



Patrick Metzler

Hochschule RheinMain

Low Cost Mitbaustrecke für weltweiten Onlinekurs

Vortrag auf der Matlab Expo am 10. Mai 2016



# Überblick

- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- Software
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele
- Zusammenfassung



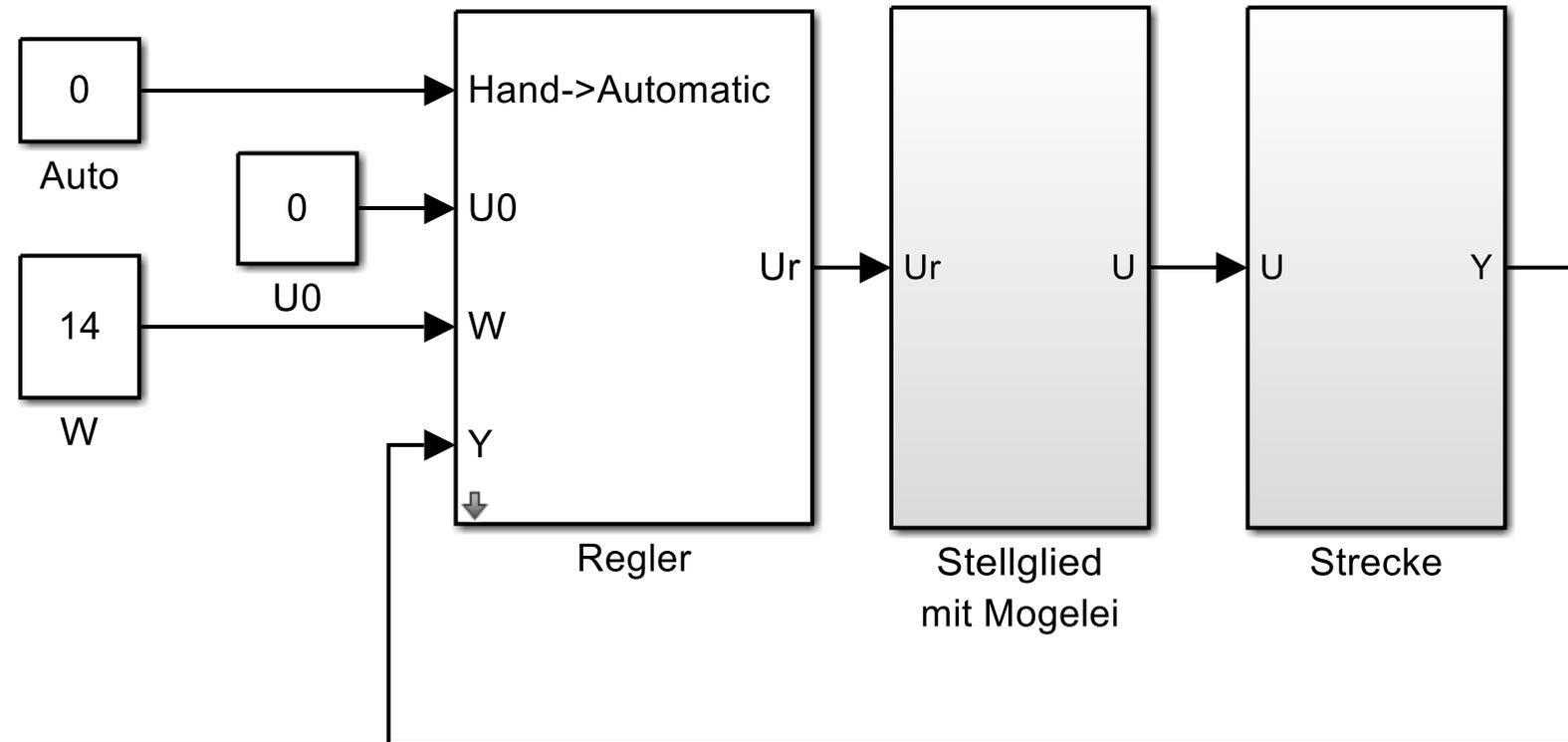
# Aufgabenstellung





# Aufgabenstellung -> keine Tricks

- “Echte Dynamik” keine “Trickelektronik”





## Aufgabenstellung

- “Echte Dynamik” keine “Trickelektronik”
- Sehen, Hören, Fühlen
- Bewegung
- Motivierung durch Besitz einer eigenen Strecke
  - Die Strecke soll weniger als 15 Euro kosten.
  - Die Materialien sollen weltweit verfügbar sein.
  - Die Strecke soll einfach und eindeutig reproduzierbar sein.
  - Probleme sollen per Ferndiagnose lösbar sein.
- Die Strecke soll für Ziegler Nichols geeignet sein.
- Es soll einfach zwischen stabilem und instabilem Verhalten gewechselt werden können.



# Überblick

- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- Software
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele
- Zusammenfassung



## Konzept -> Hardware

Sensor:

PC mit Simulink und Webcam

Optional:

USB-Hub zur einfacheren Verkabelung

Stellglied:

Experimentierplatine mit Schalttransistor

Regler:

PC mit Simulink und Arduino (Mega oder Uno)

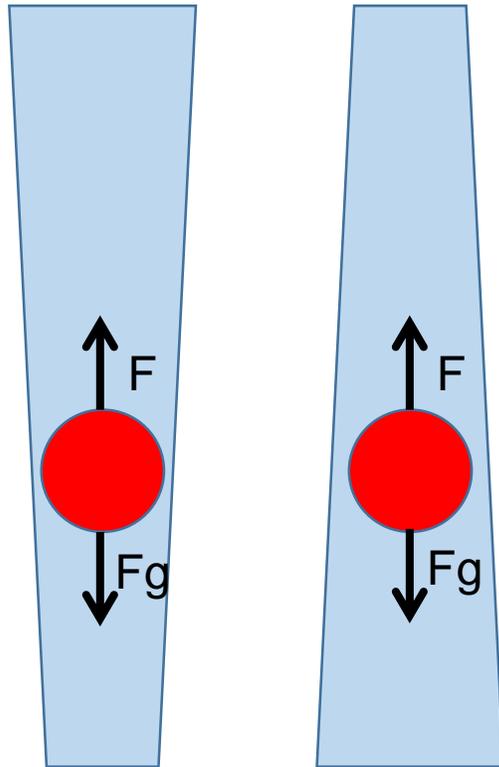


Konisches Rohr und Tischtennisball

Gebläse eines Haartrockners



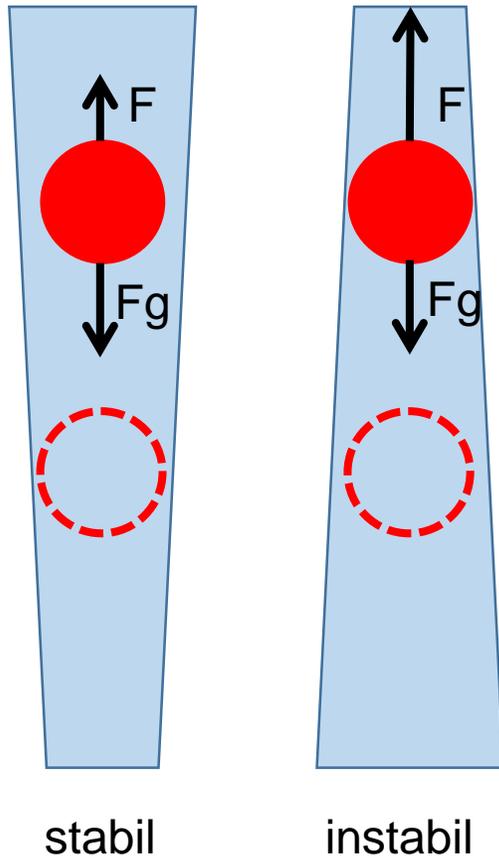
## Konzept -> stabil, instabil



Im Gleichgewichtszustand kompensiert die Strömungskraft  $F$  die Gewichtskraft  $F_g$



# Konzept -> stabil, instabil -> Reaktion auf Auslenkung



Durch Drehen des Rohres kann von stabiler zu instabiler Strecke gewechselt werden.



# Konzept -> Video

10 Introduction

Why is it impossible to find a fixed setting of the fan to keep the ball floating somewhere in the middle of the tube?

Question 11 - Single Choice - Attempts: 0

- The fan is not blowing constantly, so the ball will oscillate around the desired position.
- The tube is at the bottom wider than at the top. Therefore, the higher the ball rises the larger is the force pushing the ball upward because the wind speed is larger in higher areas of the tube. Therefore there is no fixed setpoint to keep the ball in the middle, the setting of the fan has to be adapted constantly.
- Nonsense. It is possible to find a single setpoint to keep the ball floating in the middle of the tube!

Exercises Additional Materials References Related Discussions

Additional Materials

- Mathworks-Webpage to download Matlab / Simulink for this MOOC  
 Mathworks provides a license for the tools Matlab / Simulink to be used in this MOOC. Further information can be found at the URL <https://www.mathworks.com/licenscenter/classroom/msus/>  
 There you can also download the tools.
- Nikola Trica: Links to the Mathworks Tutorials used in this course

Page: 1 of 2 Page Fit

MathWorks | Training Services



## Konzept -> Video



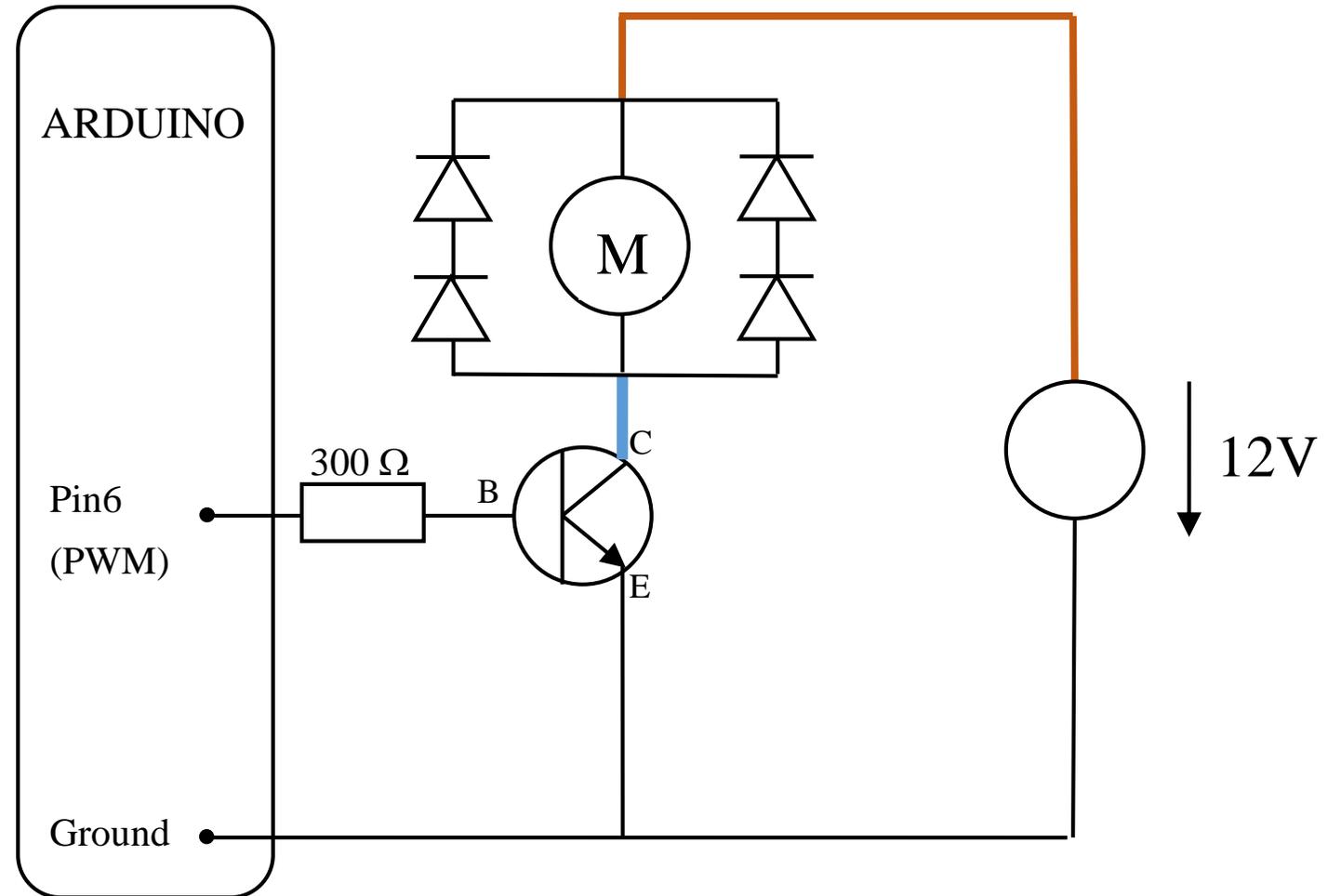


# Überblick

- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- Software
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele
- Zusammenfassung



# Hardware



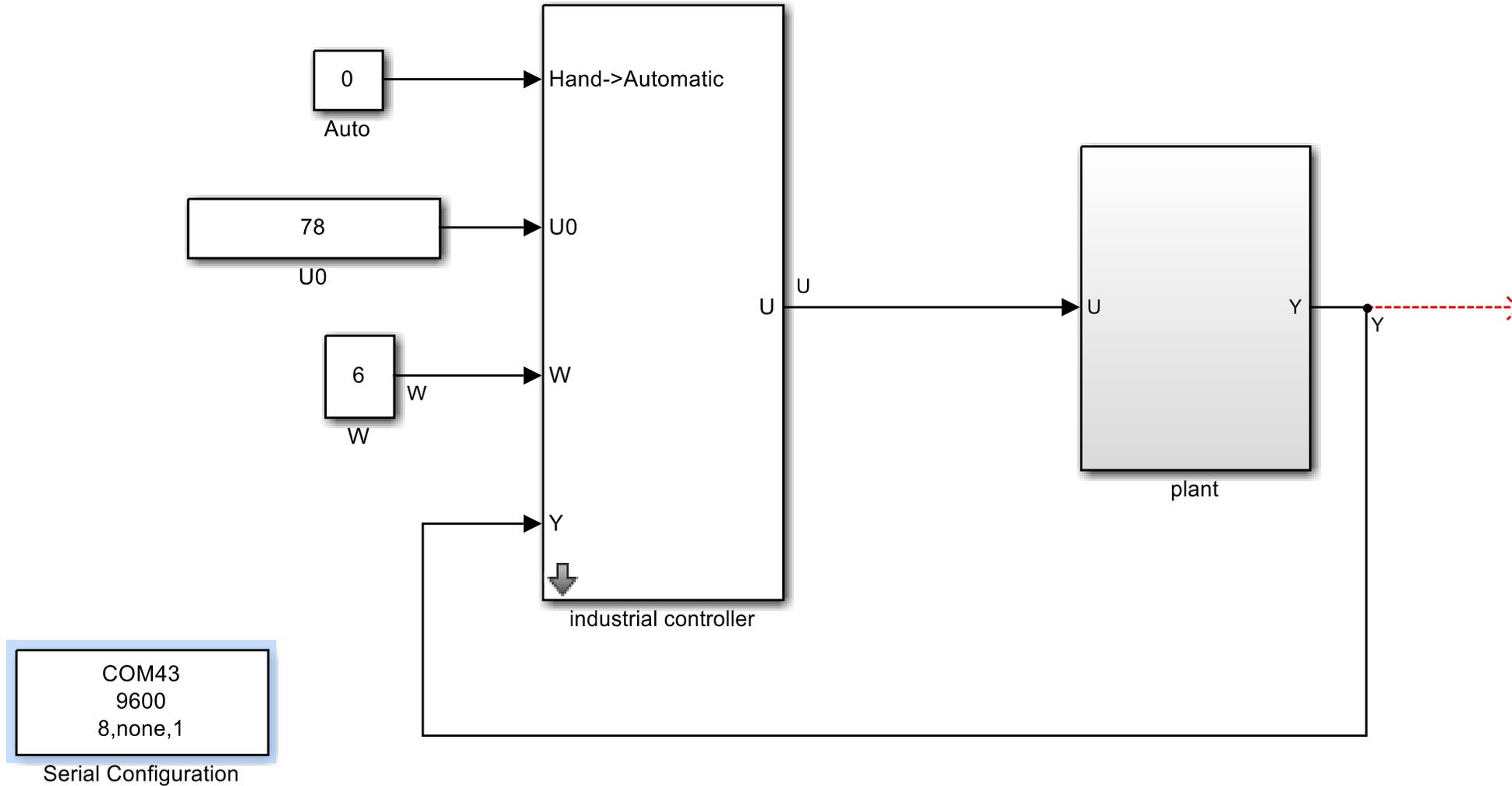


# Überblick

- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- **Software**
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele
- Zusammenfassung

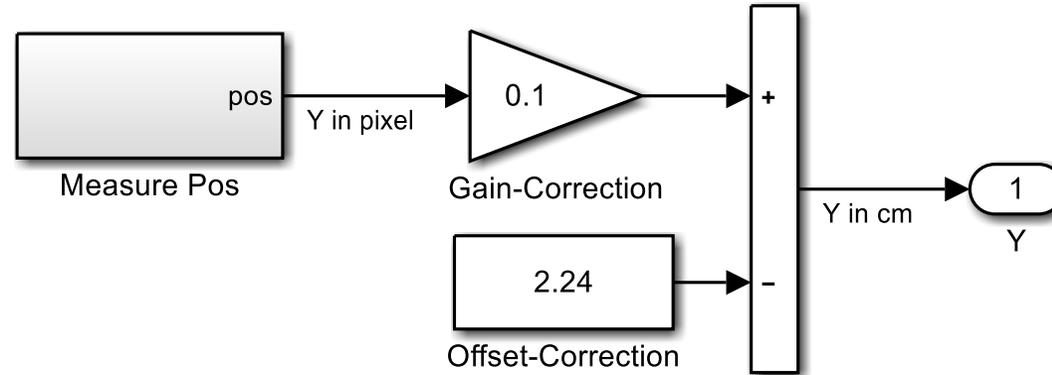
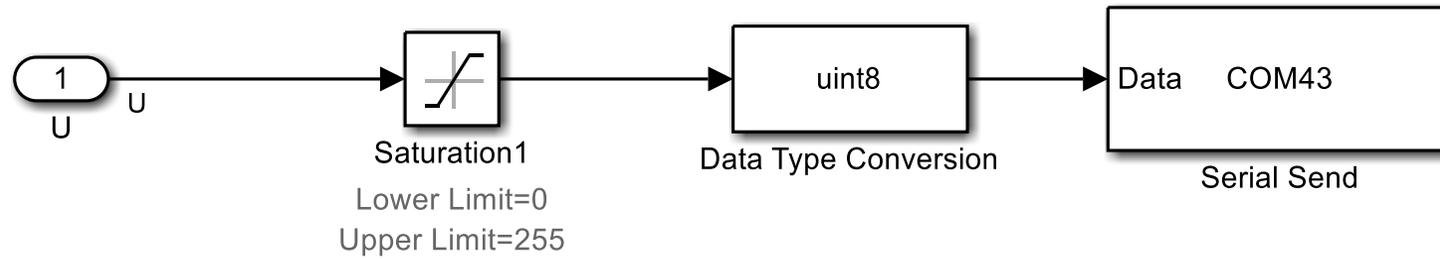


# Software -> Gesamtmodell



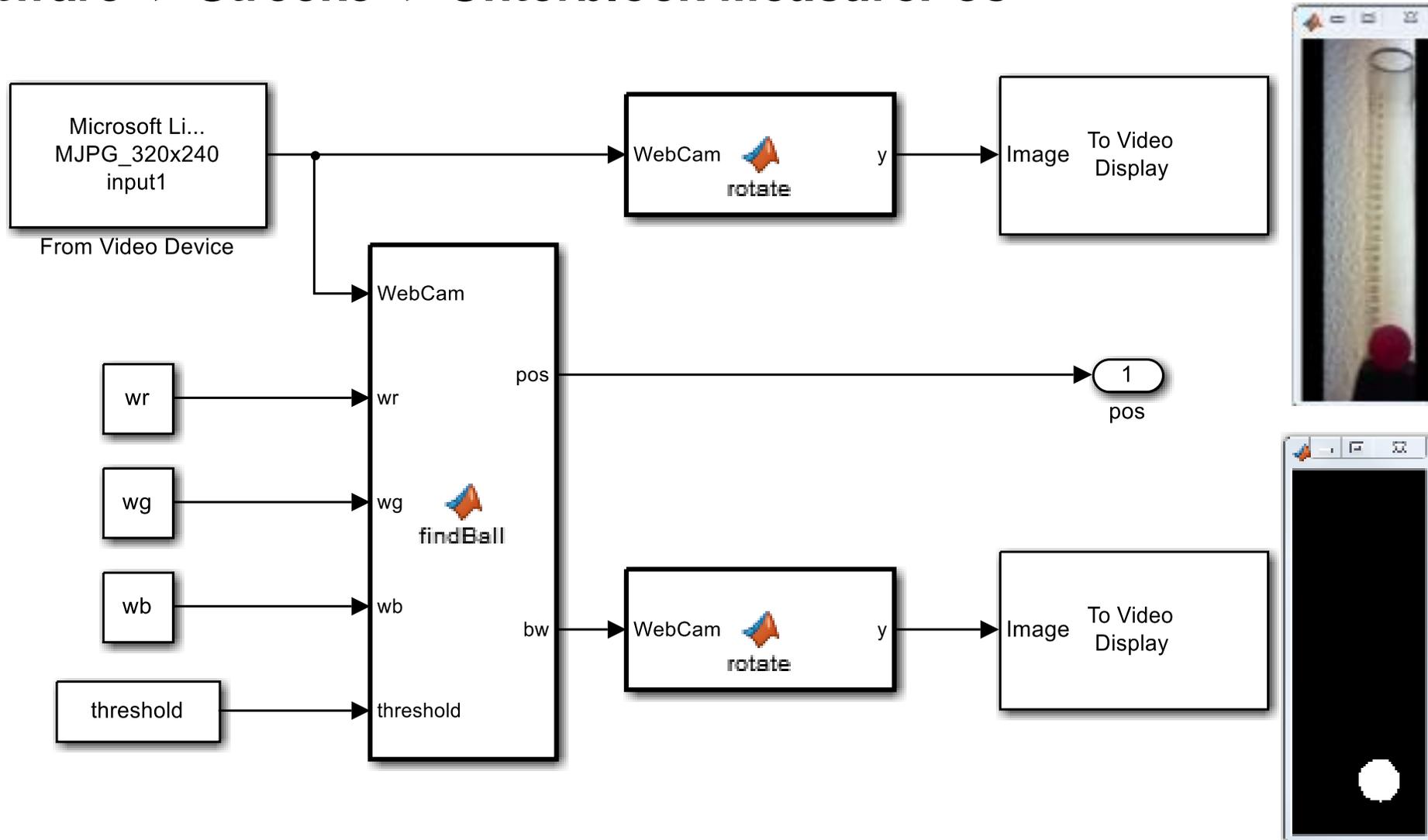


# Software -> Strecke



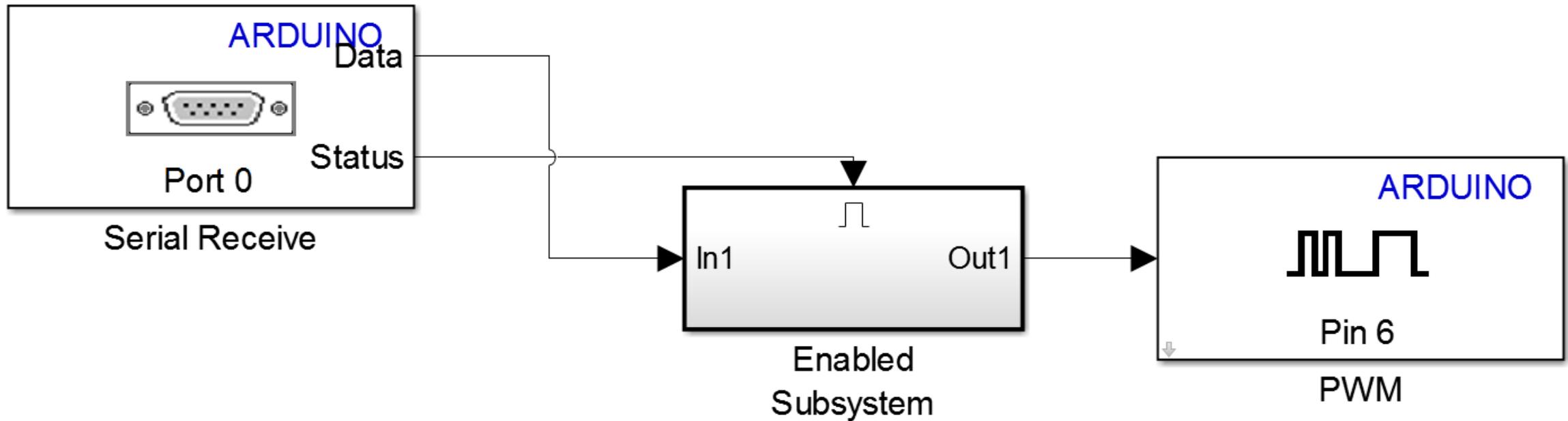


# Software -> Strecke -> Unterblock *MeasurePos*





# Software -> Modell auf Arduino





## Software -> Tools

Tool	Bemerkung
Matlab	Notwendig
Simulink	Notwendig
Image Acquisition	Notwendig zum Einlesen der Webcam
Arduino Support Package	Notwendig für Arduino, kostenlos
Instrument Control Toolbox	Nützlich für USB-Kommunikation
Computer Vision Toolbox	Nützlich zum Anzeigen der WebCam Bilder Nützlich zum Drehen der WebCam Bilder

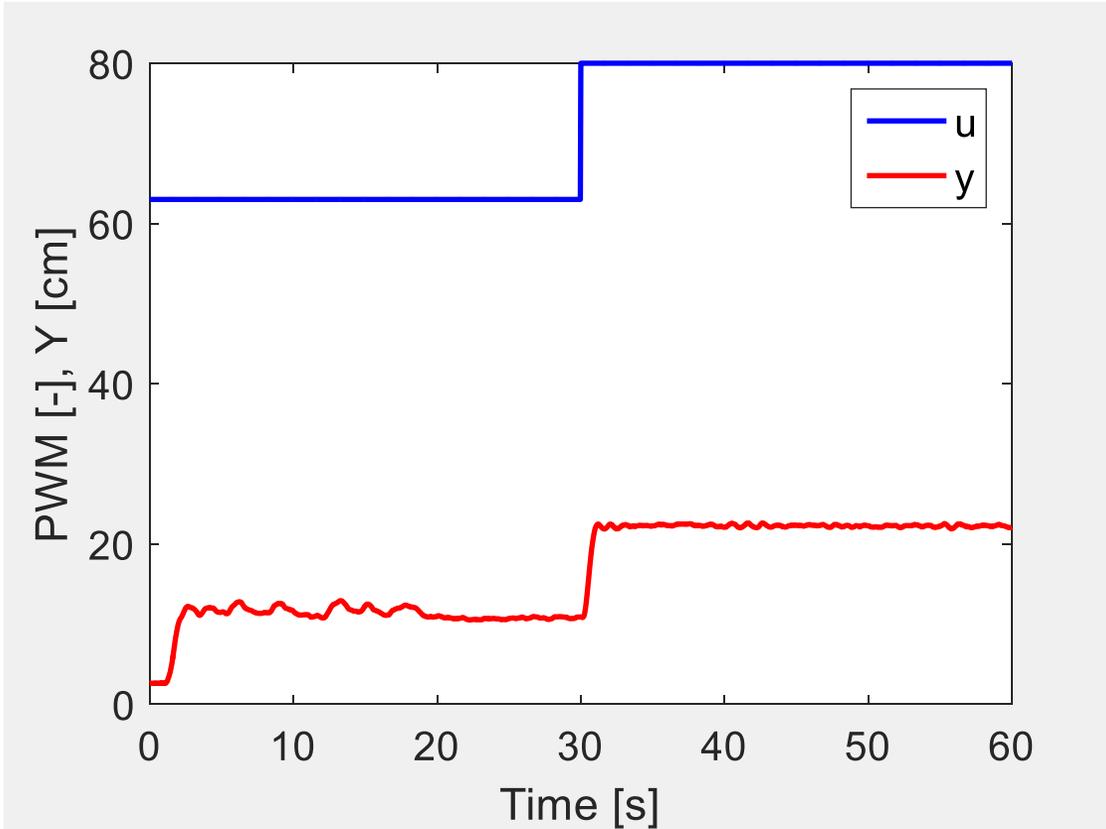


# Überblick

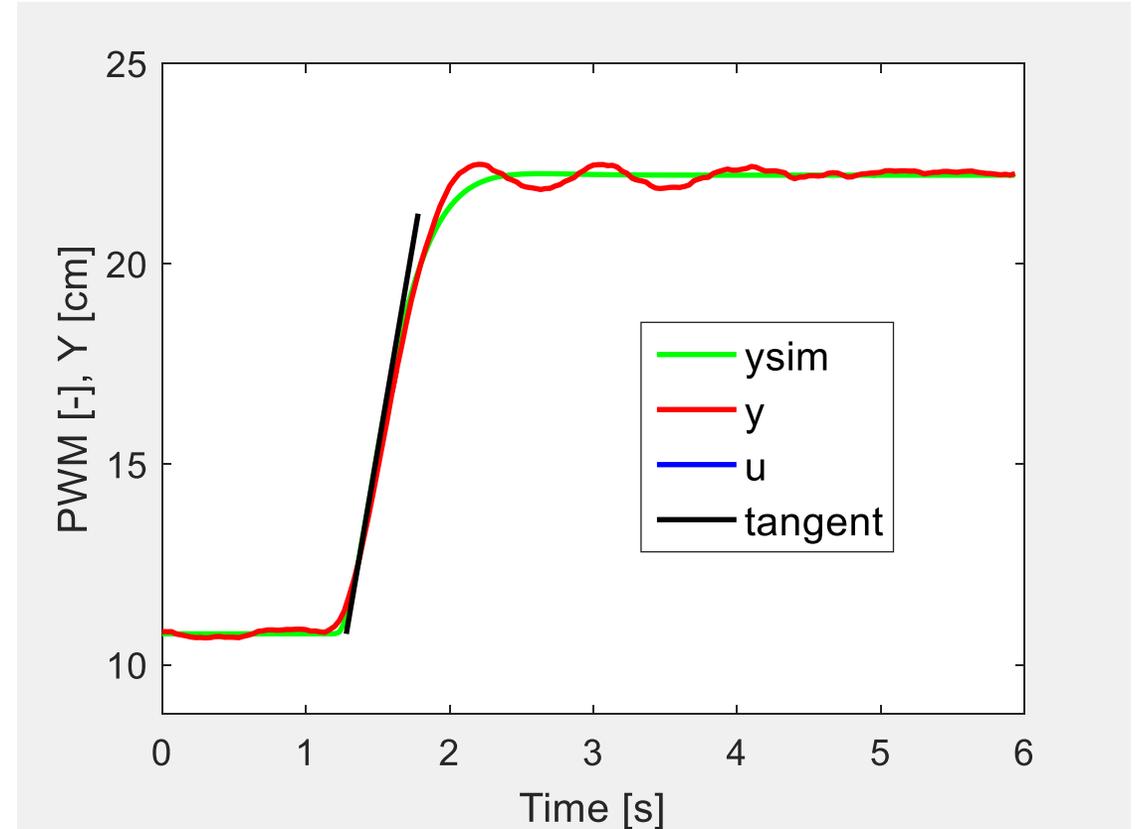
- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- Software
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele von Studenten
- Zusammenfassung



# Identifikation und Regelung der stabilen Strecke -> Übersicht



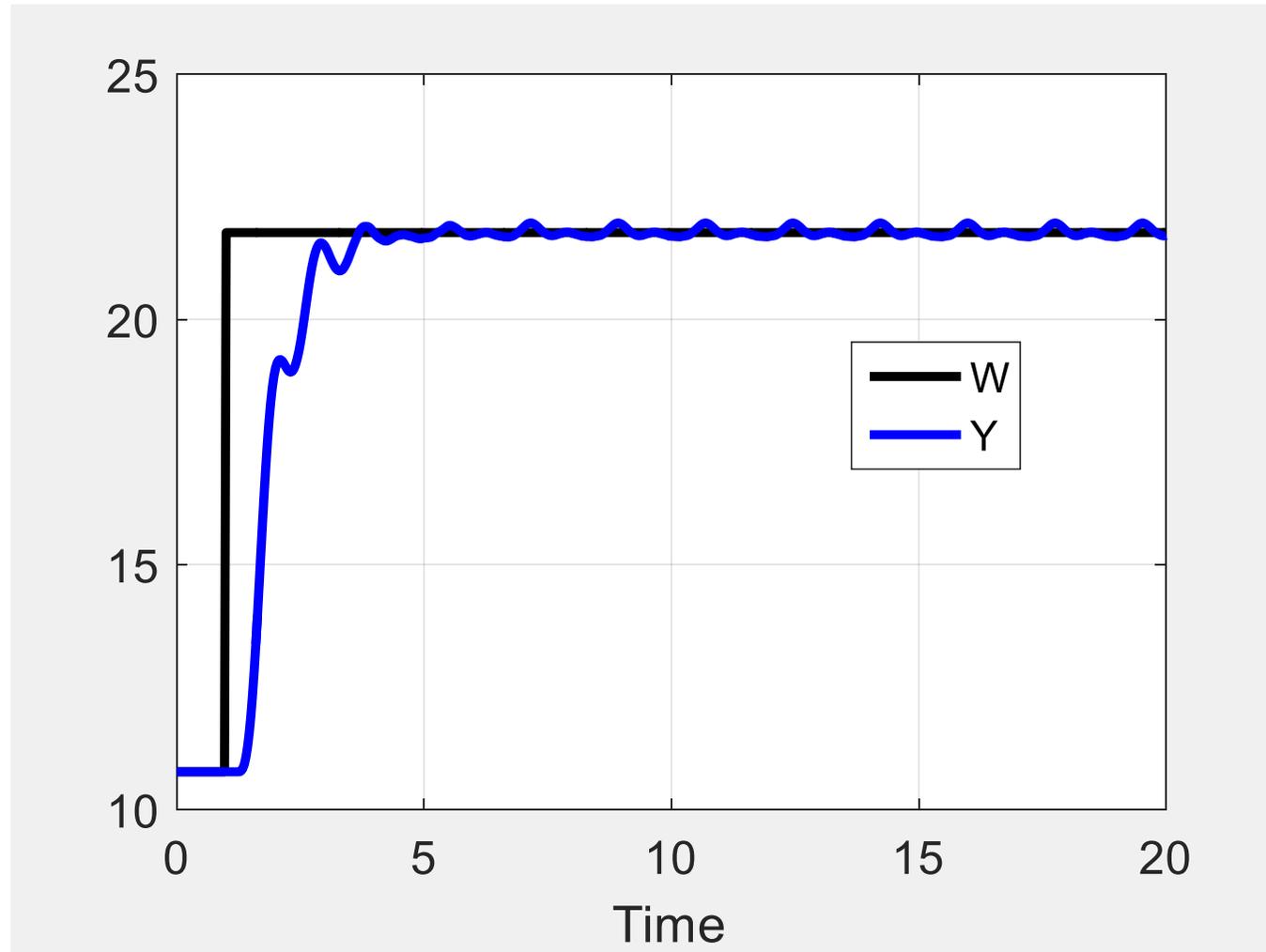
$U_0=63$   
 $Y_0=10.77$



plant = 0.0584 0.4719 0.0155 52.4964  
 controller = 3.0097 4.6009 0.4922



# Identifikation und Regelung der stabilen Strecke -> Sprungantwort des Regelkreises



$k_{pr} = 3.0097$

$k_{ir} = 4.6009$

$k_{dr} = 0.4922$



# Identifikation und Regelung der stabilen Strecke -> Modellierung

## Bewegungsgleichung des Balls

$$m \cdot \ddot{Y} + D \cdot \dot{Y} = F - Fg$$

## Statische Abhängigkeit der Strömungskraft F von U und Y

$$F = U \cdot (k1 - k2 \cdot Y)$$

## Dynamische Version

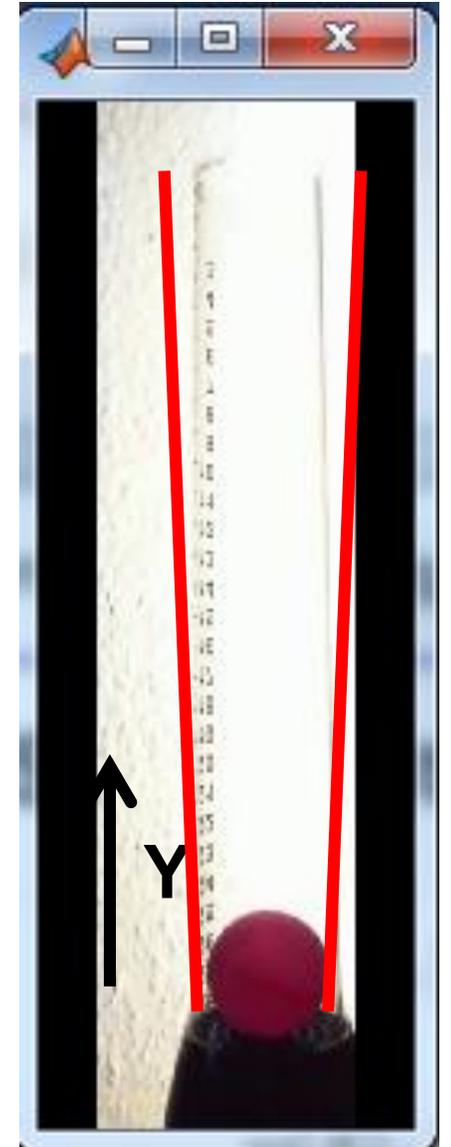
$$F = U(t - T) \cdot (k1 - k2 \cdot Y)$$

## Erste und dritte Gleichung zusammen:

$$m \cdot \ddot{Y} + D \cdot \dot{Y} + U(t - T) \cdot k2 \cdot Y + Fg = k1 \cdot U(t - T)$$

## Dimensionslose Koeffizienten

$$p(1) \cdot \ddot{Y} + p(2) \cdot \dot{Y} + p(3) \cdot Y \cdot U(t - T) + p(4) = U(t - T)$$





# Überblick

- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- Software
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele von Studenten
- Zusammenfassung



# Identifikation und Regelung der instabilen Strecke -> Umwandlung des Modells der stabilen Strecke in ein Modell der instabilen Strecke

$$p(1) \cdot \ddot{Y} + p(2) \cdot \dot{Y} + p(3) \cdot Y \cdot U(t - T) + p(4) = U(t - T)$$



# Identifikation und Regelung der instabilen Strecke -> Umwandlung des Modells der stabilen Strecke in ein Modell der instabilen Strecke

	Höhe ab Gitter	Skala Stabil	Skala Instabil
Niedrigster Punkt	2.5	2.5	26.5
Höchster Punkt	26.5	26.5	2.5

$$p(1) \cdot \ddot{Y} + p(2) \cdot \dot{Y} + p(3) \cdot Y \cdot U(t - T) + p(4) = U(t - T)$$





# Identifikation und Regelung der instabilen Strecke -> Umwandlung des Modells der stabilen Strecke in ein Modell der instabilen Strecke

	Höhe ab Gitter	Skala Stabil	Skala Instabil
Niedrigster Punkt	3	3	27
Höchster Punkt	27	27	3

$$p(1) \cdot \ddot{Y} + p(2) \cdot \dot{Y} + p(3) \cdot (29 - Y) \cdot U(t - T) + p(4) = U(t - T)$$





# Identifikation und Regelung der instabilen Strecke

## -> Video des Regelkreises





# Überblick

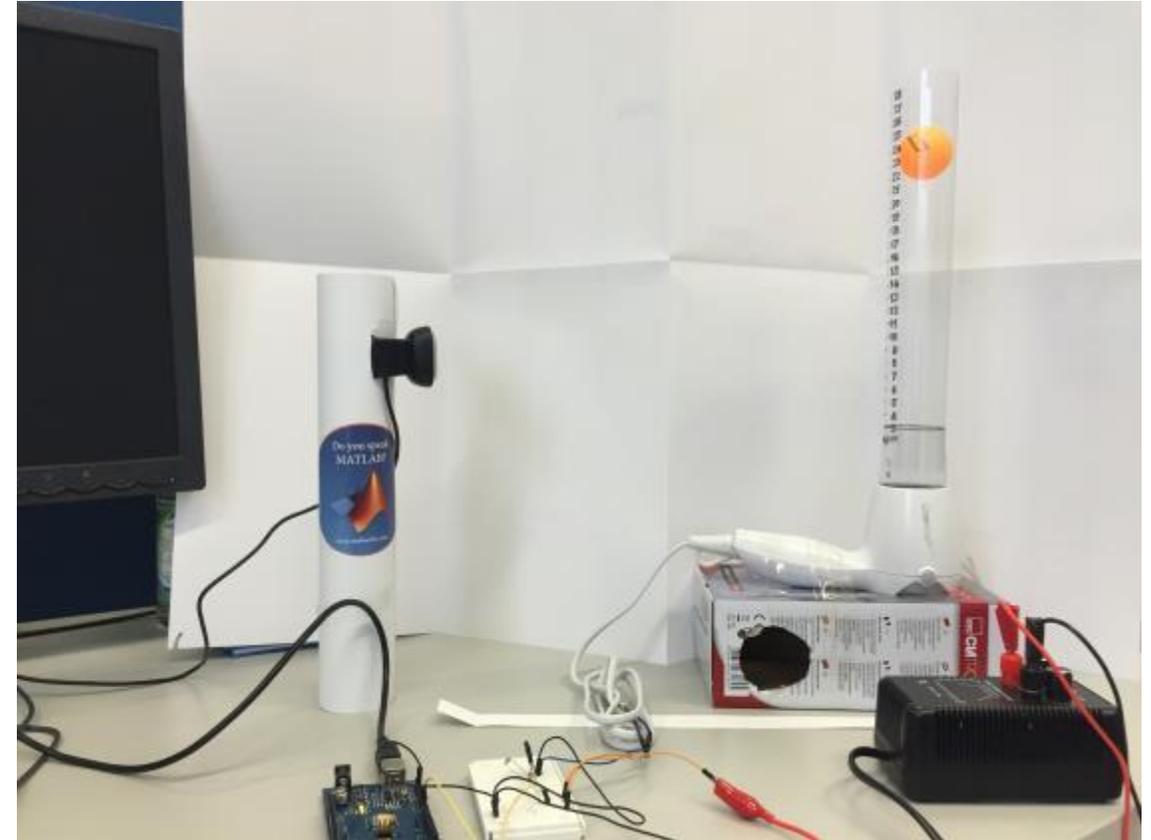
- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- Software
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele
- Zusammenfassung



## Ausführungsbeispiele



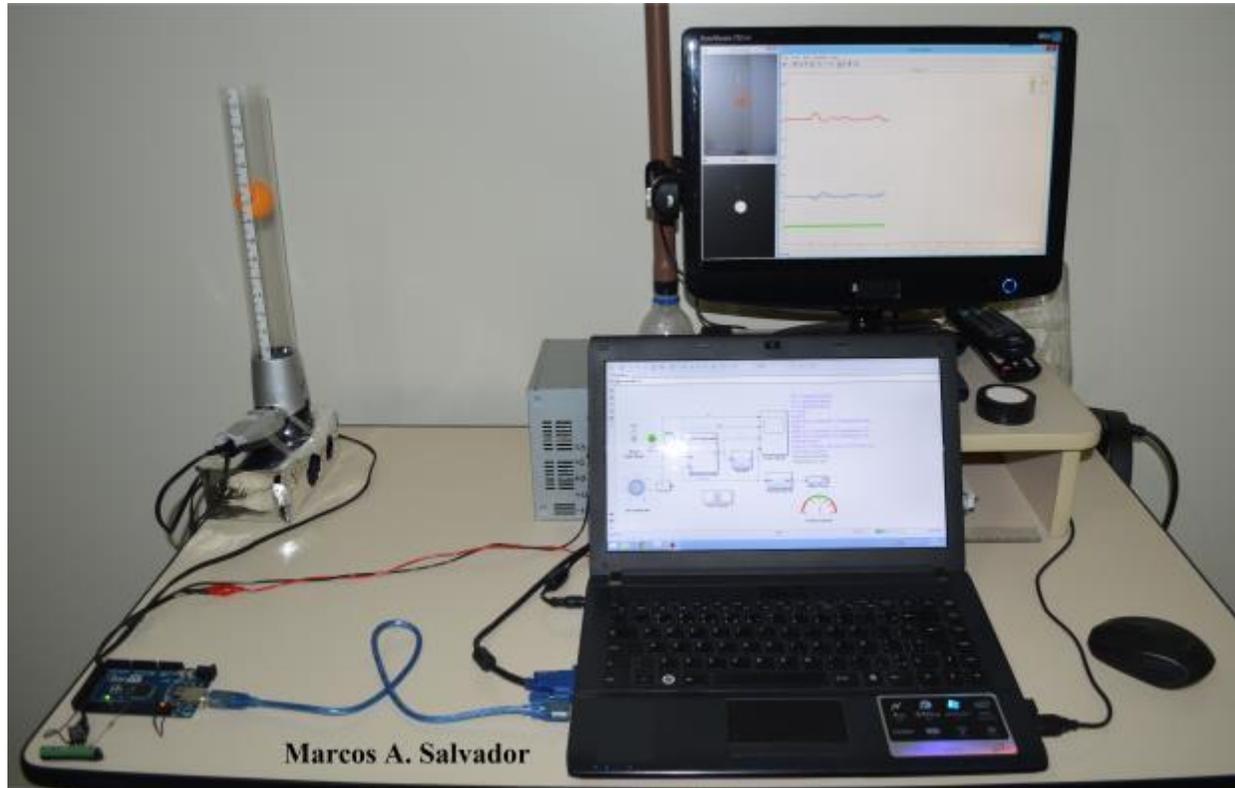
Mitbauvariante mit Originalkarton des Föhns und integrierter WebCam des Notebooks



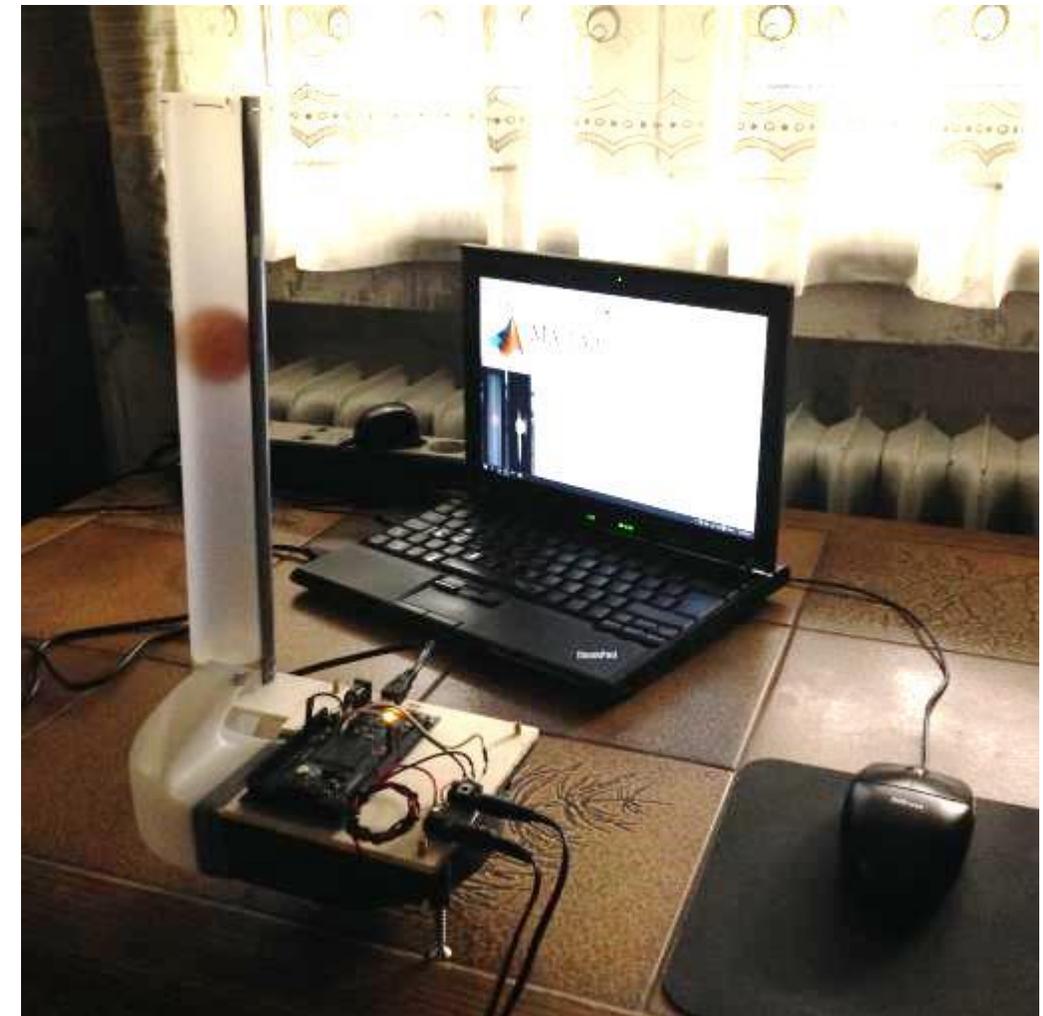
Aufbau mit von Nikola Trica



## Ausführungsbeispiele



Marcos A. Salvador



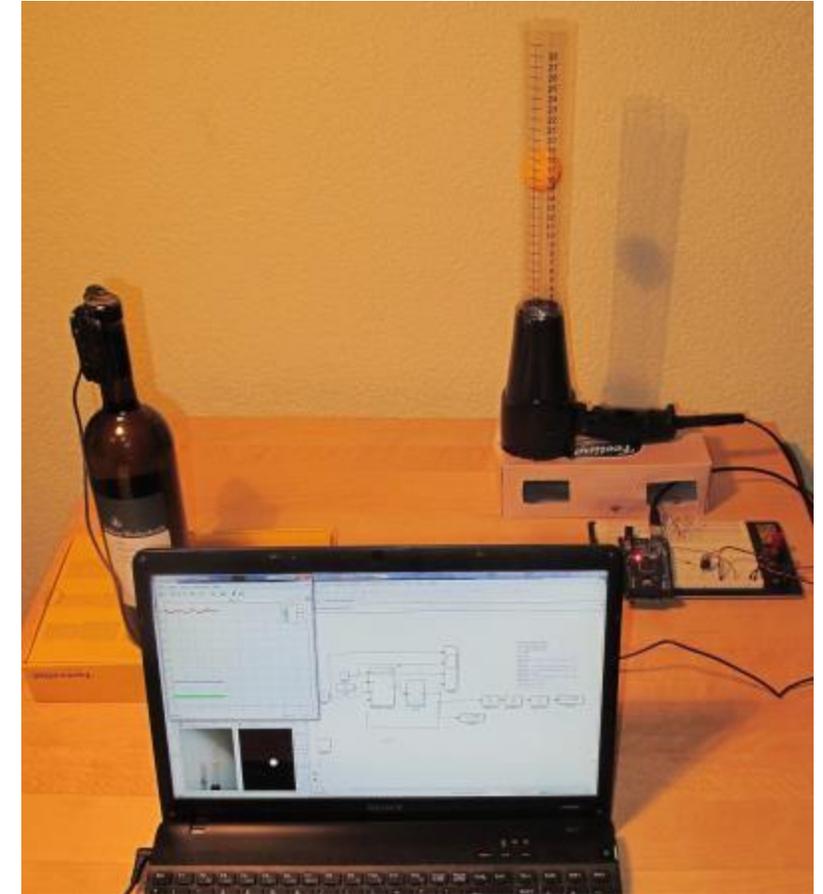
Robert Vaduva



## Ausführungsbeispiele



Stefano Adini



Christian Stopp

*On the one hand I think it is a pity that these great courses reached the end, on the other side I'm happy that I can enjoy now my camera mounting... ;-)*



# Überblick

- Aufgabenstellung
- Konzept
- Hardware
- Software
- Identifikation und Regelung der stabilen Strecke
- Identifikation und Regelung der instabilen Strecke
- Ausführungsbeispiele
- Zusammenfassung



## Zusammenfassung

- “Echte Dynamik” keine “Trickelektronik” ✓
- Sehen, Hören, Fühlen ✓
- Bewegung ✓
- Motivierung durch Besitz einer eigenen Strecke ✓
  - Die Strecke soll weniger als 15 Euro kosten. ✓
  - Die Materialien sollen weltweit verfügbar sein. ✓
  - Die Strecke soll einfach und eindeutig reproduzierbar sein. ✓
  - Probleme sollen per Ferndiagnose lösbar sein. ✓
- Die Strecke soll für Ziegler Nichols geeignet sein. ✓
- Es soll einfach zwischen stabilem und instabilem Verhalten gewechselt werden können. ✓



## Zusammenfassung

- Für die stabile Strecke wurde ein Modell direkt aus der Sprungantwort geschätzt.
- Das Modell für die stabile Strecke wurde per Koordinatentransformation  $Y \rightarrow 29-Y$  zu einem ersten Modell der instabilen Strecke
- Die Parameter dieses Modells wurden dann an das tatsächliche Sprungverhalten der instabilen Strecke angepasst.
- Aufgrund der guten Vorarbeit beim Modellieren der Strecken waren die Regelungen einfach zu realisieren.
- Die Mitbaustrecke hat sich im Einsatz, sowohl im Onlinekurs als auch in der Präsenzlehre, bewährt.