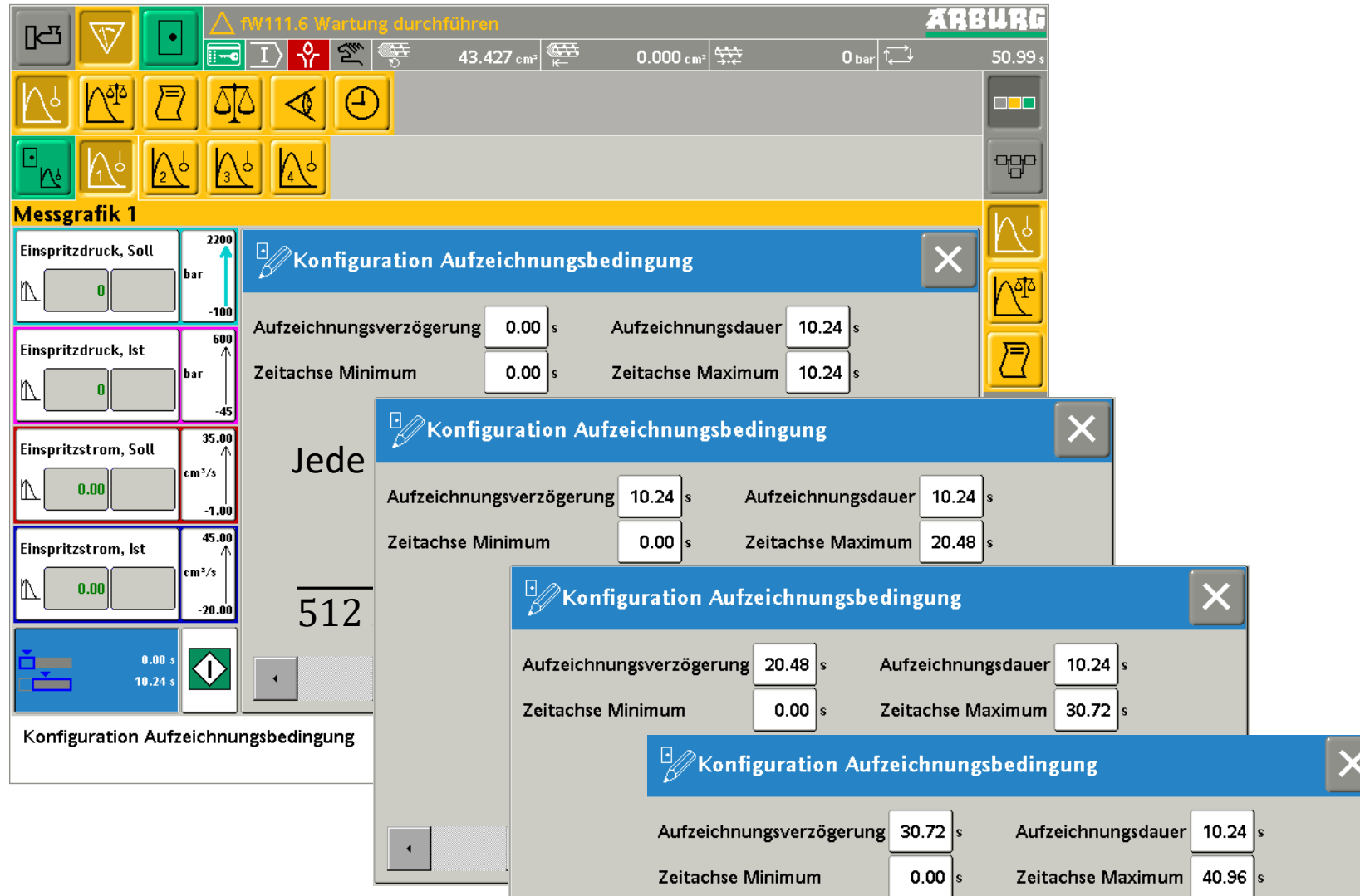
Ist-Größen

Verlauf

Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schneckenvolumen

Staudruck

Um die Gesamte Zykluszeit hochaufgelöst abzubilden, kann diese auf mehrere Grafiken aufgeteilt werden.



[8]

Ist-Größen

Verlauf

Einspritzdruck
Einspritzstrom
Nachdruckvolumenstrom (alle Stufen)
Nachdruckhöhe (alle Stufen)
Schneckenvolumen

Staudruck

Analog zu den Messgrafiken können bis zu acht Überwachungsgrafiken (und vier erweiterte Überwachungsgrafiken) eingestellt werden.



[8]

Auflistung der relevanten Maschinen- und Prozessgrößen

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

Seminar

- Rückblick: Prozessgrößenauswahl
- OPC-UA
- Einstellungen an der Spritzgießmaschine
- **Ermittlung der Node-IDs**
- Aufbau und Funktionen des Python-Skripts

Workshop

- Anpassung des Skripts

- Durch das Kommunikationsprotokoll ist jedem Objekt (Parameter, Status, Information, ...) eine eindeutige ID zugeordnet.
- Objekte beinhalten jeweils den Wert des Parameters und dessen Zustand.

- f801 (ns=2;i=207240; Betriebsart Zylinderheizzone 1 Spritzeinheit 1)
 - f801-Value (ns=2;i=207242; value of the parameter)
 - f801-State (ns=2;i=207241; state of the parameter)

- T801ED (ns=2;i=207290; Einschaltdauer)
 - T801ED-Value (ns=2;i=207292; value of the parameter)
 - T801ED-State (ns=2;i=207291; state of the parameter)

- 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)

- P801d (ns=2;i=207370; Vorhaltezeit Tv)
 - P801d-Value (ns=2;i=207372; value of the parameter)
 - P801d-State (ns=2;i=207371; state of the parameter)

- f80195 (ns=2;i=484060; Zuordnung Erfassungszeitpunkt Zylinderheizzone 1)
 - f80195-Value (ns=2;i=484062; value of the parameter)
 - f80195-State (ns=2;i=484061; state of the parameter)

- Durch das Kommunikationsprotokoll ist jedem Objekt (Parameter, Status, Information, ...) eine eindeutige ID zugeordnet.
- Objekte beinhalten jeweils den Wert des Parameters und dessen Zustand.

- f801 (ns=2;i=207240; Betriebsart Zylinderheizzone 1 Spritzeinheit 1)
 - f801-Value (ns=2;i=207242; value of the parameter)
 - f801-State (ns=2;i=207241; state of the parameter)

- T801ED (ns=2;i=207290; Einschaltdauer)
 - T801ED-Value (ns=2;i=207292; value of the parameter)
 - T801ED-State (ns=2;i=207291; state of the parameter)

- 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)

- P801d (ns=2;i=207370; Vorhaltezeit Tv)
 - P801d-Value (ns=2;i=207372; value of the parameter)
 - P801d-State (ns=2;i=207371; state of the parameter)

- f80195 (ns=2;i=484060; Zuordnung Erfassungszeitpunkt Zylinderheizzone 1)
 - f80195-Value (ns=2;i=484062; value of the parameter)
 - f80195-State (ns=2;i=484061; state of the parameter)

- Durch das Kommunikationsprotokoll ist jedem Objekt (Parameter, Status, Information, ...) eine eindeutige ID zugeordnet.
- Objekte beinhalten jeweils den Wert des Parameters und dessen Zustand.
- Node-IDs können bspw. über UaExpert (Unified Automation GmbH) ermittelt werden.

Temperatur Zylinderheizzone (soll)	T801, ...	207262, 207412, 207562, 207712, 207862
Temperatur Zylinderheizzone (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

Seminar

- Rückblick: Prozessgrößenauswahl
- OPC-UA
- Einstellungen an der Spritzgießmaschine
- Ermittlung der Node-IDs
- **Aufbau und Funktionen des Python-Skripts**

Workshop

- Anpassung des Skripts

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

daq_arburg.py

Grundlegende Definitionen:

- Logger
- Klassen
- Funktionen

Logger

- Ereignisprotokollierungssystem
- Definiert in welcher Form Informationen in der Konsole angezeigt werden
- Durch Filter lässt sich einstellen, welche Protokollsätze angezeigt werden (.setLevel)
- Meldungen können aus Pythonmodulen stammen oder selbst definiert werden

Bsp.: `logger.debug('Waiting for new cycle.')`

daq_arburg.py

Grundlegende Definitionen:

- Logger
- Klassen
- Funktionen

Klassen

- `signal_struct`
Legt fest, dass die abzufragenden Parameter eine `node_id` besitzen und jede `node_id` standardmäßig ein Signal beinhaltet.
(Messgrafiken haben bis zu 4, muss manuell angepasst werden)
- `NewCycleWatcher`
Legt fest, dass der zur Erkennung eines neuen Zyklusses beobachtete Parameter beim Zykluswechsel von `old_cycle_value` auf `new_cycle_value` wechselt.
- `NodeData`
Klasse, die alle relevanten Daten aufnehmen kann, die von einer Node-ID zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgelesen werden.

daq_arburg.py

Grundlegende Definitionen:

- Logger
- Klassen
- Funktionen

Funktionen

- `time_to_name`
Erzeugt einen Dateinamen aus der aktuellen Zeit.
- `create_nodes`
Erstellt ein dict, das alle definierten Parameter beinhaltet.
- `save_to_hdf`
Speichert DataFrame in eine .h5-Datei.
- `slugify`
Konvertiert Leerzeichen oder wiederholte Bindestriche in einzelne Bindestriche und Großbuchstaben in Kleinbuchstaben. Entfernt Zeichen, die nicht alphanumerisch, Unterstriche oder Bindestriche sind, sowie vorgestellte und nachgestellte Leerzeichen, Bindestriche und Unterstriche.

Arburg_XXX_config.py

Maschinenbezogene Informationen:

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

```
# Benutzername ist üblicherweise host_computer; falls kein PW hinterlegt ist 1 eingeben; Endpoint URL (mit IP) ist in Maschinensteuerung ablesbar
CLIENT_ADDRESS = 'opc.tcp://Username:password@IP:4880/Arburg/'
NAME_OF_MEASUREMENT = 'name_der_messung' # 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

"""
Bei Messgrafiken muss die Anzahl der Signale explizit angegeben werden (num_signals=x).
Standardmäßig wird der Wert auf 1 gesetzt.
"""

SIGNALS = {

    'cycle_counter': signal_struct('ns=2;i=Node-ID'), # 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=Node-ID'),

    # Extended Monitoring Charts
    'extended_monitoring_chart_1': signal_struct('ns=2;i=Node-ID'),

    # Measurement Charts
    'measurement_chart_1': signal_struct('ns=2;i=Node-ID', num_signals=4),

    # Scalar values
    'Parameter_1': signal_struct('ns=2;i=Node-ID'),
    'Parameter_2': signal_struct('ns=2;i=Node-ID'),

}

# 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=Node-ID'),
}

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.)
```

opc_daq_main.py

Auszuführendes Skript

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

Funktionen

- Importiert Funktionen aus daq_arburg.py und Informationen aus Arburg_XXX_config.py

```
from opcua import Client
from time import sleep
import logging

from lib.daq_arburg import create_nodes
from lib.daq_arburg import combine_signals
from lib.daq_arburg import time_to_name
from lib.daq_arburg import slugify
from lib.daq_arburg import NewCycleWatcher

import Arburg_470_config as cfg
#import Arburg_520_config as cfg
```

opc_daq_main.py

Auszuführendes Skript

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

Funktionen

- Importiert Funktionen aus daq_arburg.py und Informationen aus Arburg_XXX_config.py
- Überprüft in definierten Zeitabständen, ob sich Triggersignal ändert.
- Wenn ein neuer Zyklus gefunden wurde, werden die Werte der node_ids abgefragt und zykluszugeordnet in .h5-Datenbankdatei abgelegt.
- Der Ablauf wird kontinuierlich über Loggerhinweise in der Konsole angezeigt.
logger.debug('Waiting for new cycle.')
logger.info('New cycle found. Reading data from Machine now.')
logger.debug(f'Getting value of node: {name}: {node}')

opc_daq_main.py

Auszuführendes Skript

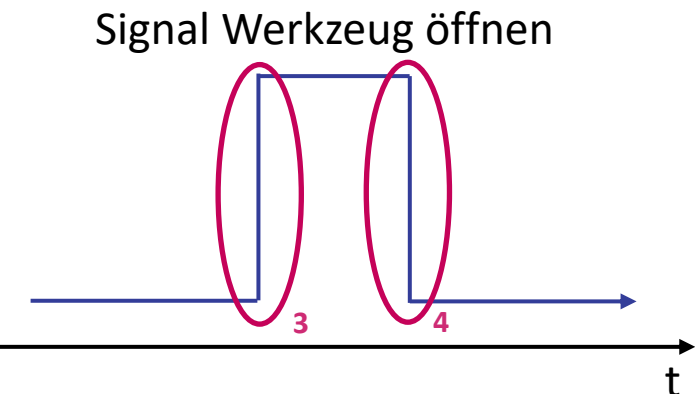
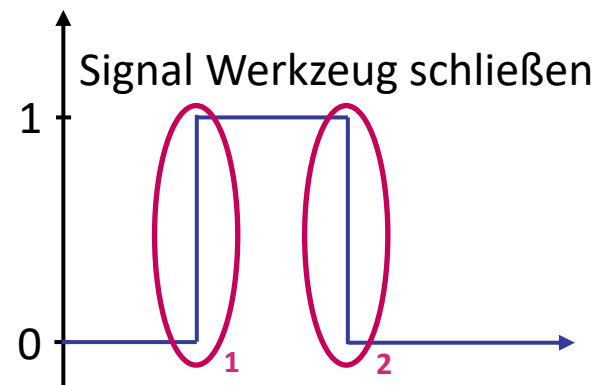
- Stellt Verbindung zur Maschine her
- Überwacht Triggersignal
- Erfasst Daten
- Legt Daten in Datenbankdatei ab

new_cycle_signal

- Zur Erkennung eines neuen Zyklus wird ein Parameter hinsichtlich seines Wertes überwacht (Triggersignal festgelegt in Arburg_XXX_config.py).
- Idealerweise nimmt dieser Parameter nur die Werte 0 und 1 an (bspw. „Werkzeug öffnen“ oder „Auswerfer vorfahren“).

```
# 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
```



opc_daq_main.py

Auszuführendes Skript

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

new_cycle_signal

- Zur Erkennung eines neuen Zyklus wird ein Parameter hinsichtlich seines Wertes überwacht (Triggersignal festgelegt in Arburg_XXX_config.py).
- Idealerweise nimmt dieser Parameter nur die Werte 0 und 1 an (bspw. „Werkzeug öffnen“ oder „Auswerfer vorfahren“).

cycle_counter

- Über einen Zyklenzähler (Gesamtzyklenzähler, Auftragszyklenzähler) der Maschine werden die abgefragten Daten dem entsprechenden Zyklus zugeordnet.
- Wird mit zugehöriger Node-ID in das dict SIGNALS eingetragen.

Seminar

- Rückblick: Prozessgrößenauswahl
- OPC-UA
- Einstellungen an der Spritzgießmaschine
- Ermittlung der Node-IDs
- Aufbau und Funktionen des Python-Skripts

Workshop

- **Anpassung des Skripts**

Seminar

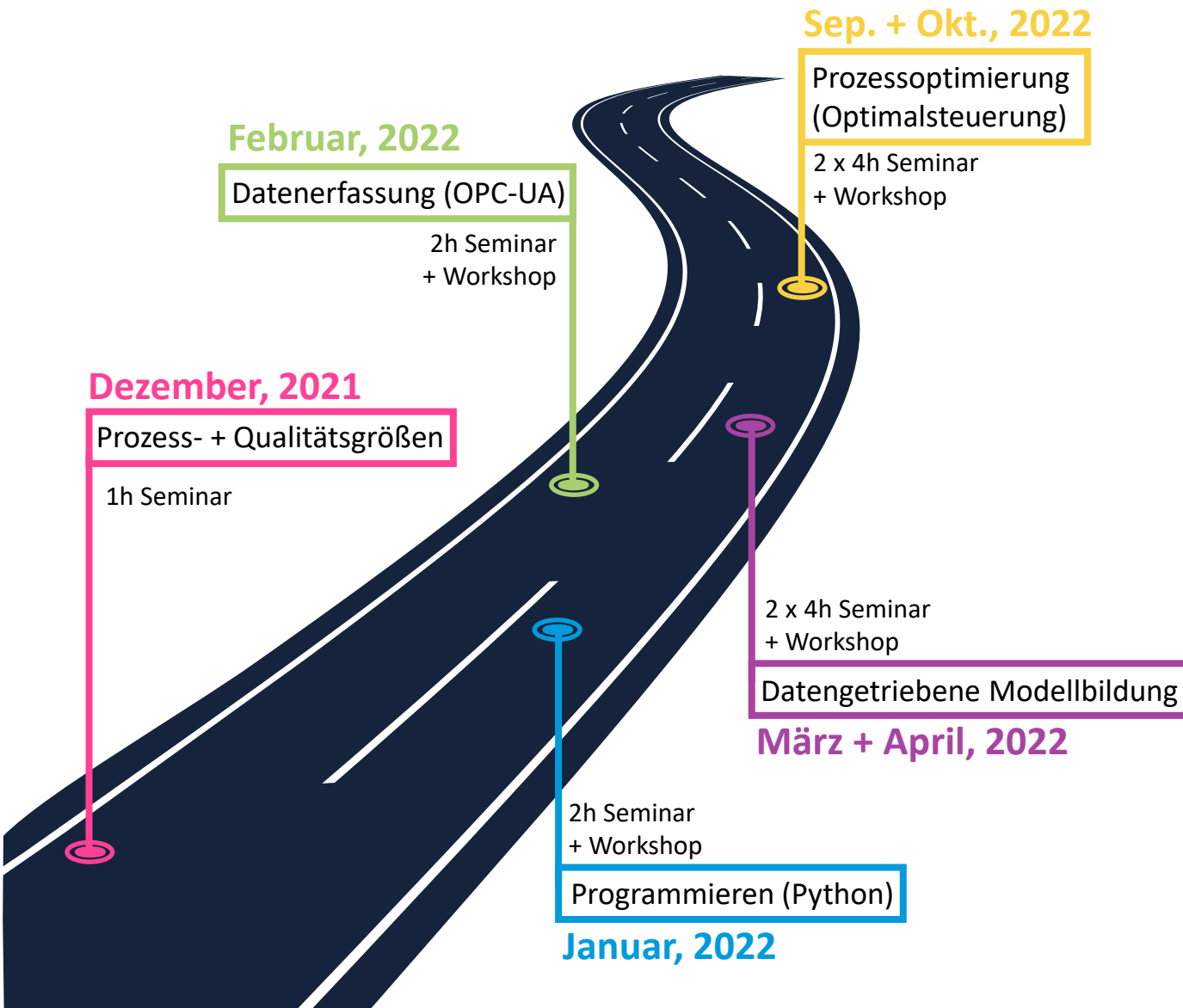
Workshop

- **Anpassung des Skripts**
 - **Ermittlung der Node-IDs mittels UaExpert**
 - **Anpassung von Arburg_XXX_config.py (Endpoint URL, abzufragende Parameter, Triggersignal)**
 - **Demonstration des Skripts**

Temperatur Zylinderheizzone (soll)	T801, ...	207262, 207412, 207562, 207712, 207862
Temperatur Zylinderheizzone (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

- Zyklenzähler: 238982
- Triggersignal: 56842 (Werkzeug öffnen)



- **Erfassung von Prozess- und Qualitätsgrößen**
 - Prozessgrößen- und Sensorauswahl
 - Auslesen von Daten aus der Maschinensteuerung
 - Auswahl und Erfassung von Qualitätsgrößen
 - Aufbau einer Qualitätsmesszelle
- **Programmieren mit Python**
 - Grundlegende und fortgeschrittene Aspekte der objektorientierten Programmierung mit Python
- **Datenerfassung mit OPC-UA**
 - Überblick über die Funktionsweise des Python-Skripts zur Datenaufzeichnung
 - Anpassung/Erweiterung zur Erfassung gewünschter Prozessparameter
- **Datengetriebene Modellbildung**
 - Grundlagen der datengetriebenen Modellbildung und nichtlinearen Optimierung
 - Modellbildung des Spritzgießprozesses
- **Prozessoptimierung mittels numerischer Optimalsteuerung**
 - Grundlagen der numerischen Optimalsteuerung
 - Optimalsteuerung des Spritzgießprozesses

Bildquellen:

- [1] <https://hmq-laserscanning.ch/referenzen/644/spritzgiessmaschine.html>
- [2] <https://opcfoundation.org/>
- [3] ©Australian Bureau of Statistics, GeoNames, Microsoft, Navinfo, OpenStreetMap, TomTom, Wikipedia
Erstellt mit Powerpoint auf Basis der Mitgliederdatenbank von <https://opcfoundation.org/>
- [4] Eigene Darstellung in Anlehnung an ProduktionNRW, Kompetenznetz Maschinenbau/Produktionstechnik, c/o VDMA e.V.:
„Innovationen made in NRW – OPC UA / umati“, unter Verwendung von [5].
(https://www.vdma.org/documents/34570/4887803/2021-1_Innomagazin_OPCUA-umati_de.pdf/cca419a3-b41c-50b8-6b6f-6093e5c28053, aufgerufen am 22.01.2022 15:24)
- [5] Schmitt et al. „Digitaler Zwilling in der Kunststofftechnik“. In: Industrie 4.0 Management 37 (2021) 2, p. 17-20
- [6] https://de.wikipedia.org/wiki/OPC_UA_TSN (aufgerufen am 22.01.2022 15:27)
- [7] <https://www.euromap.org/>
- [8] © ARBURG GmbH + Co KG 2022, Screenshots erstellt an einer Arburg Allrounder 320C Golden Edition am Institut für Werkstofftechnik, Fachgebiet Kunststofftechnik der Universität Kassel