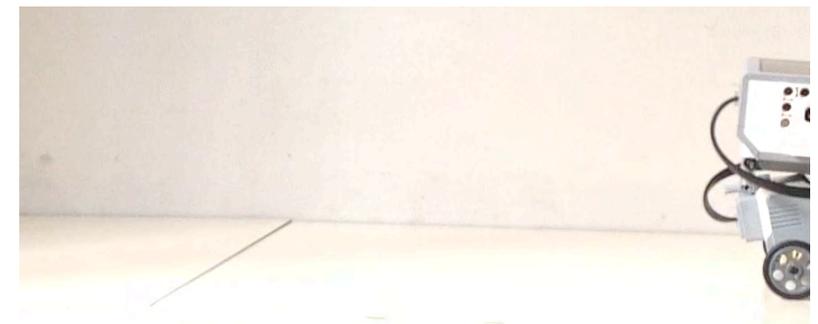


Projektierung mechatronischer Anlagen in der Hochschullehre am Beispiel von Labormodellen



Tobias Loose
tobias.loose@hs-heilbronn.de

1. Einleitung

- Klassische und projektbasierte Laborarbeiten

2. Methoden der mechatronischen Gesamtbetrachtung

- Beispiele von Industrie-Projektierungsschritten
- Industriebeispiele:
Geschwindigkeitsregler, hydraulische Hebebühne, Regalbediengerät,
Pendeldämpfung, Fahrerloses Transportsystem

3. Modellbasierter Entwurf

- Streckenidentifikation durch lineare Modelle
- Interpretation für Industrie-Anwendung

4. Zusammenfassung

1. Einleitung

- Klassische und projektbasierte Laborarbeiten

2. Methoden der mechatronischen Gesamtbetrachtung

- Beispiele von Industrie-Projektierungsschritten
- Industriebeispiele:
Geschwindigkeitsregler, hydraulische Hebebühne, Regalbediengerät,
Pendeldämpfung, Fahrerloses Transportsystem

3. Modellbasierter Entwurf

- Streckenidentifikation durch lineare Modelle
- Interpretation für Industrie-Anwendung

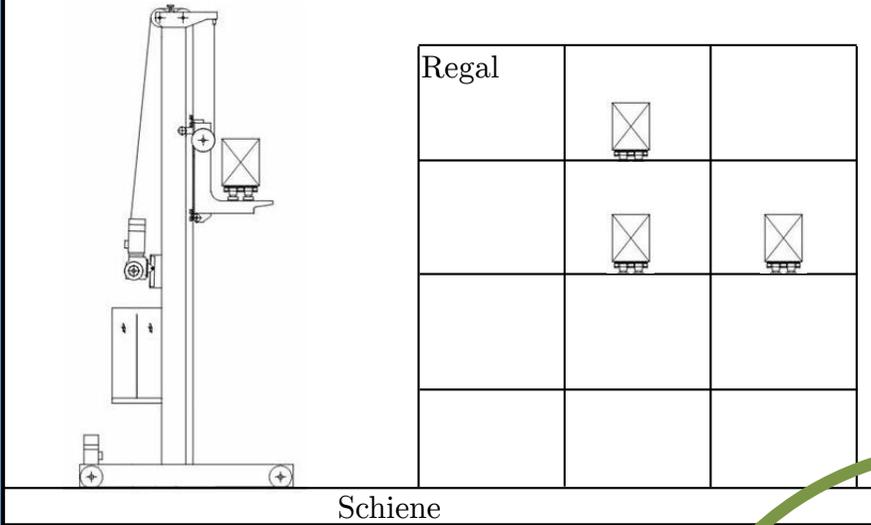
4. Zusammenfassung

- Laborarbeit = anschauliche Praxis
- Hochschulseitig hoher zeitlicher Aufwand, z.B. Sicherheits-
Belehrung, Erklärung der Hardware-Schnittstellen
- ggf. Reduktion Laborarbeit auf Komponenten
- ggf. lediglich Verwendung als Vorlesungs-Demonstration
- Mechatronische Gesamt-Systembetrachtung?



Schwingungsreduktion von Regalbediengeräten

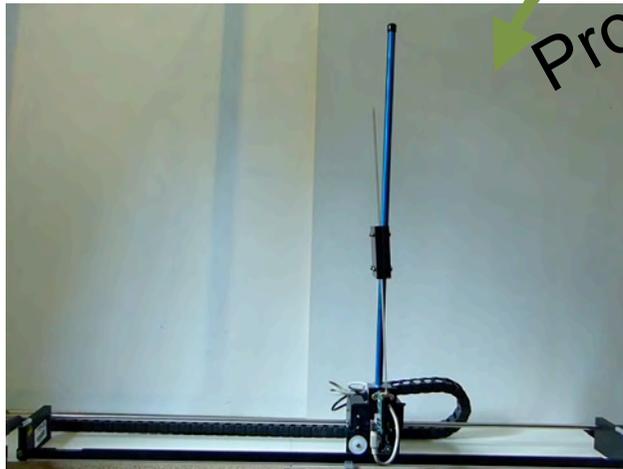
Realität



Problem

Lösung

Labor-Demonstrator



- Als offene Frage / Projekt: Entwicklung einer Anlage
- Als gezielte Aufgabe:
„Entwicklung einer ventilgesteuerten,
positionsgeregelten Pneumatik-Hebebühne“



1. Einleitung

- Klassische und projektbasierte Laborarbeiten

2. Methoden der mechatronischen Gesamtbetrachtung

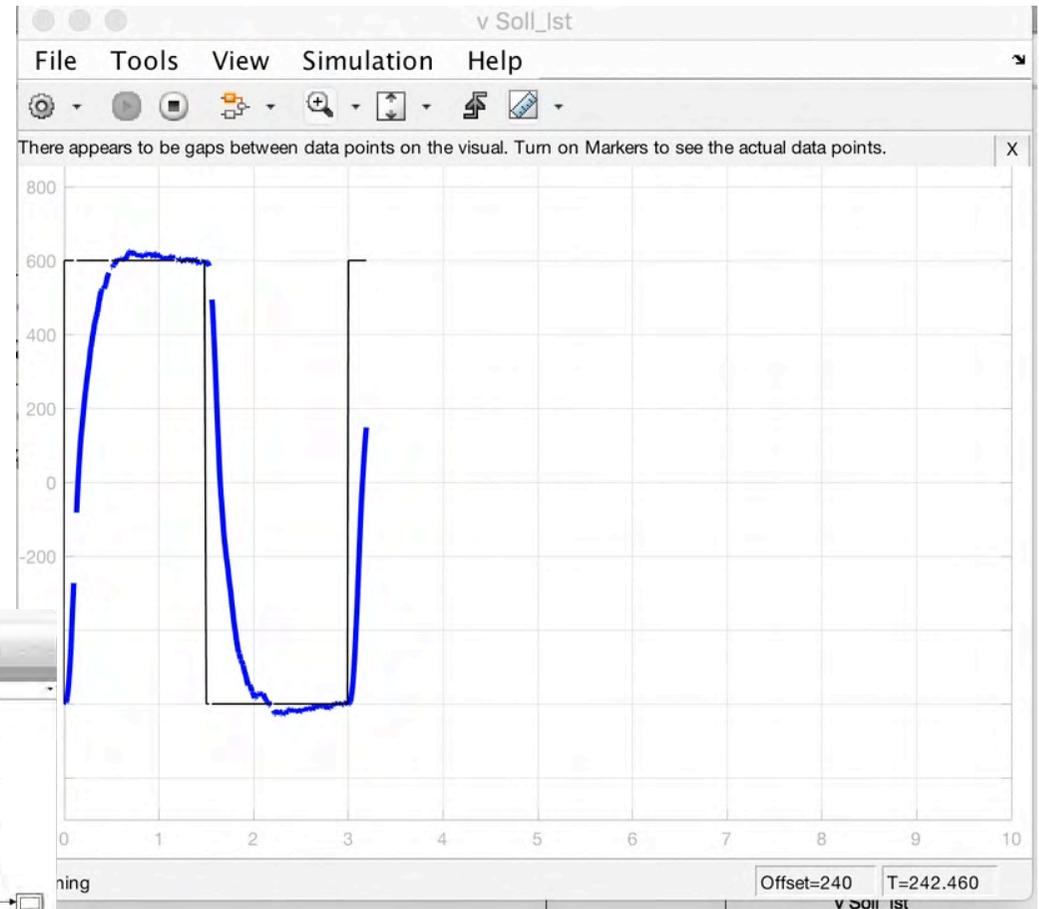
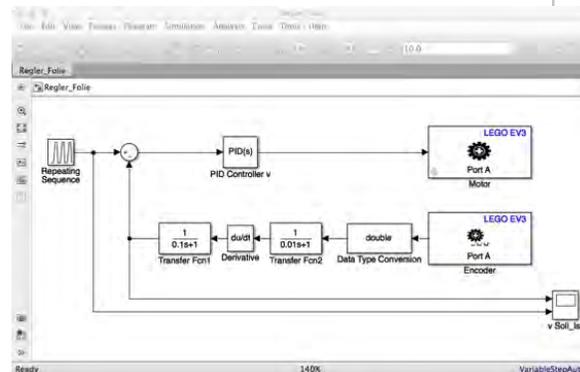
- Beispiele von Industrie-Projektierungsschritten
- Industriebeispiele:
Geschwindigkeitsregler, hydraulische Hebebühne, Regalbediengerät,
Pendeldämpfung, Fahrerloses Transportsystem

3. Modellbasierter Entwurf

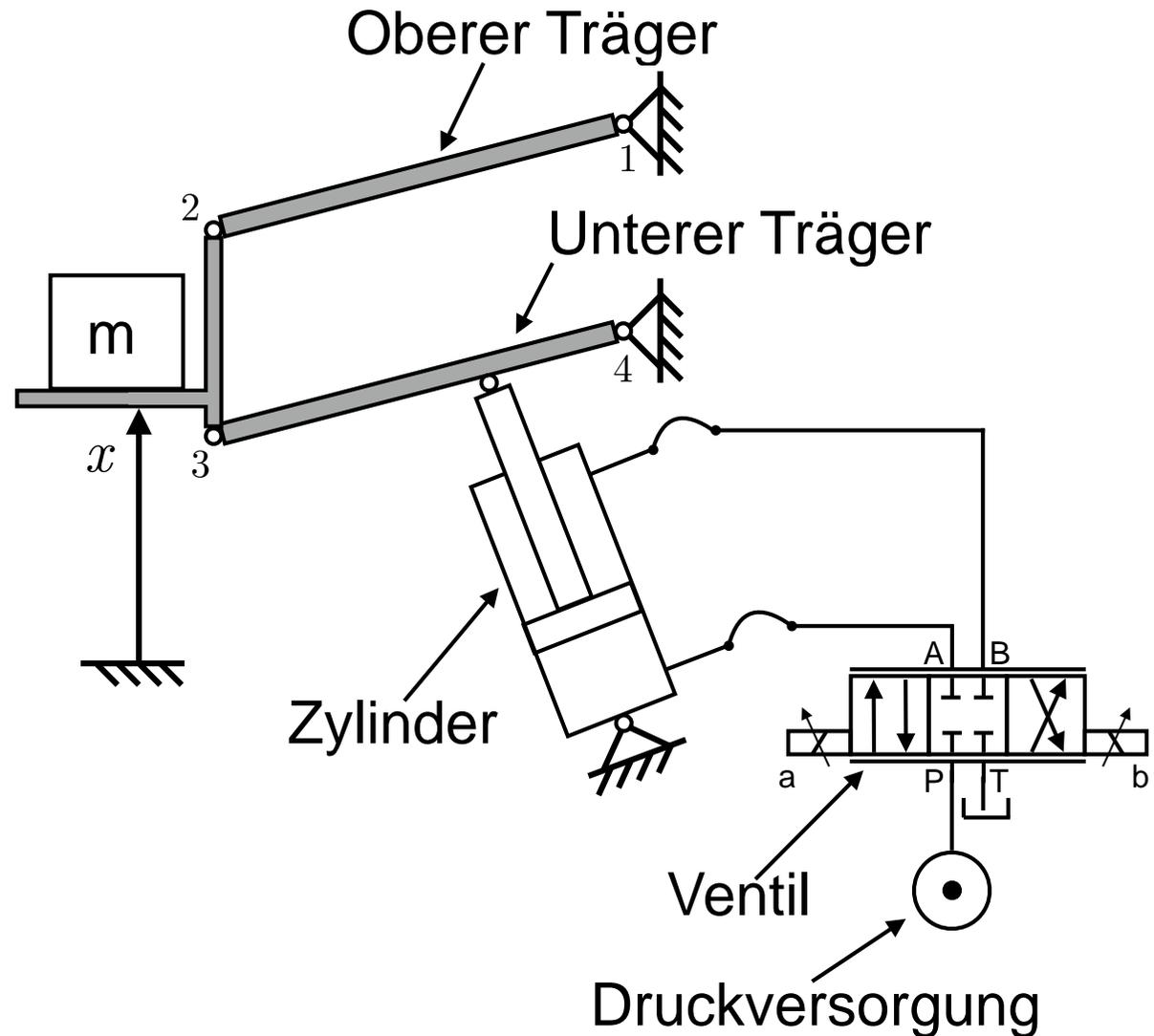
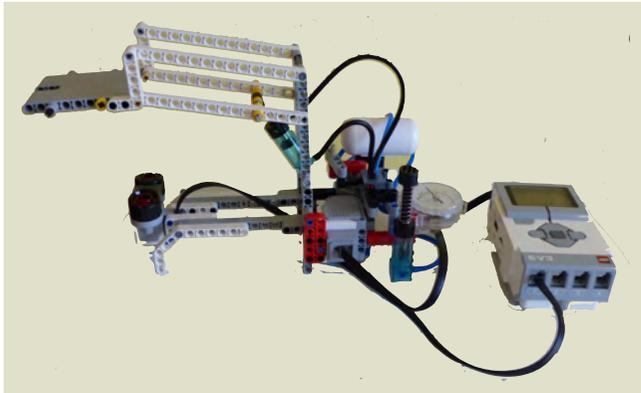
- Streckenidentifikation durch lineare Modelle
- Interpretation für Industrie-Anwendung

4. Zusammenfassung

PID-Geschwindigkeitsregler

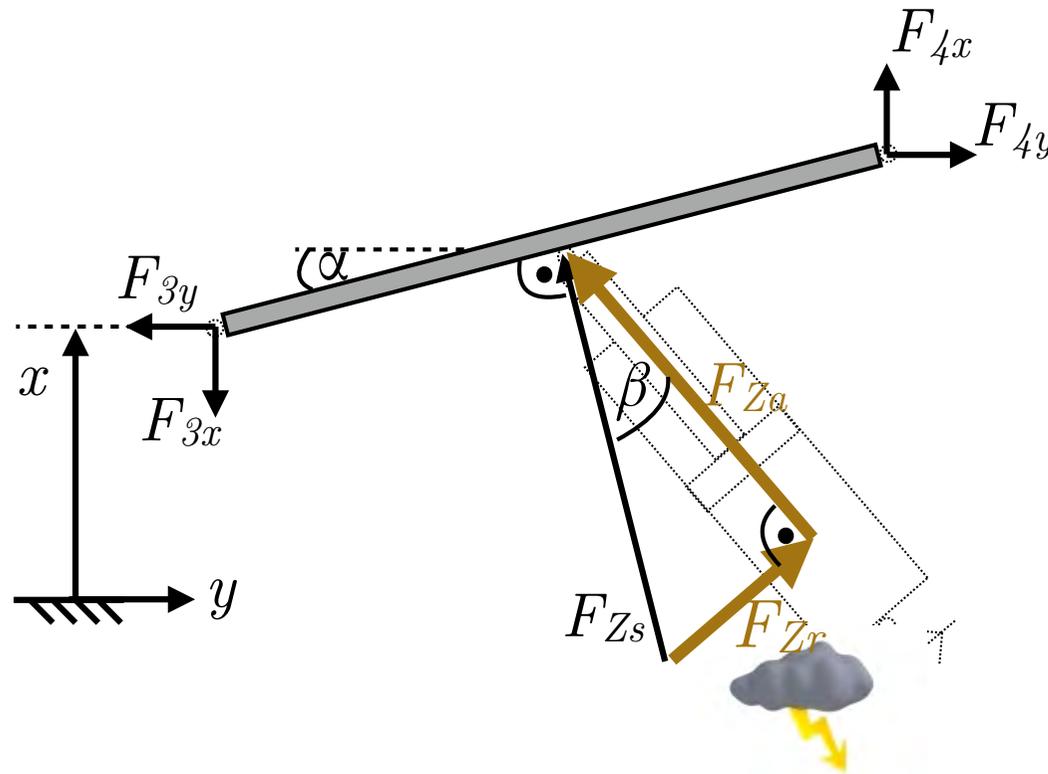


Analyse der Konstruktion



Analyse der Konstruktion, Lagerreaktionen

Unterer Träger:



Industriepraxis:

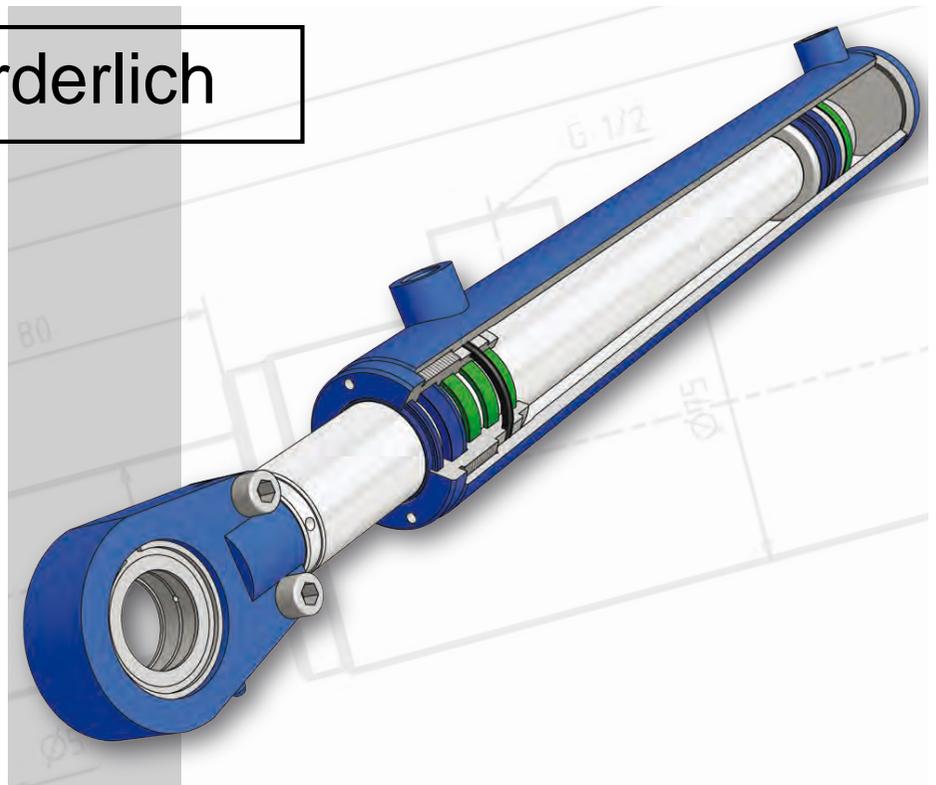
Keine (großen) Radikalkräfte auf Zylinder zulässig

→ Probleme mit Dichtungen, Abstreifer → Leckage

→ Biegebelastung Zylinderstange

→ ggf. keine Langlebigkeit

→ Optimierung Konstruktion erforderlich



Schwingungsanalyse, Eigenfrequenz der Anlage

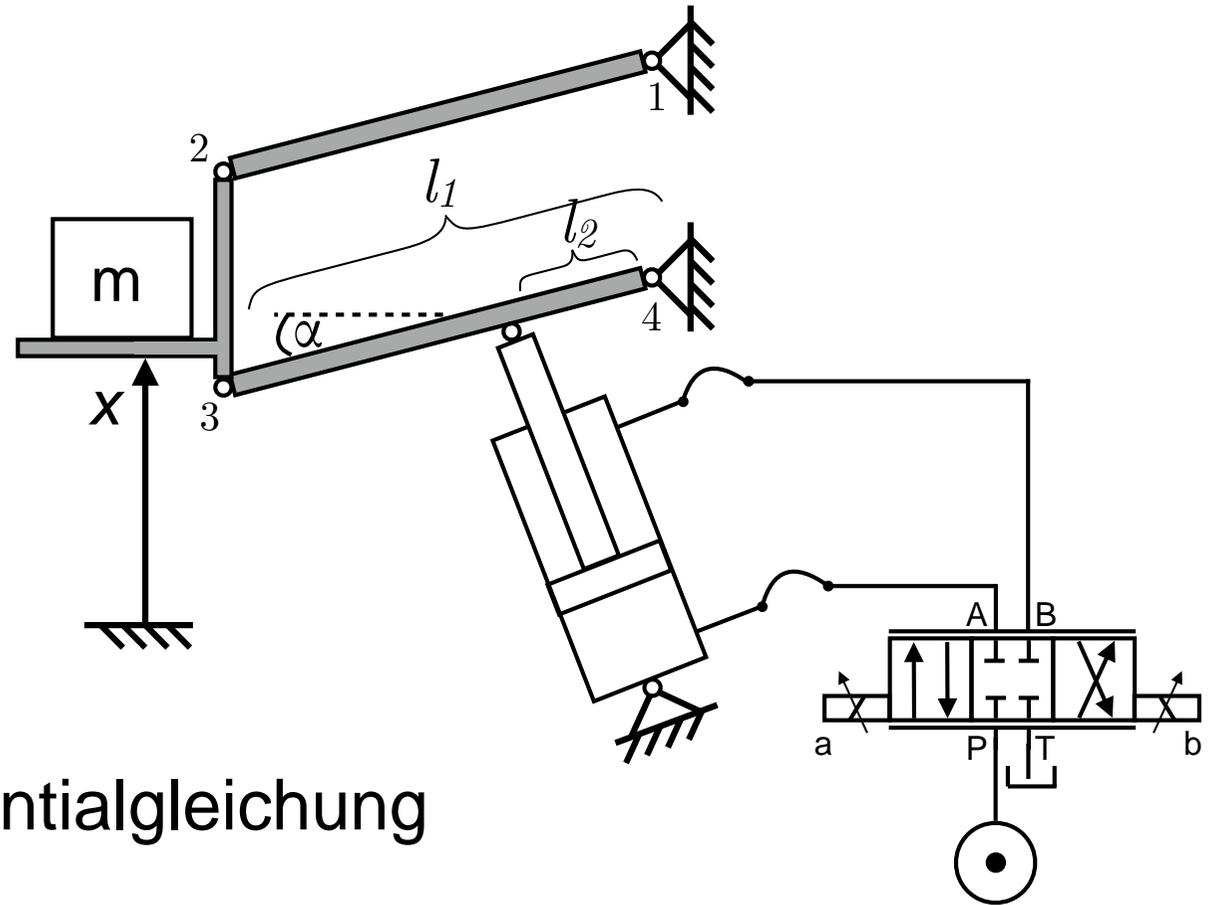
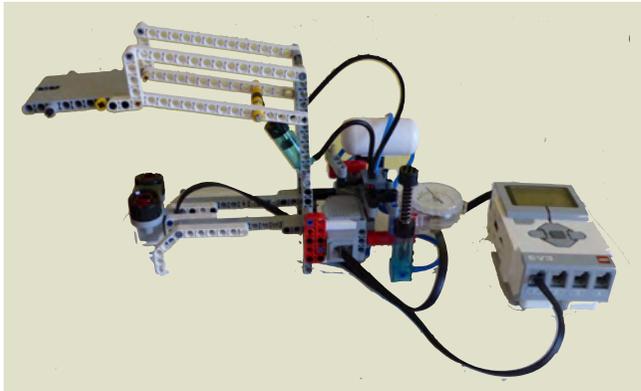
Kompressibilität
 \triangleq Feder c

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m_0}}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{l_2^2 \cdot c}{l_1^2 \cdot m}}$$

Typische Eigenfrequenzen:

- Minimale Eigenfrequenz „guter Maschinenbau“ bei Projektierung: 15 Hz
- Maschinenbau: ab < 4 Hz sehr schwer handhabbar, < 10 Hz „naja“

Analyse der Konstruktion

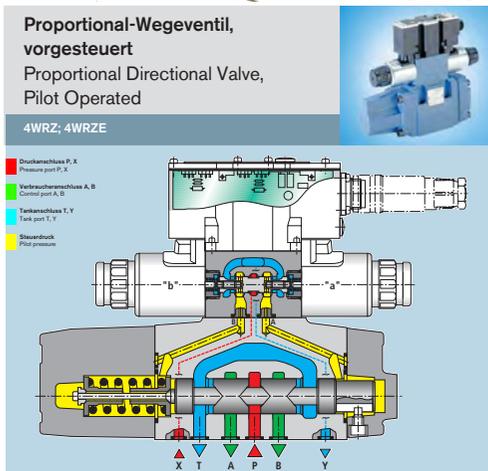
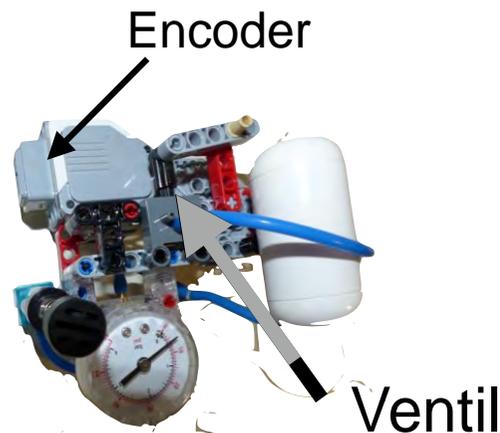


→ Schwingungs-Differentialgleichung

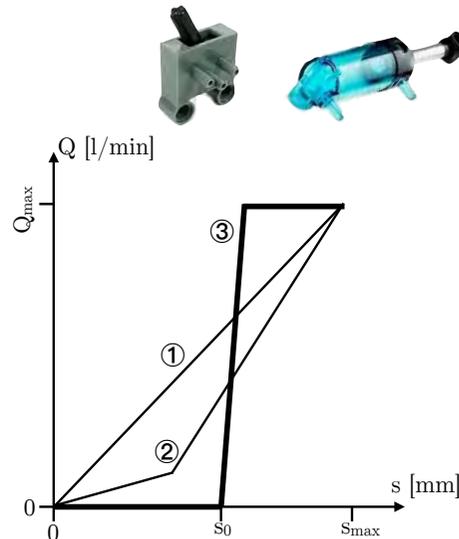
$$\underbrace{l_1^2 \cdot m \cdot \ddot{\alpha} + l_2^2 \cdot c \cdot \dot{\alpha}}_{\text{homogener Teil}} = \underbrace{-l_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot m \cdot g}_{\text{inhomogener Teil}}$$

Industrie Fragestellungen mit Labormodellen nachgestellt

- Indirekte Messung
- Ungenauigkeiten
- Hysterese
- schlechte Kennlinie



„undankbare“ Regelstrecke

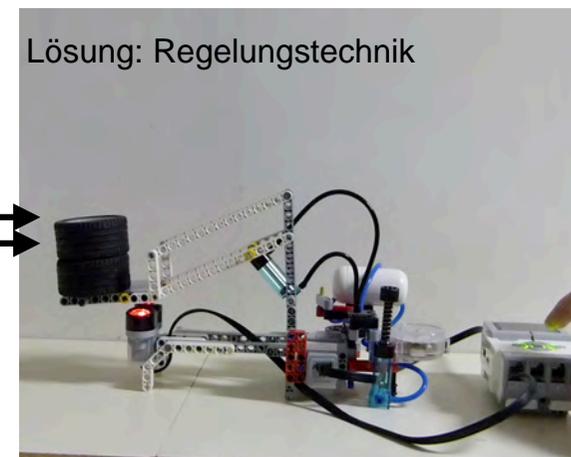
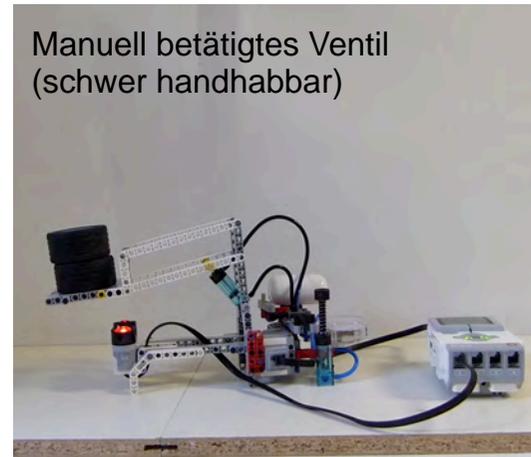


Stetigventile:

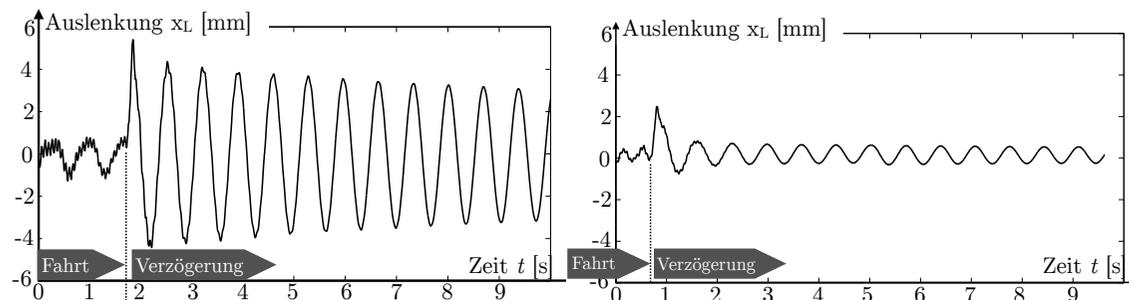
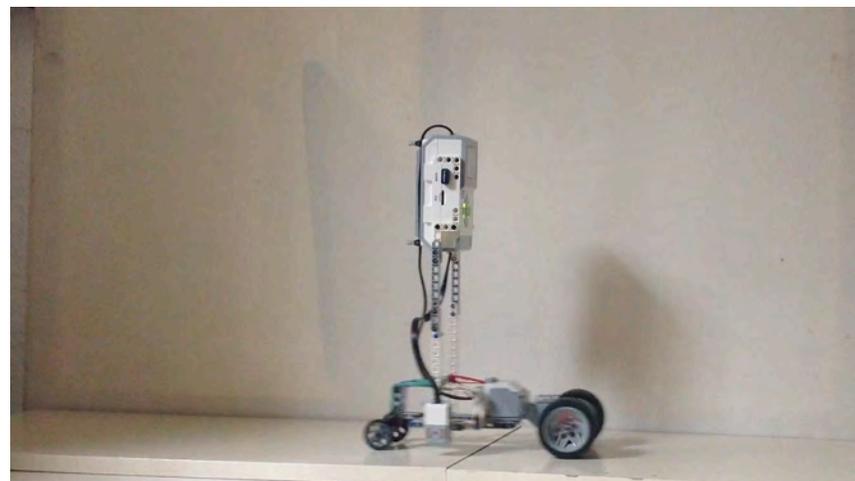
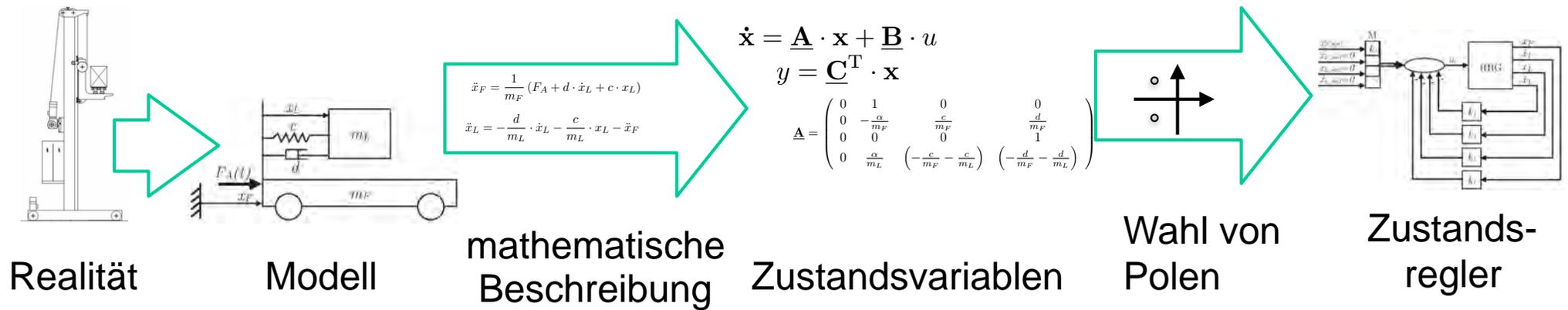
- ① lineare Kennlinie
- ② geknickte Kennlinie für Feinststeuerbereich

Schaltventil, Lego:

- ③ fast „keine Feinfühligkeit“



2. Gesamtbetrachtung: Schwingungsdämpfung



1. Einleitung

- Klassische und projektbasierte Laborarbeiten

2. Methoden der mechatronischen Gesamtbetrachtung

- Beispiele von Industrie-Projektierungsschritten
- Industriebeispiele:
Geschwindigkeitsregler, hydraulische Hebebühne, Regalbediengerät,
Pendeldämpfung, Fahrerloses Transportsystem

3. Modellbasierter Entwurf

- Streckenidentifikation durch lineare Modelle
- Interpretation für Industrie-Anwendung

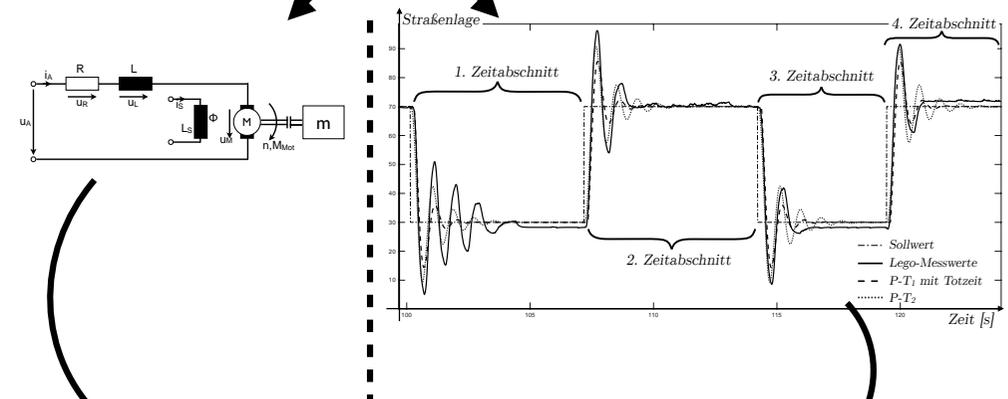
4. Zusammenfassung

Gegenüberstellung von PID-Entwurfsverfahren:

- Modellbasiert, z.B. mit linearen Übertragungsgliedern
 - Methoden im Zeit- und Frequenzbereich
 - Optimierungsverfahren, „Autotuner“
 - ...
- Heuristisch
 - Ziegler-Nichols
 - rein heuristisch
 - Erweiterung Regelkreis, z.B. Aufschaltung
 - Optimierung Regelstrecke

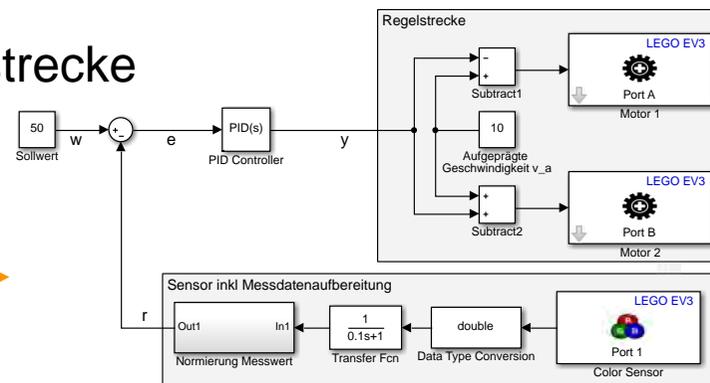
Ermittlung Übertragungsverhalten

Modellbildung Messungen



$$F_{M1}(s) = \frac{K_1 \cdot \omega_0}{s^2 + 2 \cdot D \cdot \omega_0 \cdot s + \omega_0^2} \cdot \frac{1}{s}$$

$$F_{M2}(s) = \frac{K_2}{T \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot e^{-T_t \cdot s}$$



Klassische Vorlesung:

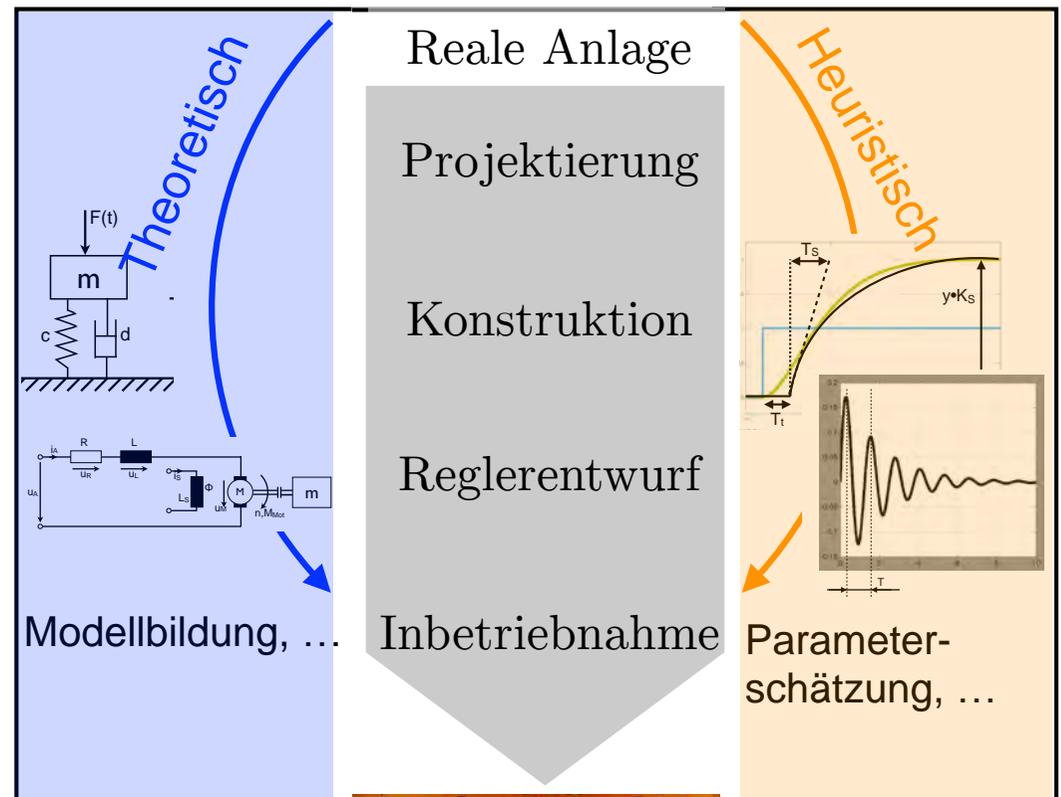
- Theoretischer, modellbasierter Ansatz
- Praktische Demonstrationen, Laborarbeit

Industriepraxis:

- Modellbasierte Simulation
- Praktische Inbetriebnahme „vor Ort / im Feld“

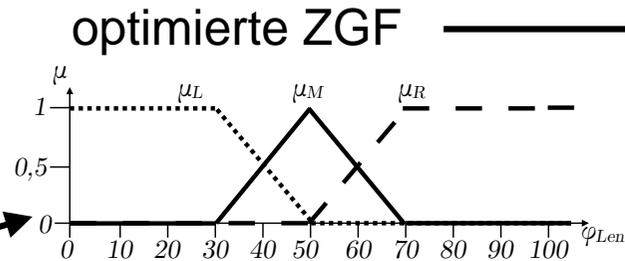
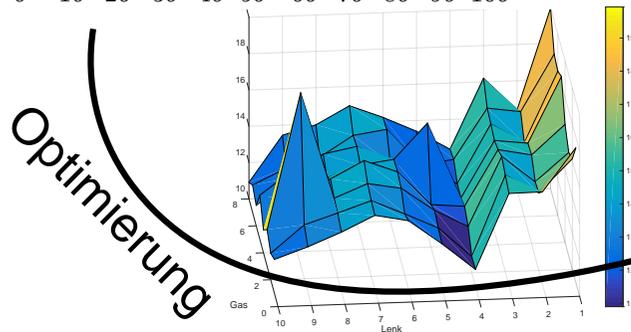
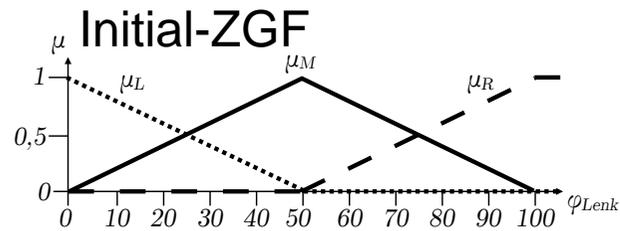
→ gute Kombination

→ Labor-Ideenaustausch



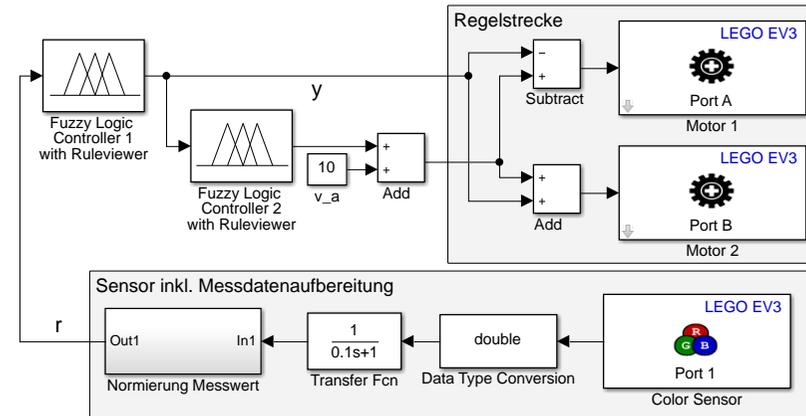
Weitere Regler:

- Fuzzy
 - relativ „zügige, akzeptable“ Ergebnisse
 - aufwändige Optimierung



Ergebnis

Einstellmethode	v_a	v_m	σ_e
Fuzzy „Probelauf“	10	4,95	12,40
Fuzzy, optimiert	-	8,85	12,18



- Neuronale Netze
 - (aufwändiges) modellbasiertes Anlernen
 - (aufwändiges) Anlernen mit Anlage
- Lernerfahrung für „Standard-“ Industrie-Anlagenbau:
Sehr aufwändig, keine heuristische Optimierung möglich

1. Einleitung

- Klassische und projektbasierte Laborarbeiten

2. Methoden der mechatronischen Gesamtbetrachtung

- Beispiele von Industrie-Projektierungsschritten
- Industriebeispiele:
Geschwindigkeitsregler, hydraulische Hebebühne, Regalbediengerät,
Pendeldämpfung, Fahrerloses Transportsystem

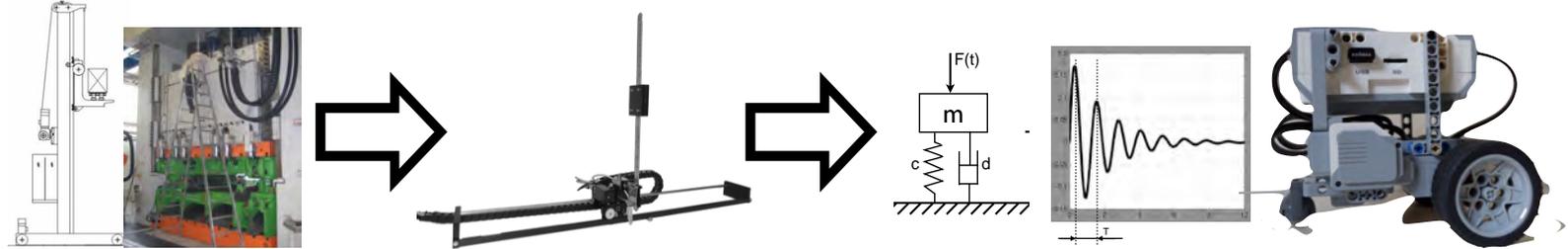
3. Modellbasierter Entwurf

- Streckenidentifikation durch lineare Modelle
- Interpretation für Industrie-Anwendung

4. Zusammenfassung

Labor

- Reale Maschinen vs. LEGO
- Mechatronische Gesamtbetrachtung mit Lego



Industriepraxis

- Lego mit Industriepraktischen Fragestellungen
- Bewertung mechatronisches Gesamtsystem
- Modellbasierter vs. heuristischer Entwurf

Interpretation

- Verständnis für Industrieanlagen und -problemstellungen
- Ergänzung zu bestehenden Laborarbeiten, Exkursionen, ...
- LEGO & Arduino → Industrie 4.0

