



# **Modellbasierte Entwicklung von Regelungsalgorithmen für Abkantpressen**

**Martin Bruckner**  
**Leitung Sensorik und Regelungstechnik**

**Pasching, 27.06.2017**

---

# Modellbasierte Entwicklung von Regelungsalgorithmen

## Inhalt

- Vorstellung TRUMPF Maschinen Austria GmbH & Co. KG.
- Einsatz von MATLAB/Simulink in der Entwicklung bei TRUMPF Österreich
- Workflow bei der Entwicklung von Regelungsalgorithmen
- Modulare Entwicklung in MATLAB/Simulink: Gründe/Herausforderungen
- Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000
- I4.0: Predictive Analytics bei TRUMPF

# TRUMPF ist...



## ... ein Familienunternehmen



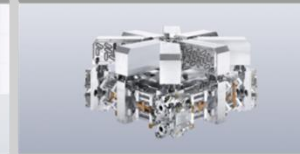
seit 1923

## ... Technologieführer

Werkzeugmaschinen



Lasertechnik/Elektronik



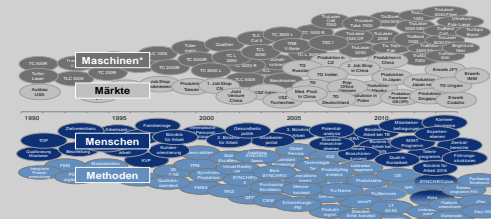
in zwei Geschäftsbereichen

## ... international aufgestellt



71 Tochtergesellschaften

## ... Innovationsführer



ständige Veränderung

# Auf einen Blick

## Unternehmenskennzahlen

**Geschäftsjahr 2015/16**

Umsatz (in Mio. €)	2.808,5
Ergebnis vor Steuern (in Mio. €)	303,1
Umsatzrendite vor Steuern (in %)	10,8
Investitionen (in Mio. €)	137,6
F+E Aufwendungen (in Mio. €)	296,2
Mitarbeiter (Anzahl zum 30.06.2016)	11.181

# Entwicklung von TRUMPF Maschinen Austria



Geschäftsjahr 2015/16

230 Mio.€ Umsatz

550 Mitarbeiter

2014



2008



2000



1991

# Kompetenzzentrum Biegetechnologie



**TruBend 3000**



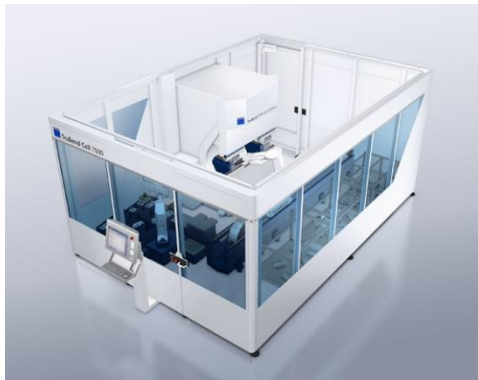
**TruBend 5000**



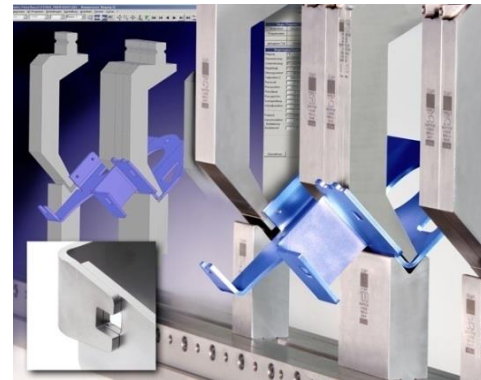
**TruBend 7000**



**TruBend Cell 5000**



**TruBend Cell 7000**



**Biegewerkzeuge**





**TruBend Center Serie 5000**



**TruBend Center Serie 7000**

# Produkte aus Blech



Lohnfertiger  
Beispiel: Münzsortierer



Maschinen- und Anlagenbau  
Beispiel: Druckmaschine



Gehäuse- und Apparatebau  
Beispiel: Kaffeemaschine



Fassadenbau  
Beispiel: TRUMPF Empfang



Landmaschinenbau  
Beispiel: Konsole



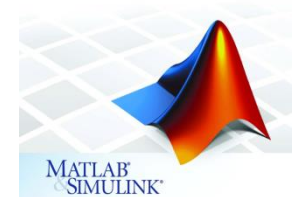
Schaltschrankbau  
Beispiel: Schaltschrank



# Einsatz von MATLAB/Simulink in der Entwicklung

## Anwendungsgebiete

- Systemmodellierung- und Simulation
- Identifikation von dynamischen Systemen
- Reglerentwurf
- „Rapid Prototyping“ von Reglern durch Verwendung der automatischen Codegenerierung
- Simulation von Systemmodellen auf der Zielhardware mittels automatischer Codegenerierung
- Datenanalyse – Predictive Analytics



# Workflow TRUMPF bei der Entwicklung von Regelungsalgorithmen

## Physikalische Modelle der einzelnen Komponenten

$$Q = \alpha_d A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

$$\sqrt{x} = \begin{cases} \sqrt{x} & : x \geq 0 \\ -\sqrt{x} & : x < 0 \end{cases}$$

$$\dot{p} = \frac{\beta(p)}{V} [-\dot{V} + Q_{in}]$$

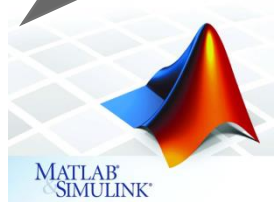
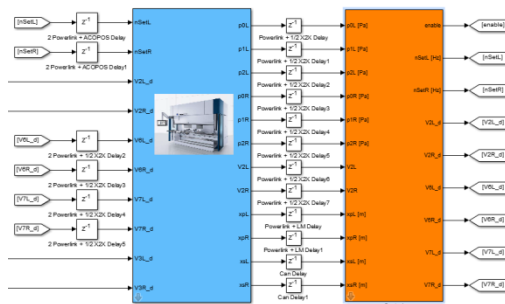
$$m \ddot{y} = m g + p_1 A_1 - p_2 A_2 - F_f - F_{pr}$$

## Dynamisches Gesamtmodell

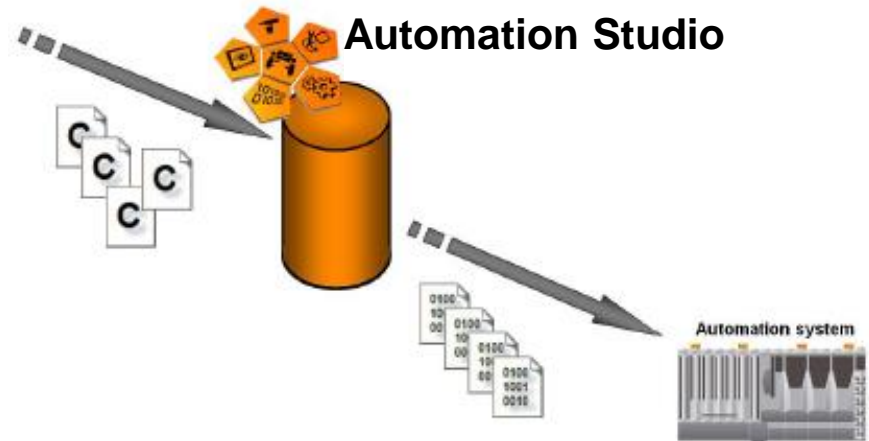
$$\frac{d}{dt} p_{Pos} = \frac{E_{Oil}}{V_{0,Pos} + A_{Pos} s_{Cyl}} (Q_{Pos} - A_{Pos} v_{Cyl} - C_{P,Leak} (p_{Pos} - p_{Neg}))$$

$$\frac{d}{dt} p_{Neg} = \frac{E_{Oil}}{V_{0,Neg} - A_{Neg} s_{Cyl}} (Q_{Neg} + A_{Neg} v_{Cyl} + C_{P,Leak} (p_{Pos} - p_{Neg}))$$

## Simulationsmodell

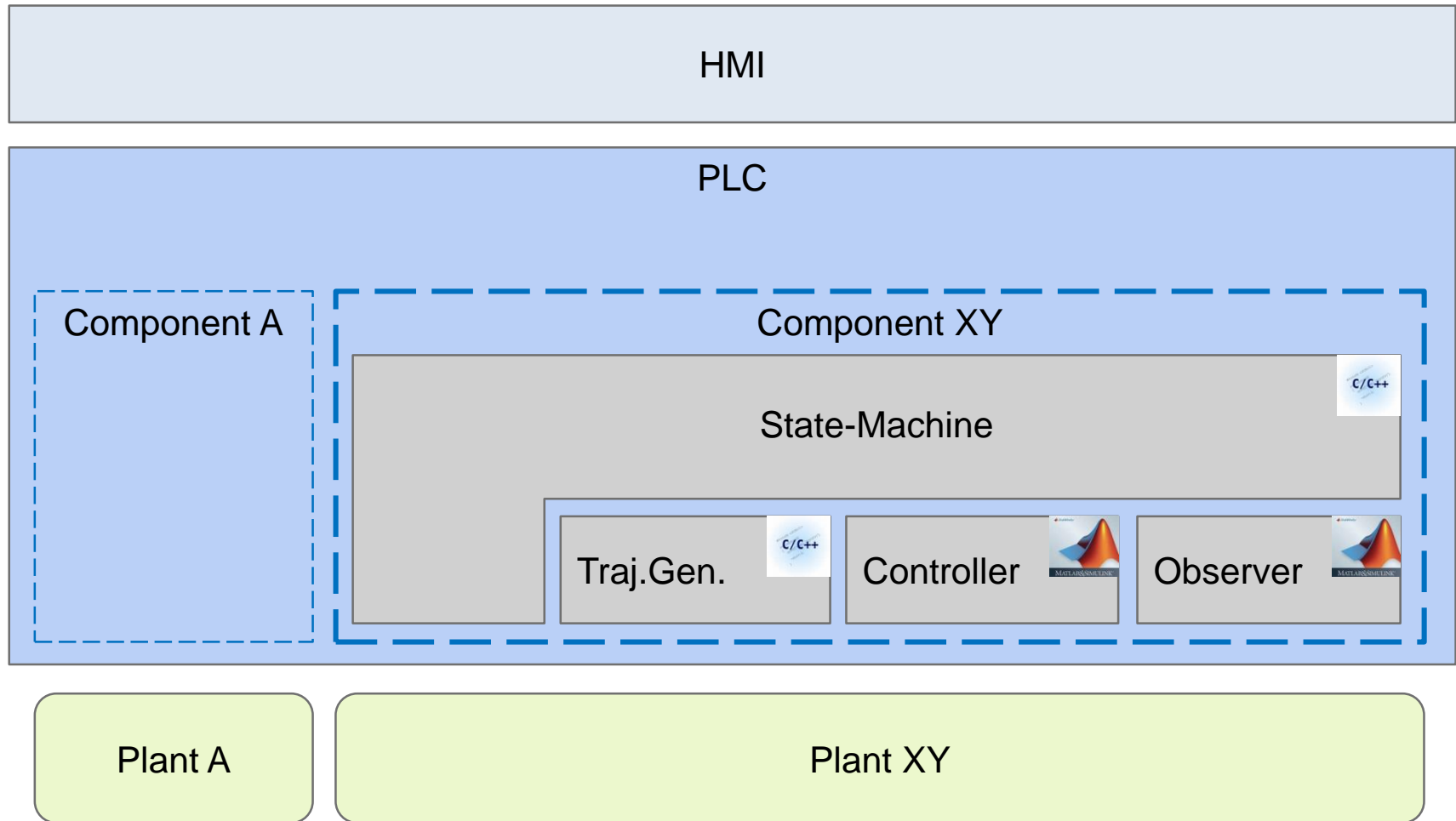


## Automation Studio



# Workflow TRUMPF bei der Entwicklung von Regelungsalgorithmen

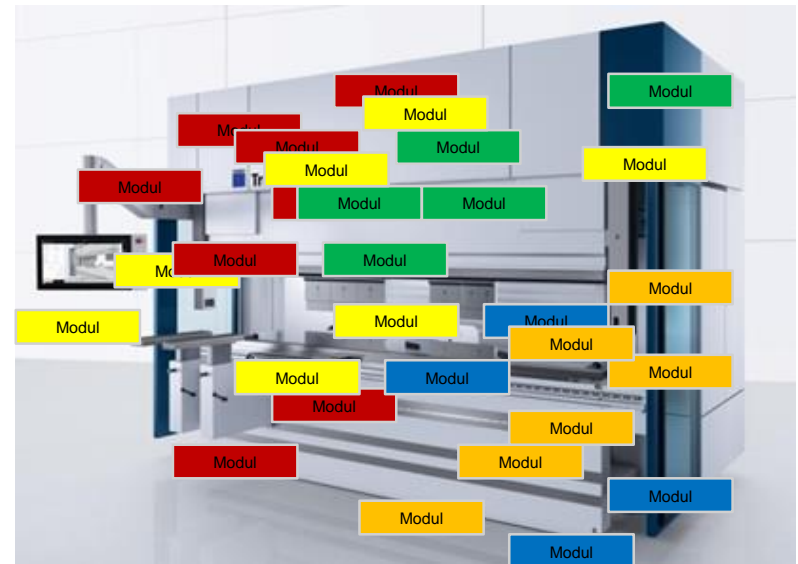
Einbettung der Regelung in ein bestehendes Steuerungssystem



# Modulare Entwicklung in MATLAB/Simulink

## Ziele

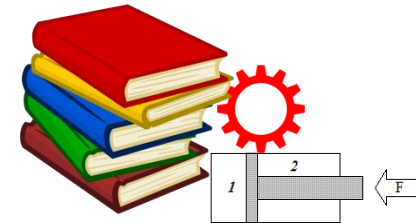
- Reduktion TimeToMarket:
  - Entwicklungsbeschleunigung da auf „fertige“ Komponenten zurückgegriffen werden kann
  - Kooperative Bearbeitung möglich
  
- „Investitionsschutz“ – Funktionalität muss nur einmal entwickelt werden
  
- Qualitätssicherung durch automatisierte Tests



# Modulare Entwicklung in MATLAB/Simulink

## Notwendigkeit von Richtlinien und Konventionen

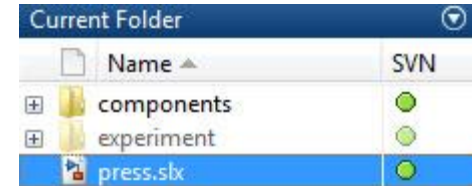
- Kooperatives Arbeiten im Team
  - System in Komponenten aufteilen
  - Nachvollziehbarkeit von Änderungen
  - Wiederverwendbarkeit von Komponenten
- Automatisierte Qualitätssicherung → getestete Komponenten
- Verwaltung der Komponenten
  - Zentral über subversion (SVN)
  - Austauschbarkeit von Komponenten
  - Einfaches Aktualisieren von Komponenten in bestehenden Simulationen
  - Transparenz der Komponenten (einfacher Zugriff auf interne Daten)
- Einheitliche Schnittstellen der Komponenten
- Einheitliche Dokumentation der Komponenten



# Workflow TRUMPF bei der Entwicklung von Regelungsalgorithmen

## Modulare Entwicklung in MATLAB/Simulink - Strategie

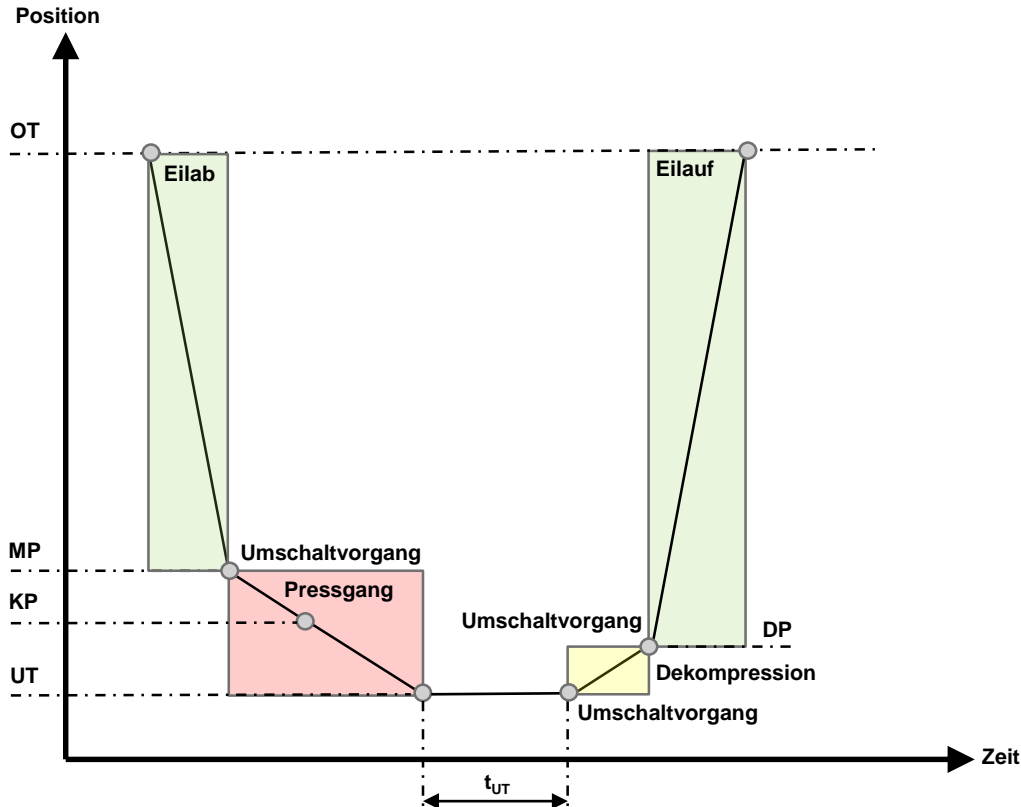
- Erstellung von Komponenten-Bibliotheken
  - Mechanik, Hydraulik, Regelung,...
  - Komponente wird in einer eigenen Bibliothek gespeichert
  - Komponente getestet → Regressionen verhindern
  
- Die Aufteilung in mehrere Dateien ermöglicht den Entwicklern parallel zu arbeiten
  
- Wir verwenden Busobjekte, um mit dem hierarchischen Simulationsaufbau einfach arbeiten zu können
  
- Die Parametrierung erfolgt über Strukturen → die Parameter sind für die Simulation optimiert
  
- Ziel ist die Verwendung der Maschinenparameter-Datenbank (gleiche Parameter an der Maschine und im Simulationsmodell)
  
- Versionierung über SVN: abspeichern der Simulink-Dateien im .mdl Format





# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Biegeprozess Positionsverlauf

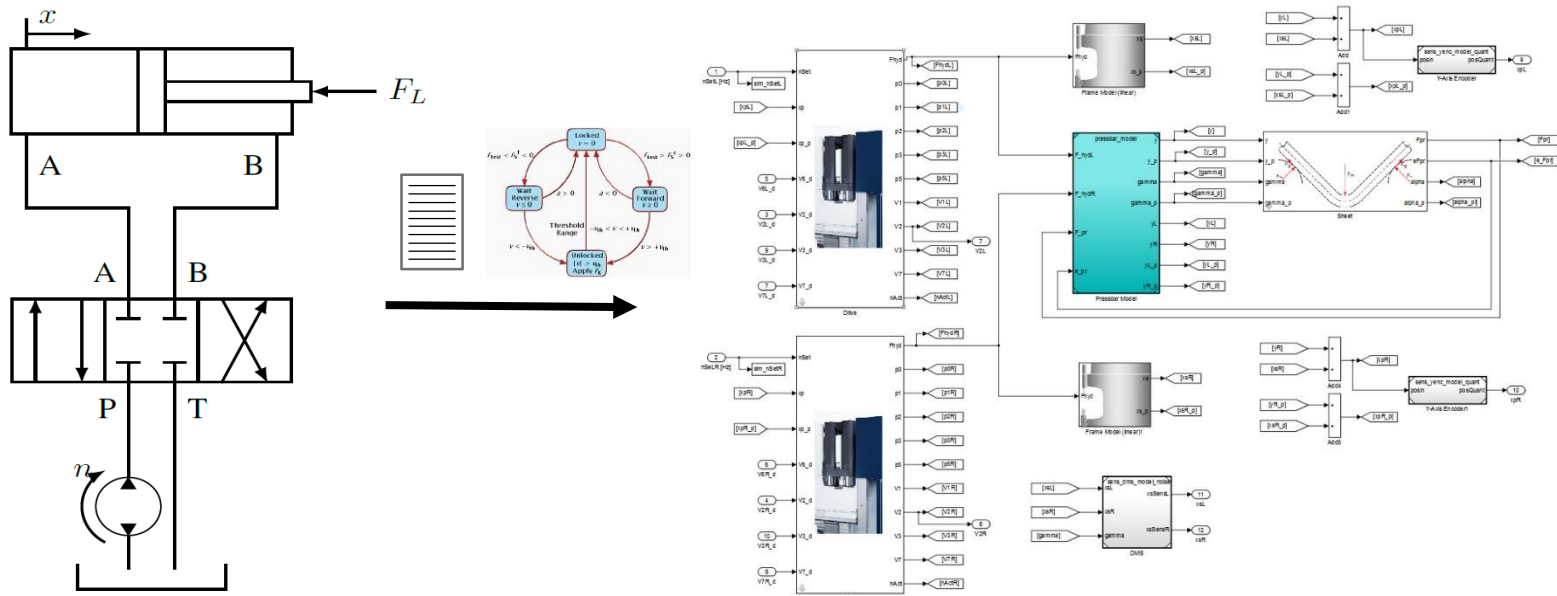


- Eilab: 220 mm/s
- Umschaltvorgang Ventile
- Pressgang: 10-25 mm/s
- Umschaltvorgang
- Dekompression: 10 mm/s
- Umschaltvorgang
- Eilauf: 220 mm/s

# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

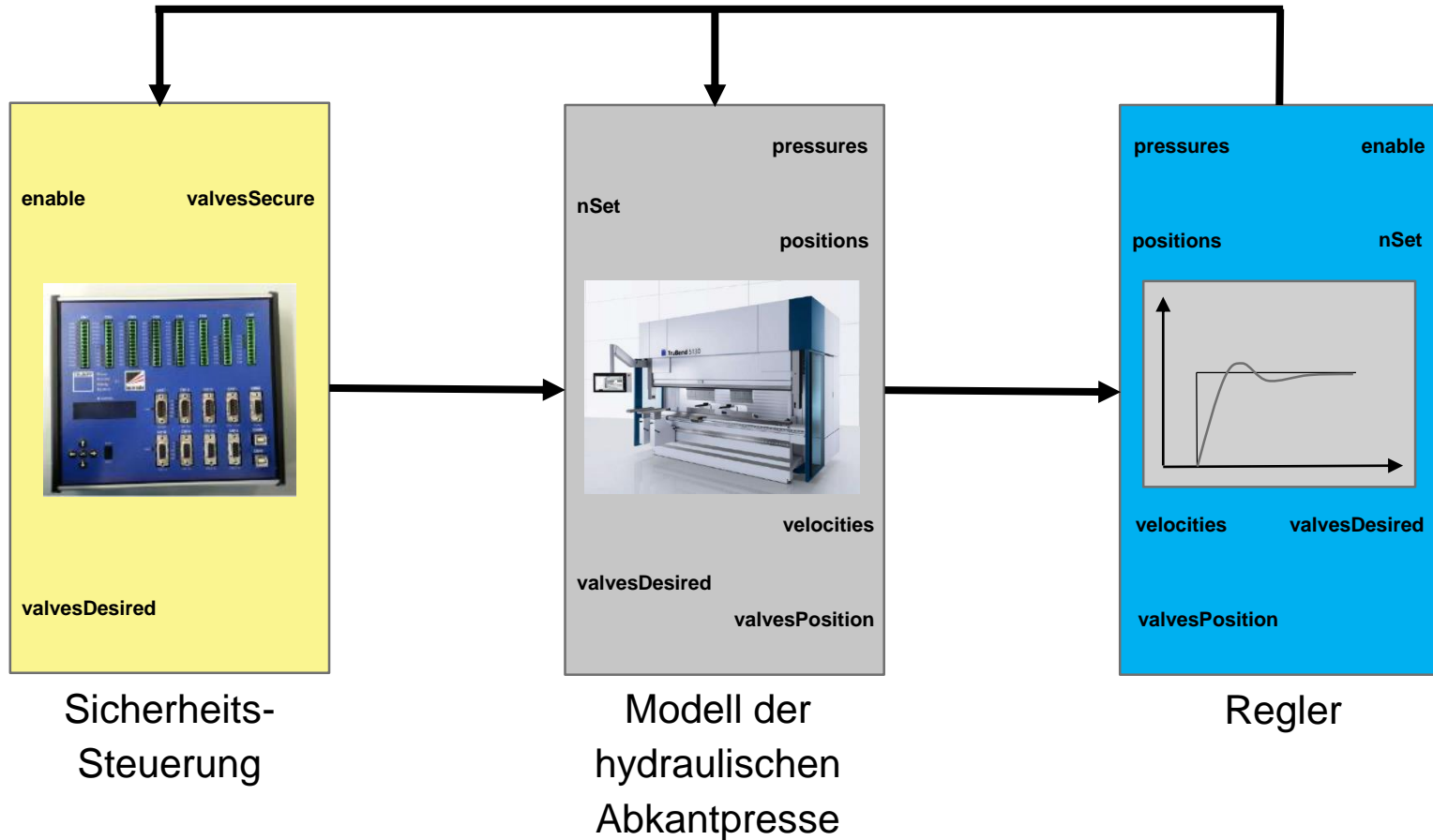
## Vorgehensweise

- Auf Basis des Hydraulikplans, unter Berücksichtigung der Datenblätter (Ventile, Pumpe, ...), wird das dynamische System (Differentialgleichungen) und die Ablaufsteuerung der Presse erstellt
- Auf Basis des Simulationsmodells in MATLAB/Simulink wird ein Regler zur Inbetriebnahme für den Eil- und Pressgang erstellt



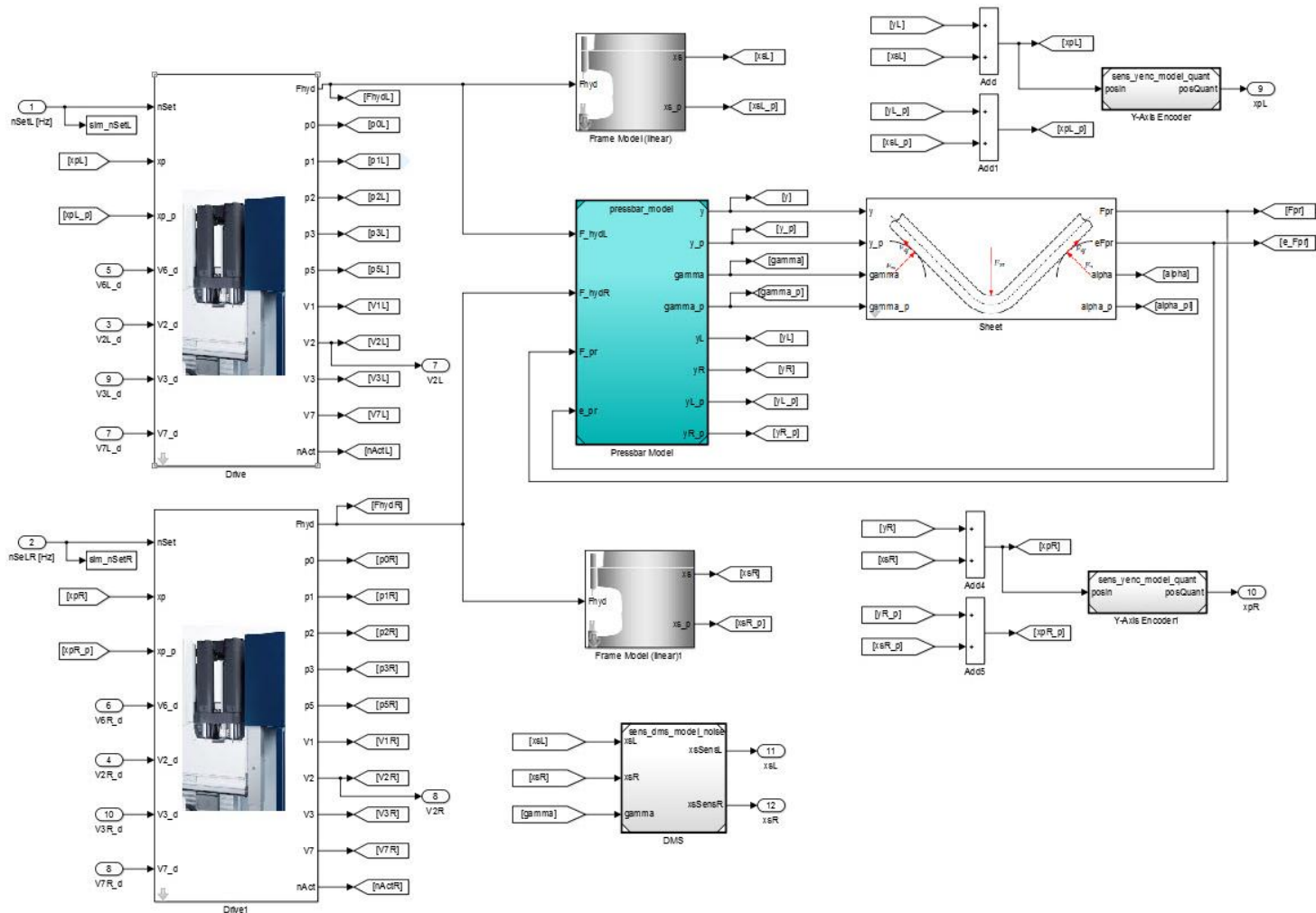
# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Simulationsmodell in MATLAB/Simulink



# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Komponentenmodell der hydraulischen Abkantpresse



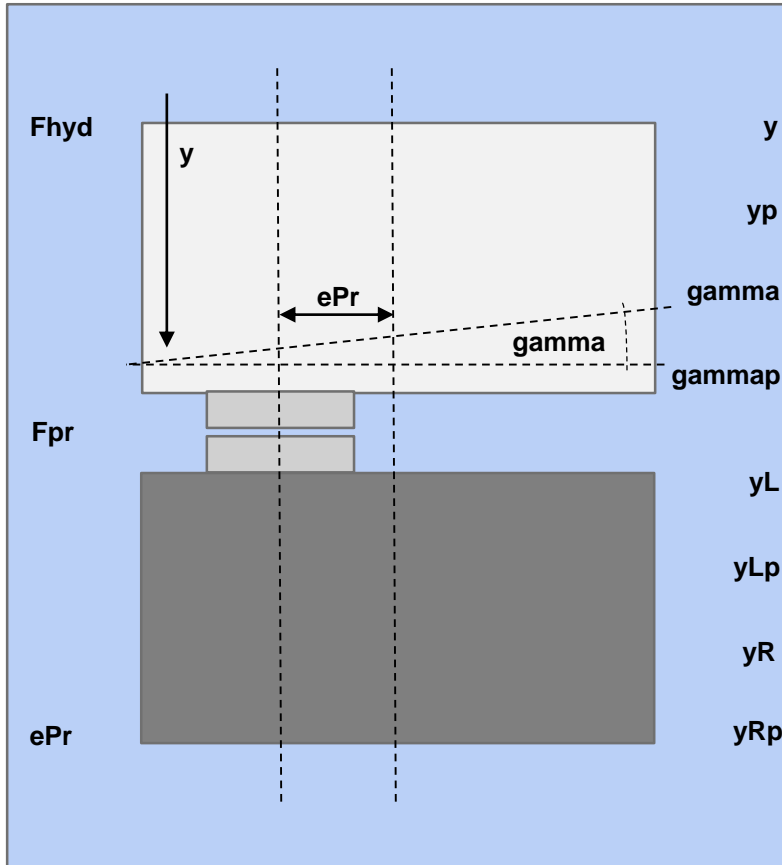
# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Hydraulikantrieb

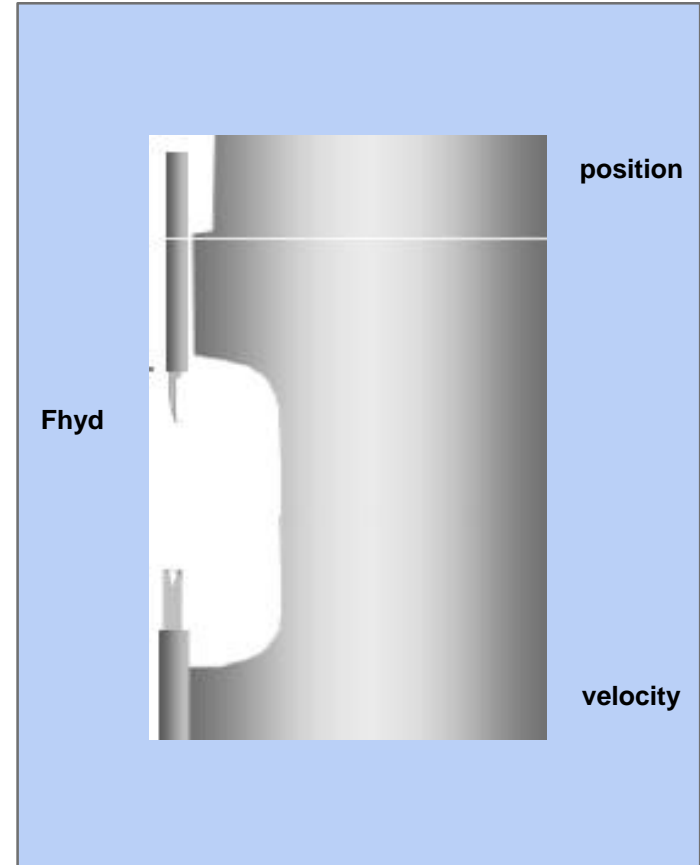


# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Mechanische Teilsysteme



Pressbalkenmodell

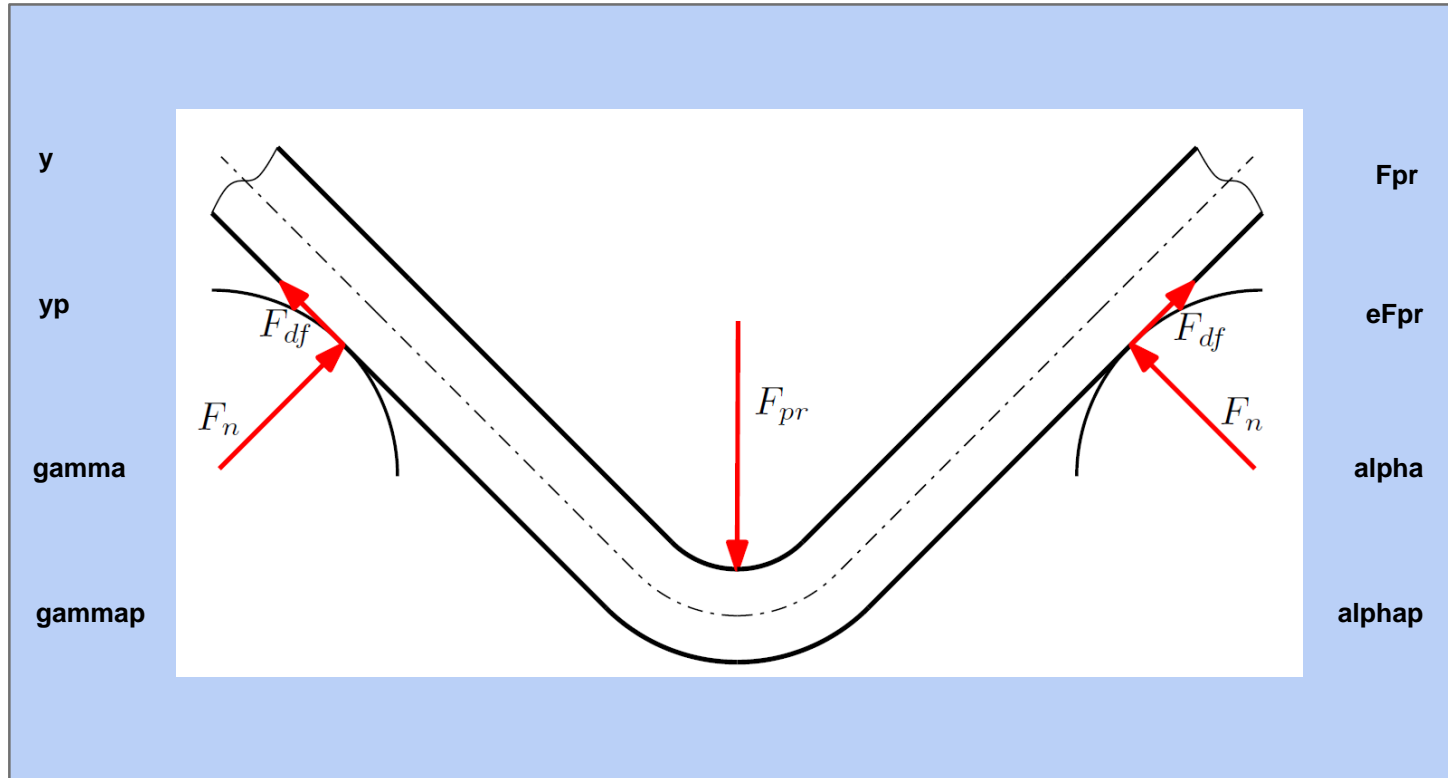


Ständerauffederung



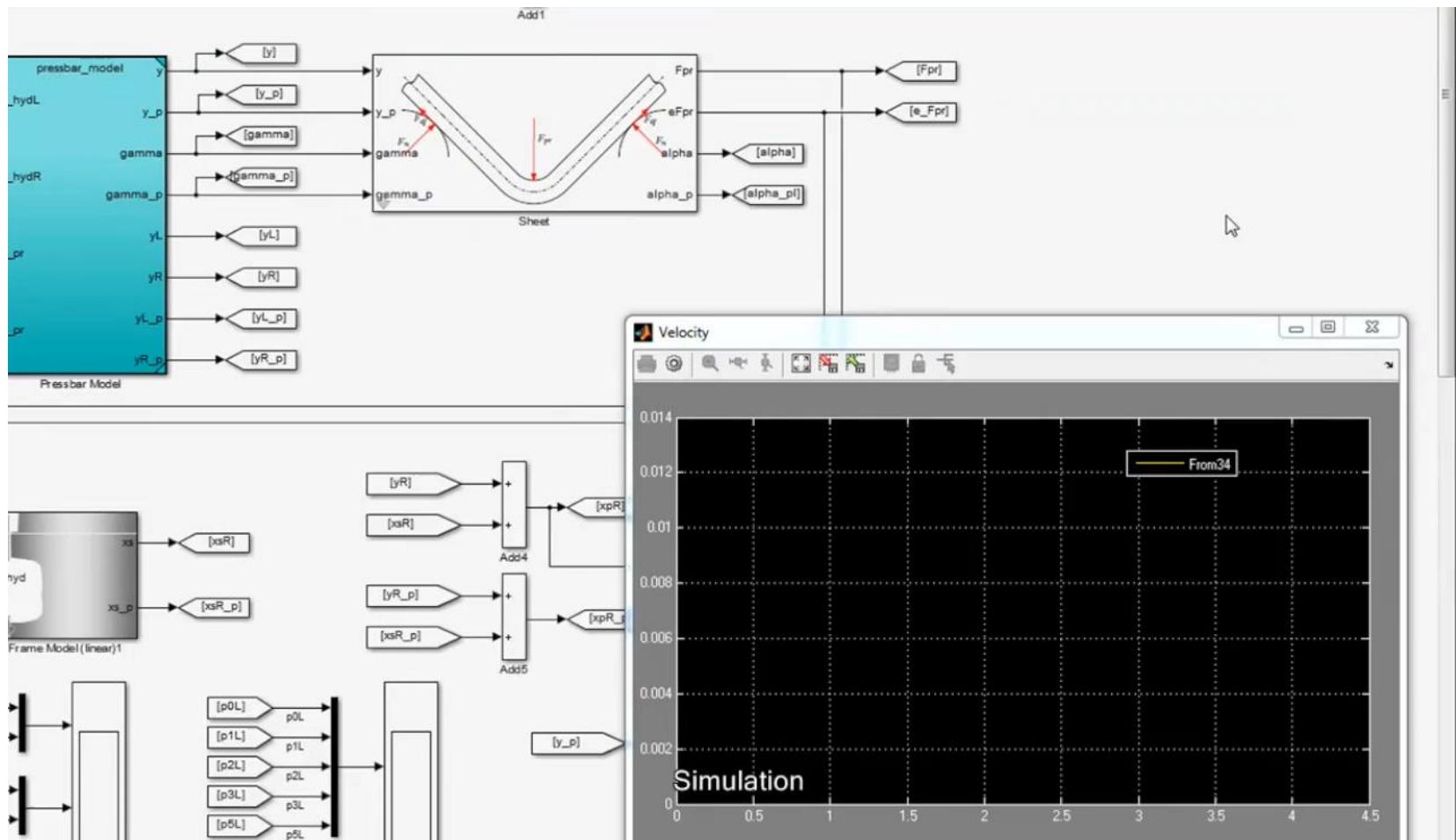
# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Blechmodell



# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Simulation – Vergleich mit Messdaten der Maschine



# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

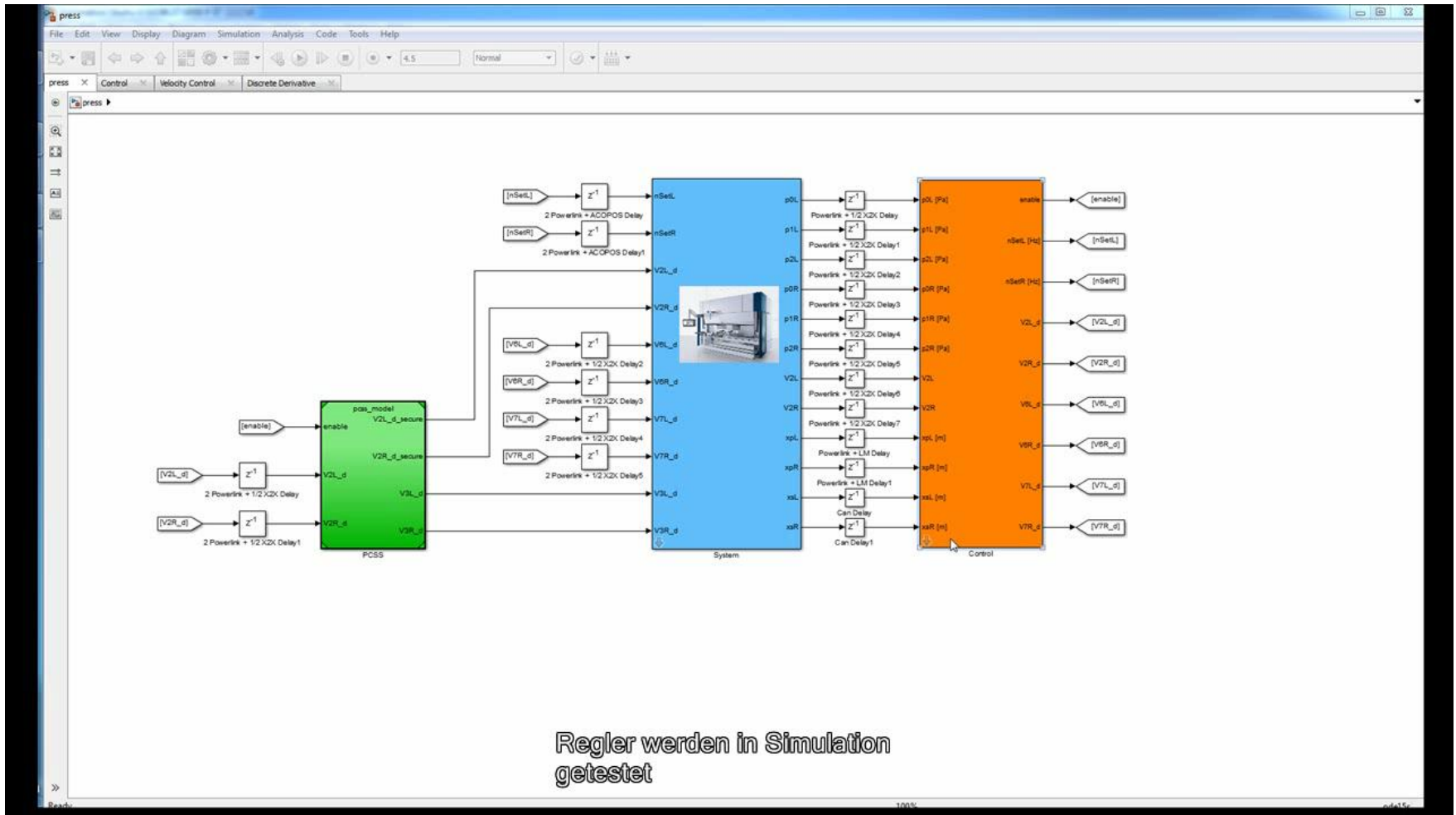
---

## Vorgehensweise

- Auf Basis des Hydraulikplans, unter Berücksichtigung der Datenblätter (Ventile, Pumpe, ...), wird das dynamische System (Differentialgleichungen) und die Ablaufsteuerung der Presse erstellt
- Auf Basis des Simulationsmodells in MATLAB/Simulink wird ein Regler zur Inbetriebnahme für den Eil- und Pressgang erstellt
- Ziel ist es in Zukunft vom Lieferanten getestete Simulationsmodelle für die Komponenten in MATLAB/Simulink zu erhalten
- Der Regler kann über die Simulink-Toolbox ASTarget4Simulink von B&R in das Automation Studio übernommen und als Funktionsblock in der Steuerung verwendet werden

# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

## Codegenerierung für B&R Automation Studio



# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

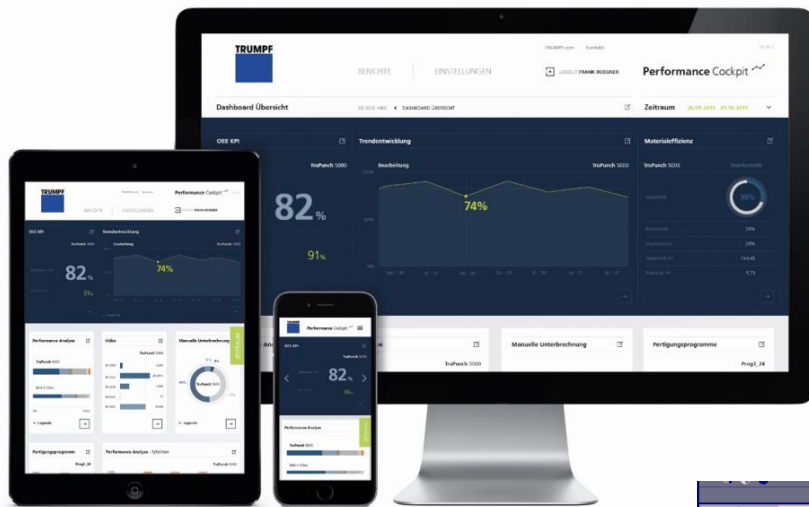
---

## Vorgehensweise

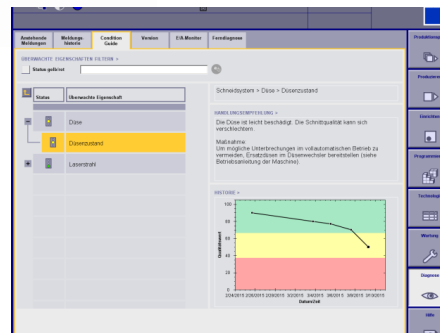
- Auf Basis des Hydraulikplans, unter Berücksichtigung der Datenblätter (Ventile, Pumpe, ...), wird das dynamische System (Differentialgleichungen) und die Ablaufsteuerung der Presse erstellt
- Auf Basis des Simulationsmodells in MATLAB/Simulink wird ein Regler zur Inbetriebnahme für den Eil- und Pressgang erstellt
- Ziel ist es in Zukunft vom Lieferanten getestete Simulationsmodelle für die Komponenten in MATLAB/Simulink zu erhalten
- Der Regler kann über die Simulink-Toolbox ASTarget4Simulink von B&R in das Automation Studio übernommen und als Funktionsblock in der Steuerung verwendet werden
- Messdaten zur Abstimmung des Simulationsmodells generieren
- Auslegung des finalen Reglers

# Industrie 4.0 Aktivitäten bei TRUMPF

## Aktuelle Beispiele: Performance Cockpit und Condition Guide



➔ Performance Cockpit:  
 Volle Transparenz über die Produktivität der Maschinen, Kennzahlen zur Identifikation von Optimierungspotenzial.



➔ Condition Guide:  
 Maschinenzustand immer im Blick, Diagramme zur Abschätzung von Handlungsbedarf. Vorbeugende Wartung, Erhöhung der Maschinen-Verfügbarkeit.



# Predictive Analytics

Fehleranalyse, Fehlerdiagnose, Fehlervorhersage



# Entwicklung mit MATLAB/Simulink am Beispiel der TruBend5000

---

## Zusammenfassung

1. Bei der Entwicklung von Regelungsalgorithmen für unsere Pressen nutzen wir MATLAB/Simulink: „Rapid Controller Prototyping“
  - a. Aufbau Systemverständnis
  - b. Schnelle Umsetzung neuer Regelungsalgorithmen
  - c. Verringerung der Maschinenzeiten
  - d. Verringerung der Entwicklungszeiten
  
2. Der gezeigte Ablauf wird durch die Anbindung von Automation Studio an MATLAB/Simulink unterstützt
  - Codegenerierung hilft uns simulierte Prototypen einfach und schnell auf realen Maschinen zu testen
  
3. Das Simulationsmodell inklusive Regler ist die Basis für Untersuchungen im Bereich Predictive Maintenance
  - a. Fehlerunterstellungen (Ventilfehler, Sensorfehler,...)
  - b. Untersuchung von Methoden zur Fehlerdetektion



# **VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT**

**Martin Bruckner, Leitung Sensorik und Regelungstechnik  
Pasching, 27.06.2017**