

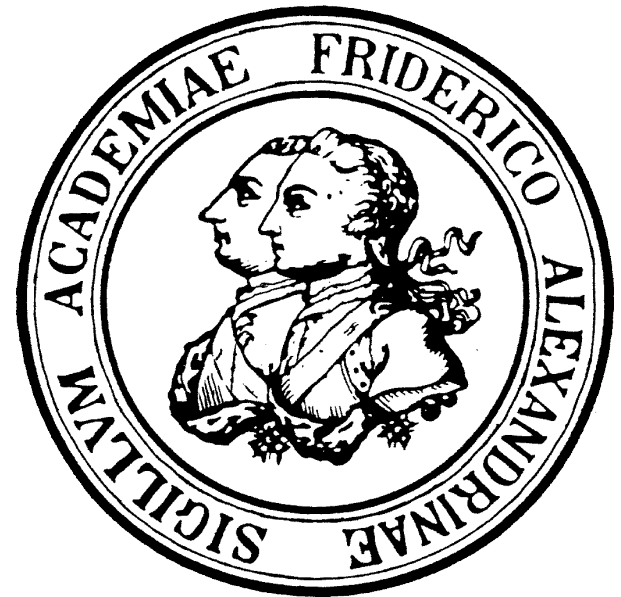
Phase 1: Anwendungsanalyse

Echtzeitsysteme 2 - Vorlesung/Übung

Fabian Scheler
Peter Ulbrich
Michael Stilkerich
Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl für Informatik IV
Verteilte Systeme und Betriebssysteme
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

[http://www4.cs.fau.de/~{scheler,ulbrich,mike,wosch}
{scheler,ulbrich,mike,wosch}@cs.fau.de](http://www4.cs.fau.de/~{scheler,ulbrich,mike,wosch}{scheler,ulbrich,mike,wosch}@cs.fau.de)



Übersicht

- Zielsetzung
- Problematik
- Lösungsansätze
- Anforderungen & Fakten



Zielsetzung

- physikalisches Objekt
 - Welche Größen sind relevant?
 - Wie hängen diese Größen zusammen?

- Echtzeitsystem
 - Welche Ereignisse gilt es zu behandeln?
 - Welche Zeitschranken gilt es einzuhalten?
 - Welche Beziehung Zeitschranke $\leftrightarrow$ physikalischen Objekt gibt es?

- Wie sieht das physikalische Model aus?
 - Welche Größen des physikalischen Models muss man abbilden?
 - Wie bildet man diese Größen ab?



Problematik

- selbst einfach erscheinende Objekte sind aus physikalischer Sicht äußerst komplex
- Vereinfachungen sind unabdingbar
- Beispiel: Hau den Lukas



Problematik: Hau den Lukas

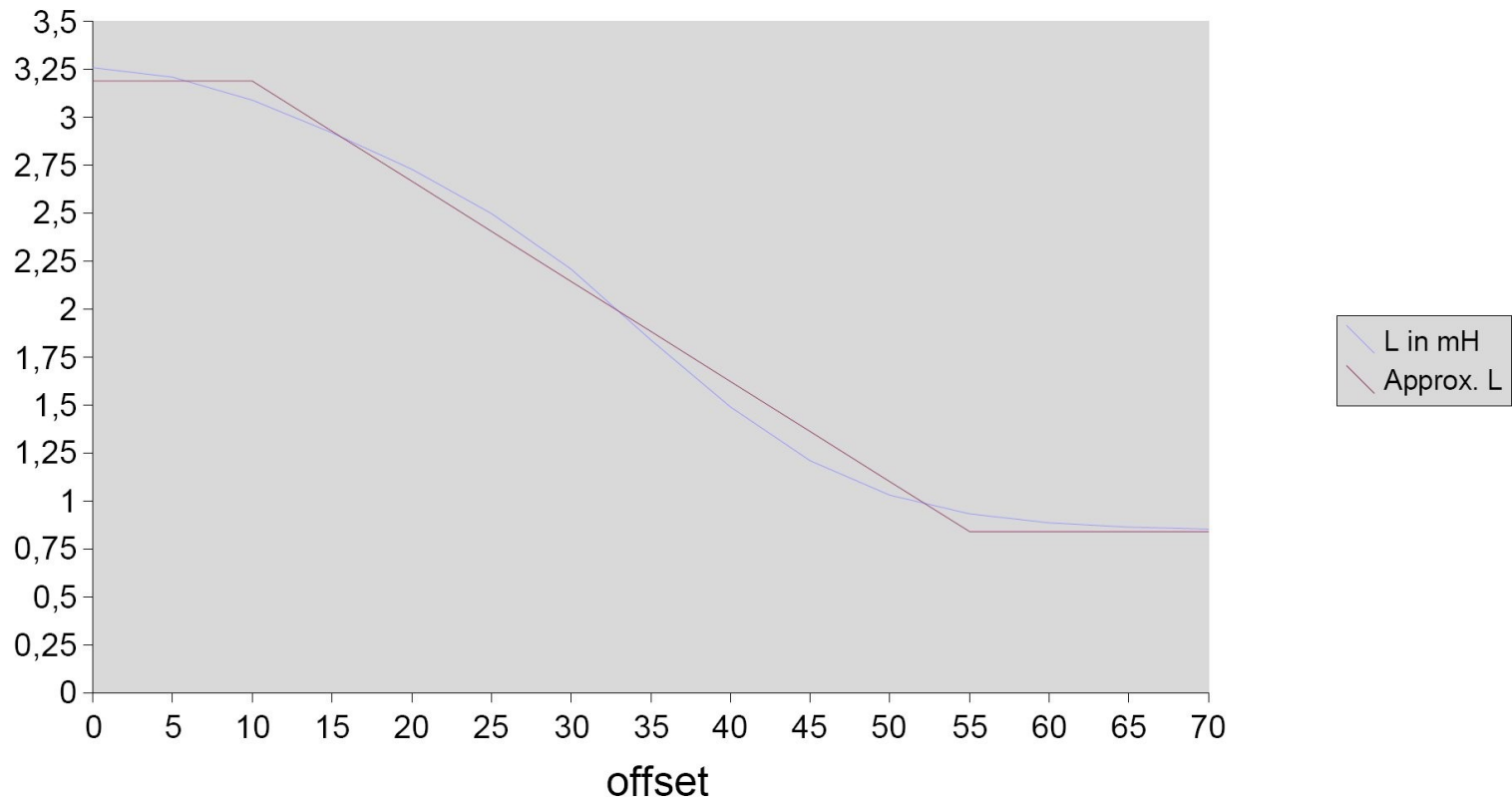
- **Schaltvorgänge** an den Spulen sind **nicht konstant!**
 - Ein- und Ausschaltvorgänge und die Induktionsgesetze
 - **Induktivität** der Spule ist **nicht konstant!**
 - Wo ist der Eisenkern in der Spule?
 - **Kraft** auf den Eisenkern in der Spule ist **nicht konstant!**
 - Wo ist der Eisenkern in der Spule?
 - Welche Geschwindigkeit hat der Eisenkern?
 - **Beschleunigung** des Eisenkerns ist **nicht konstant!**
 - Kraft auf den Eisenkern ist nicht konstant
- komplexe, zeitabhängige Vorgänge
- macht Integration notwendig
 - häufig nicht mehr analytisch darstellbar
 - numerische Lösung wird erforderlich



Ergebnisse: Hau den Lukas (SS 2006)

- Induktivität der Spule
 - in Abhängigkeit der Position des Eisenkerns

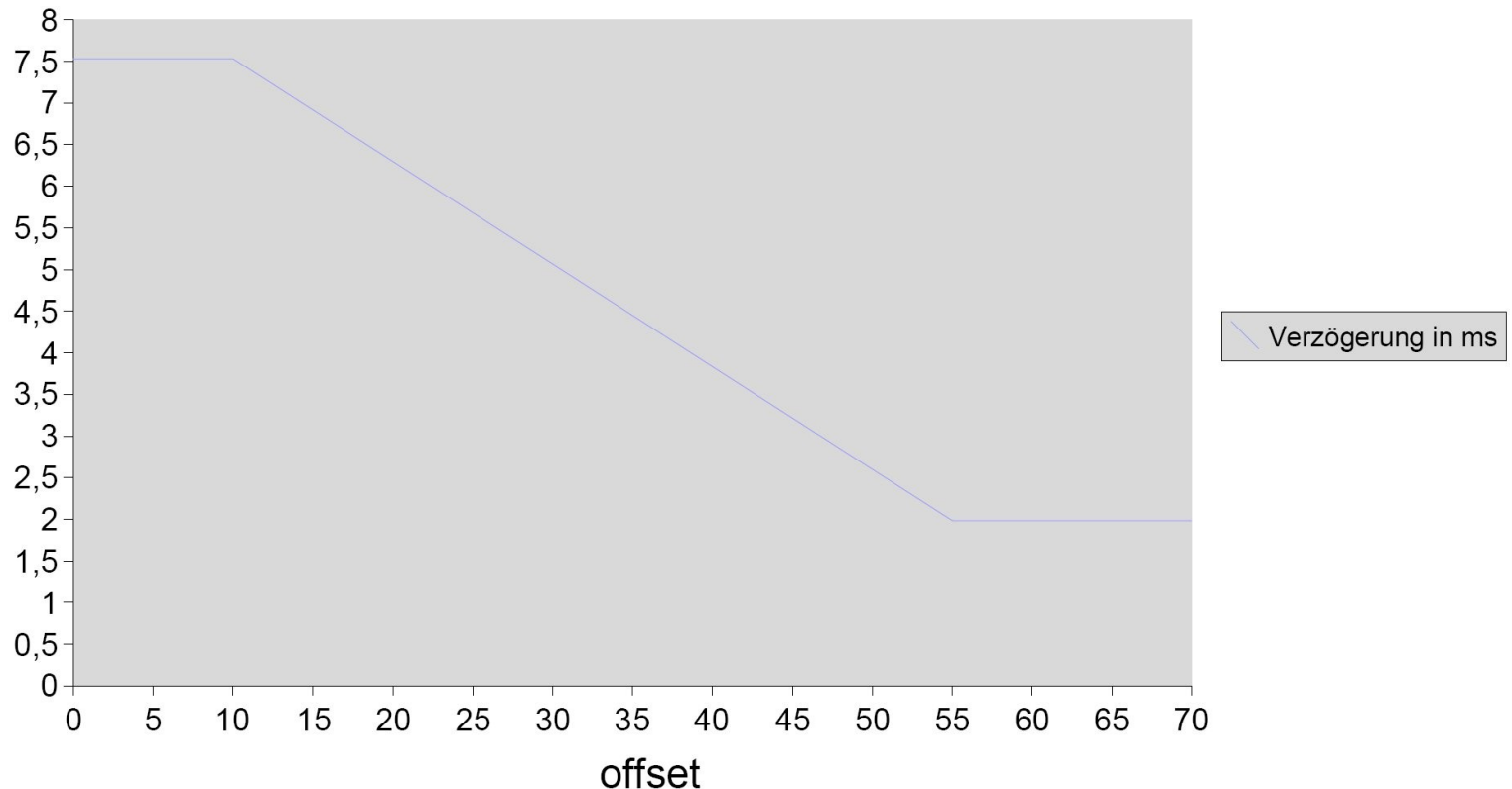
Induktivität



Ergebnisse: Hau den Lukas (SS 2006)

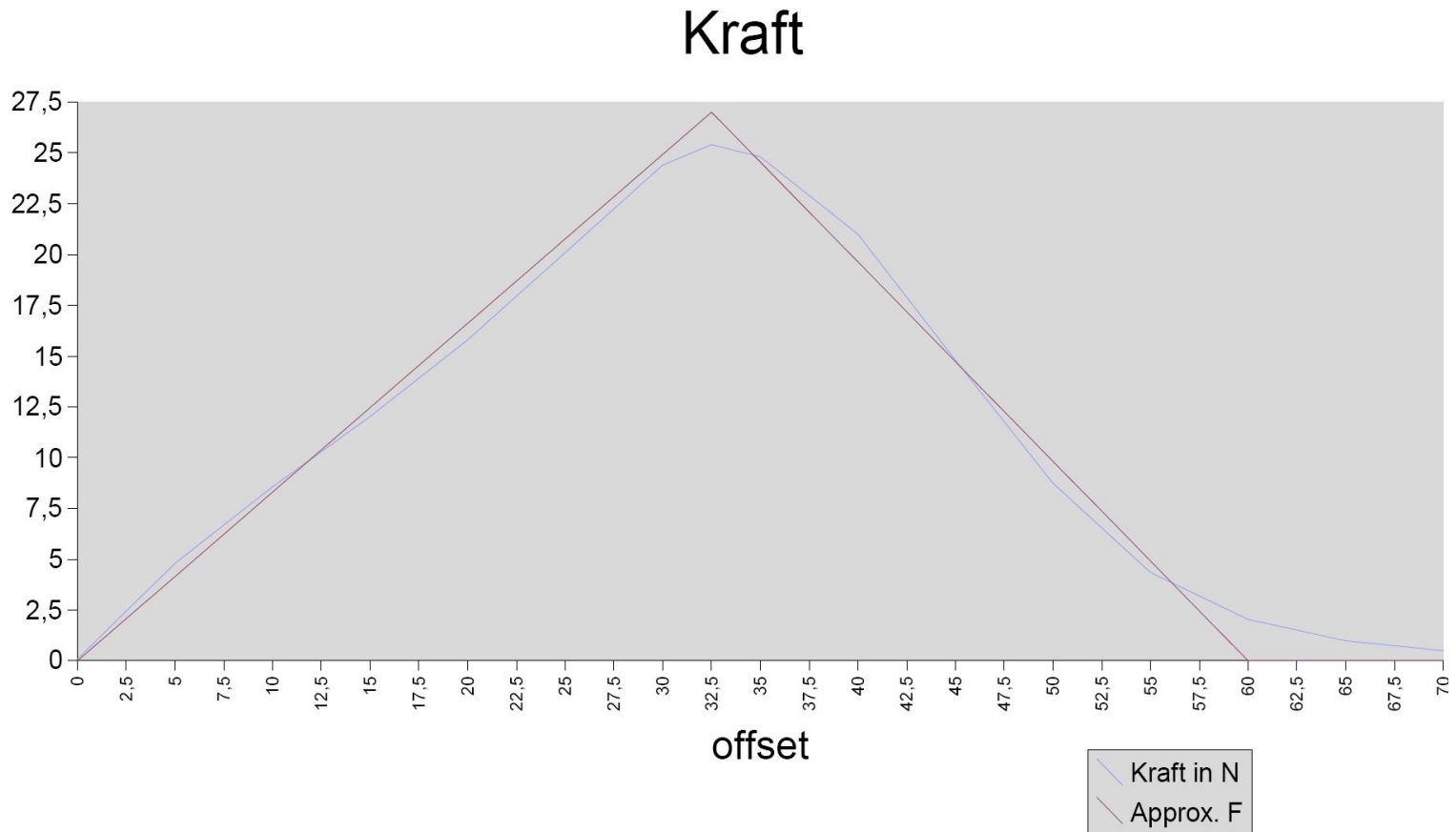
- Schaltverzögerung der Spule
 - in Abhängigkeit der Position des Eisenkerns

Zeitverzögerung



Ergebnisse: Hau den Lukas (SS 2006)

- Kraftwirkung der Spule auf den Eisenkern
 - in Abhängigkeit der Position des Eisenkerns



Ergebnisse: Hau den Lukas (SS 2006)

- selbst das Modell ist bereits stark vereinfacht
- verschiedene Größen werden nicht berücksichtigt
 - Gegeninduktion
 - Wirbelströme
 - Luftwiderstand
- experimentelle Bestimmung gewisser Randparameter



Lösungsansätze

- Reduktion auf den Zustand
- Regelungstechnik

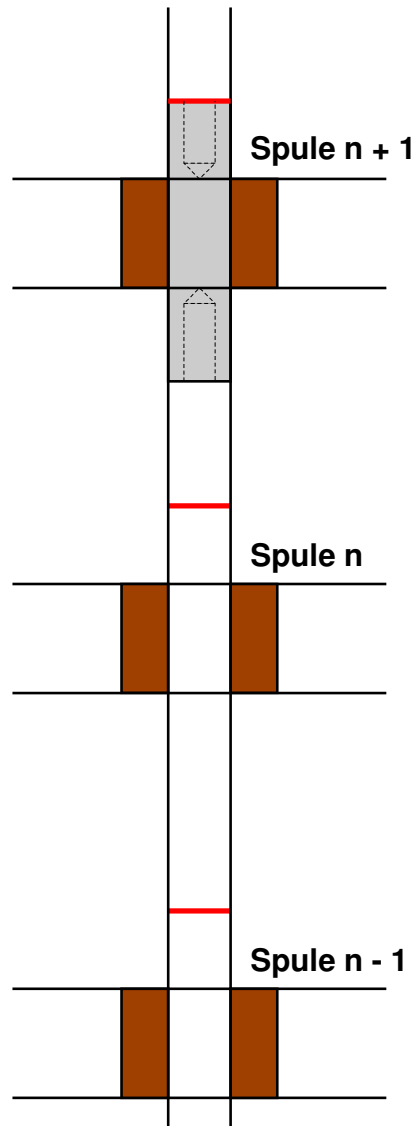


Reduktion auf den Zustand

- ... genauer: den beobachtbaren Zustand
- Idee
 - man kann den Zustand immer beobachten ...
 - und man kann ihn gezielt und exakt manipulieren
- Konsequenz für unser Modell
 - es kann auf den beobachtbaren Zustand reduziert werden
 - häufig gibt es nur noch diskrete Wertbereiche
 - reine Kausalitäts- also Ursache-Wirkung-Beziehung
- ✓ drastische Vereinfachung des Modells
 - ohne relevante Eigenschaften zu verlieren



Beispiel: Hau den Lukas



■ Beobachtung

- der letzten Spule: durch Lichtschranken
- der Bewegungsrichtung:
 - aktuelle Spule: **Spule n**
 - vorherige Spule: **Spule n + 1** → aufwärts
 - vorherige Spule: **Spule n - 1** → abwärts

■ Manipulation

- Eisenkern kann
 - festgehalten werden
 - fallen gelassen werden
 - angehoben werden

✓ Zustand ist

- vollständig beobachtbar und
- gezielt manipulierbar



Nachteil

- dieses Modell sagt nichts aus über ...
 - den Eisenkern
 - die verwendeten Spulen
 - die Umgebungstemperaturen
- Eine gezielte Manipulation kann nicht garantiert werden
 - Wenn diese Größen verändert werden
- System muss sich *gutmütig* verhalten
 - gegenüber Parametern, die man nicht kontrollieren kann
 - diese Parameter kann man dann vernachlässigen
- ✗ Längst nicht alle Systeme erfüllen diese Eigenschaft



Regelungstechnik

■ Problem

- Interner Zustand ist **nicht beobachtbar**
- **Interne Parameter beeinflussen System** in relevantem Umfang

■ Idee

- **Nachbildung/Berechnung des Zustandes** durch physikalisches Modell inkl. internem Verhalten

→ Konsequenz für unser Modell

- mathematisch/physikalische Beschreibung des Systems
- Bestimmung der Systemparameter: Trägheit, Widerstand, ...
- Berücksichtigung vergangener Zustände

✓ Beschreibung des Systems durch das Modell

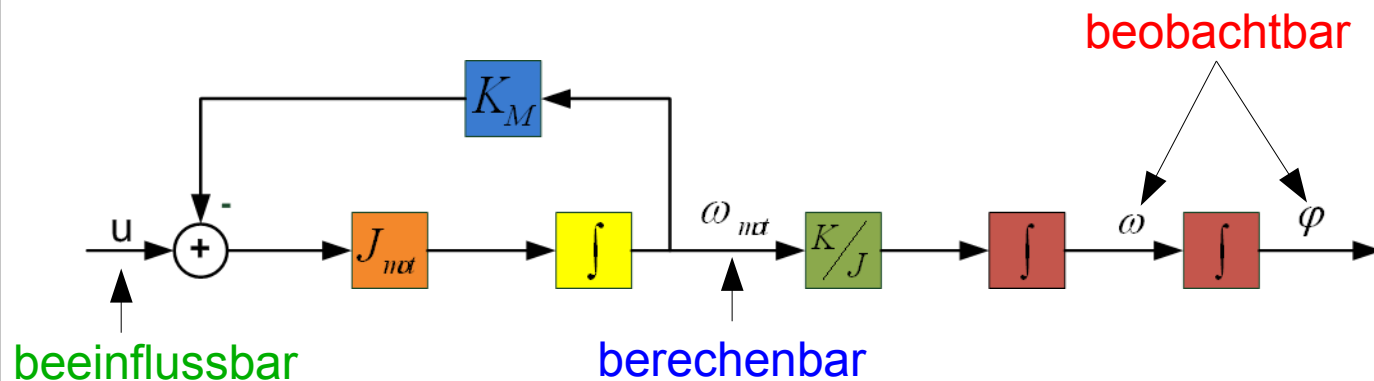
- Exakte Analyse notwendig



Regelungstechnik

■ Systemtheorie

- **Eingangsvektor** → Abweichung vom Sollwert des Systems
- **Ausgangsvektor** → Ist-Wert des Systems
- **Systemmatrix** → Rückkopplung der internen Zustände



■ System-Modell

- Beschreibt die Zusammenhänge zwischen beeinflussbaren, beobachtbaren und berechenbaren Systemparametern



Beispiel: Quadcopter

■ Beobachtung

- Winkelgeschwindigkeit ω und Lage φ um X bzw. Y-Achse

■ Manipulation

- Die erzeugte Schubkraft kann variiert werden
- Geregelt wird die Spannung u der Motoren

■ Reaktion

- Abhängig von den Momenten des Objekts (Masse, Trägheit)
- und Motor/Propeller (Trägheit, Reibung, Wirkungsgrad)

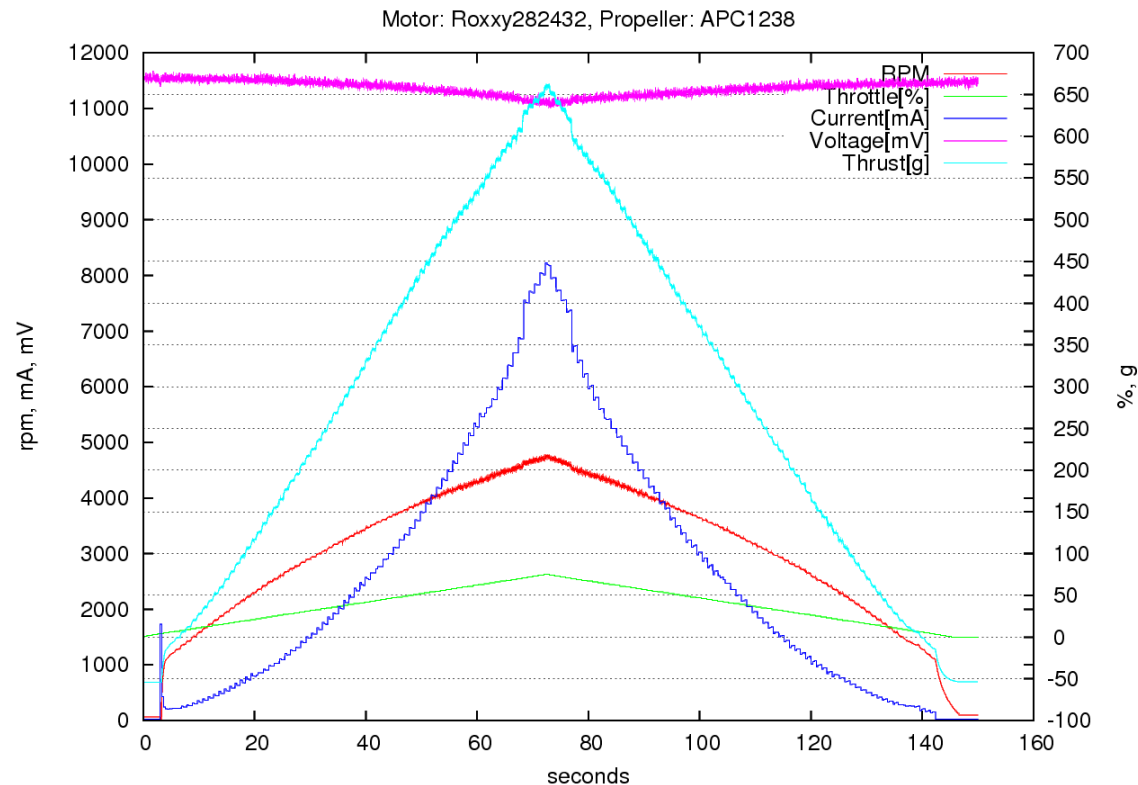
✓ Zustand

- Nicht beobacht-, aber berechenbar



Modellbildung

- Berechnung beliebiger Zustände
- Bestimmung durch Messung
 - Erstellen von Kennlinien (Messung zusätzlicher Parameter)
 - Ableiten von Konstanten oder Funktionen
- z.B. Motor
 - Messung
 - Schubkraft
 - Drehzahl
 - Stromaufnahme
 - Spannung
 - Motorkonstante
 - Funktion
 - Spannung/Schub



Anforderungen & Fakten

- Hau den Lukas
- Generator
- Quadkopter
- Eisenbahn



Anforderungen: Hau den Lukas (1)

■ Programmierbarkeit

- ein Programm wird durch eine Datenstruktur beschrieben, die durch Prozeduraufrufe erzeugt/initialisiert wird

```
lift_continuous(my_prog, 7);  
fall_stepwise(my_prog, 2);  
lift_continuous(my_prog, 4);  
...
```

- schließlich wird dieses Programm ausgeführt

```
start_program(my_prog);
```

■ folgende Primitive sollen beherrscht werden

- schrittweise anheben/fallen lassen
- kontinuierlich anheben/fallen lassen

■ Primitive sind kombinierbar



Anforderungen: Hau den Lukas (2)

■ Benutzerschnittstelle

- Programme werden unveränderlich gespeichert
 - ein Wechsel zwischen den Programmen ist aber möglich
- Programme werden geladen
 - Interaktion über die serielle Schnittstelle bzw. CAN-Bus

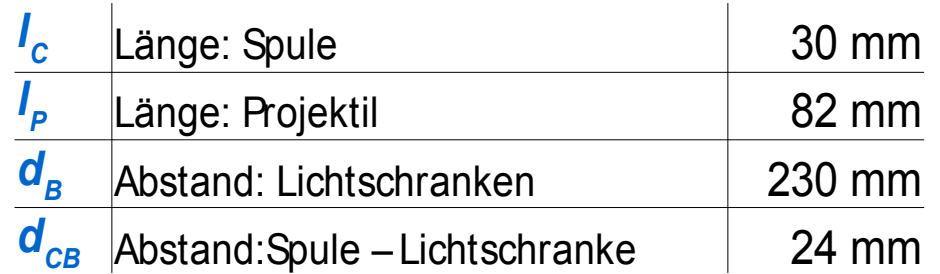
■ Not-Aus-Funktion

- sofortiges Stoppen der normalen Funktion
 - Übergang in einen sicheren Zustand

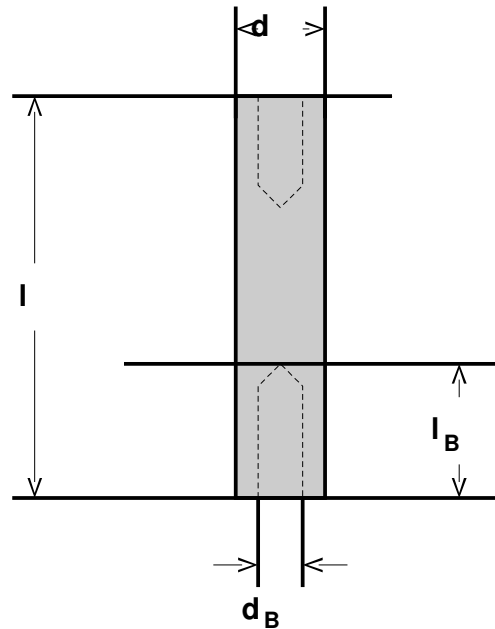
■ Monitoring/Überwachung

- kritische Systemzustände werden erkannt und angezeigt
 - z.B. wenn Spulen zu lange aktiviert sind
- Profiling
 - wie lange ist welche Spule an, wie oft wurde welche Spule durchlaufen

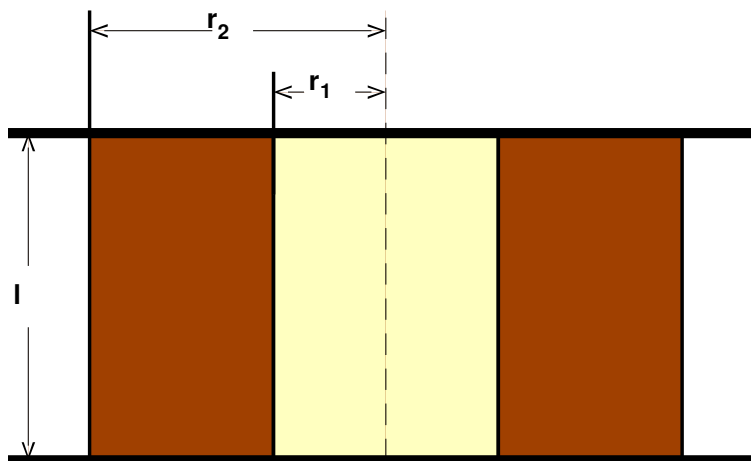




Fakten: Hau den Lukas



l	Länge: Projektil	82 mm
l_B	Länge: Bohrung	26 mm
d	Durchmesser: Projektil	18,6 mm
d_B	Durchmesser: Bohrung	10 mm
m	Gewicht	144 g
	Material: Eisen	



l	effektive Länge	23 mm
r_1	Innendurchmesse	28 mm
r_2	Außendurchmesse	mm
l	Induktivität	0,82 mH
R	Widerstand	0,52 Ohm
N	Windungszahl	178
	Toleranz	3.00%



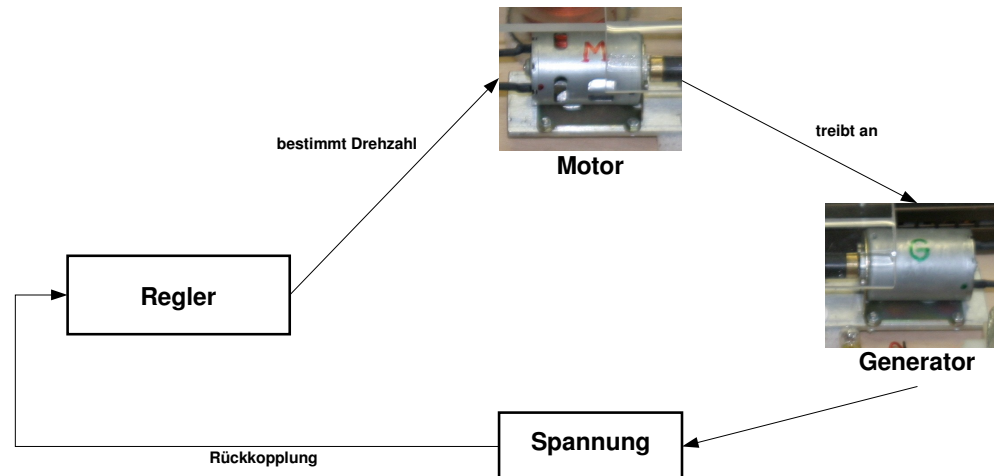
Fakten: Hau den Lukas

- Ansteuerung der Spulen
 - Pin 0.5 – Pin 0.12 (x.y: x – Port, y – Pin)
- Abfrage der Lichtschranken
 - Pin 7.0 – Pin 7.7
- Unterbrechungen der Lichtschranken
 - Pin 1.0
- Dauer von Auslösung der Lichtschranke bis zur ISR
 - vernachlässigbar



Anforderung: Generator

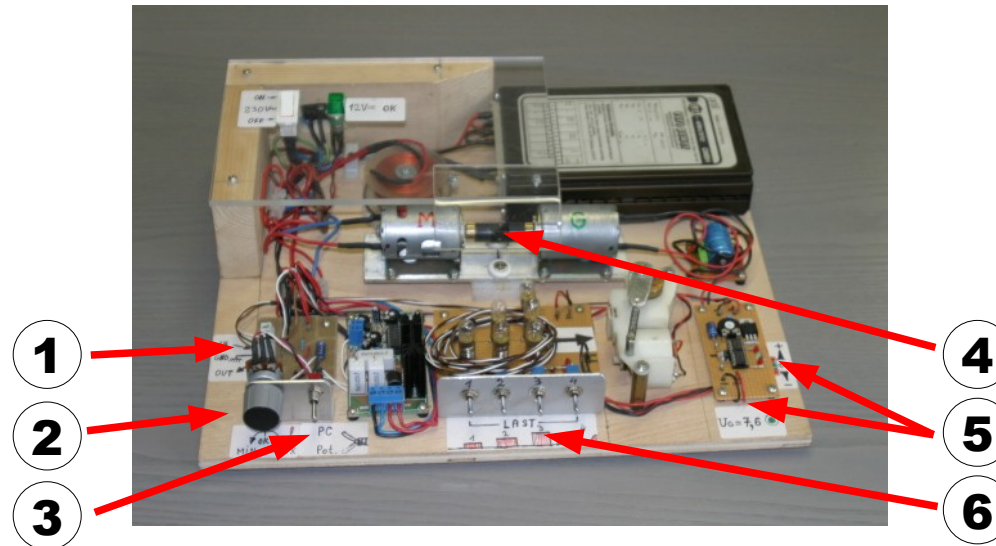
- Implementierung folgendes Regelkreises:



- *naiver* Regler
 - Hochfrequente Abtastung des Systems
 - kleine Änderungen der Stellgrößen
- Reglerimplementierung
 - mit/ohne Beobachter
- Bestimmung der Kennlinien für Motor und Generator
- Evaluation: Einschwingverhalten



Fakten: Generator



1. Steuerspannung des Motors
 - kontinuierlich (PWM-Signal)
 - diskret (256 Stufen, extra Platine)
2. Manuelle Steuerung
 - Durch Potentiometer
3. Umschaltung
 - Steuerspannung/manuell
4. Motordrehzahl
 - Messung durch Lichtschranke
5. Referenzspannung (7,8 V)
 - optisch ablesbar
 - Abgreifbar
6. Zuschaltung div. Lasten
 - konstant
 - variabel



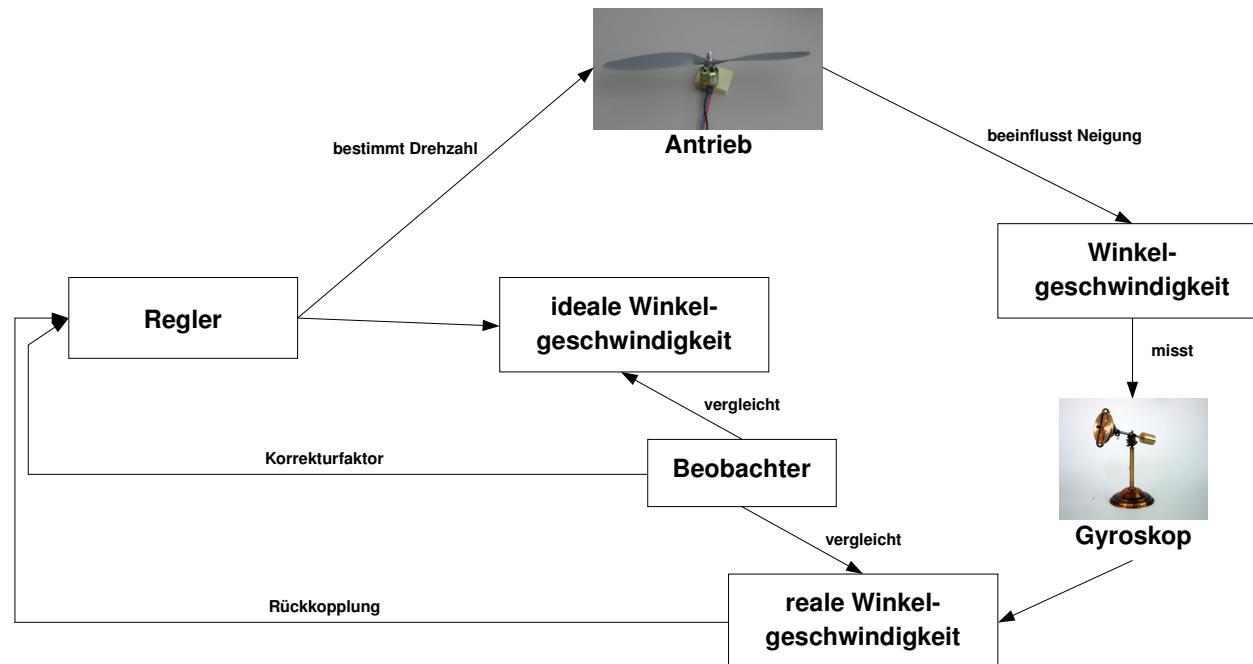
Fakten: Generator

1. manuelle Steuerung, Potentiometerstellung: MIN
2. Einstellung der Referenzspannung
3. „Kalibrierung“ des Reglers
4. Umschalten auf die Steuerspannung
 - Und damit auf den implementierten Regler

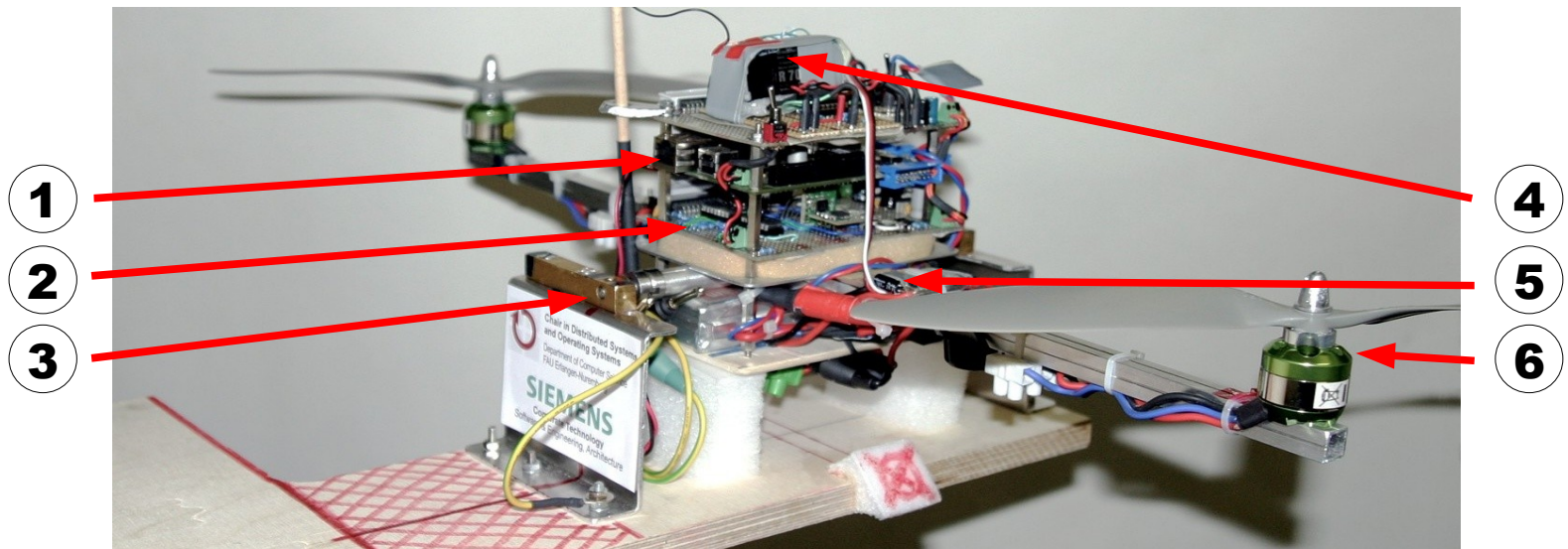


Anforderung: Quadkopter

- Regelung des Neigungswinkels der Rotorwippe
 - Implementierung des Regelkreises und des Beobachters
 - Filterung der Messergebnisse
 - Balancieren der Achse
 - Einstellung des Neigungswinkels



Fakten: Quadkopter



1. Tricore 1796 Board

- 150MHz, 2MB MRAM
- Ethernet

2. Sensorboard

- Gyroskop und Beschleunigungss.

3. Wippe

- sicherer Test einer Achse

4. Funkempfänger

- RC und optional WLAN

5. Motorregler

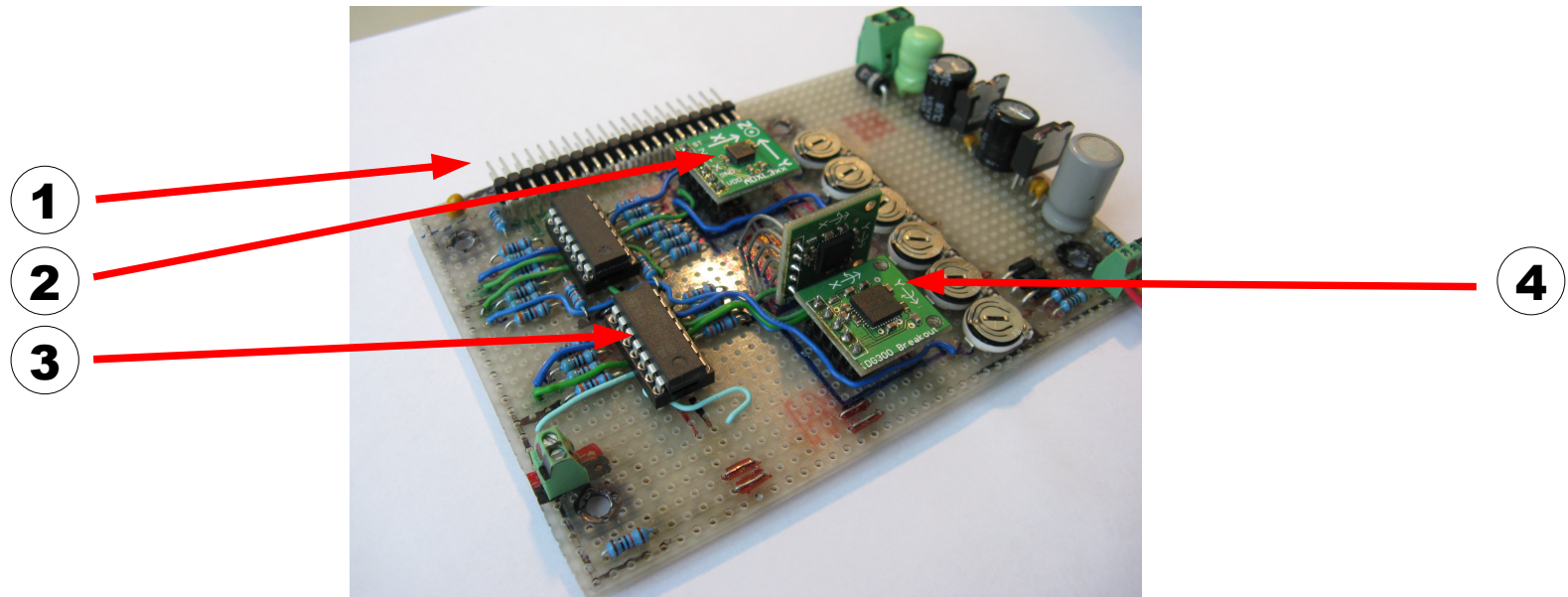
- Steuerung PWM Signal
- Diskret (200 Stufen)

6. Antrieb

- Bürstenloser Motor (max 110Watt)



Fakten: Quadkopter



1. Anschlüsse

2. Beschleunigungssensor

- ADXL330, 3-Achsen, analog
- Messbereich 5g
- Messgröße: Lage über Erdbeschleunigung

3. Verstärker

- Messverstärker (7x)

4. Gyroskop (2x)

- IDG300, 2-Achsen, analog
- Messgröße: $^{\circ}/s$



Anforderungen: Eisenbahn (1)

- Steuerung mehrerer Züge
 - Züge können angehalten werden
 - Züge können weg genommen werden (~ in Parkstellung)
 - Züge können dazu kommen (~ aus der Parkstellung)
- Veränderliches Streckennetz
 - Gleisstrecken können stillgelegt werden
 - Gleisstrecken können wieder in Betrieb genommen werden
 - keine Partitionierung des Schienennetzes
- Routenberechnung
 - gespeichert werden nur Start- und Endpunkt einer Route
 - der letztendlich Weg wird dynamisch berechnet



Anforderungen: Eisenbahn (2)

- Verwaltung von Zügen
 - in die Parkposition beordern
 - aus der Parkposition aufwecken
- Verwaltung von Gleisen
 - Stilllegen und Freigeben von Gleisabschnitten
- Verwaltung von Routen
 - Löschen/Neueingabe/Ändern/Zwischenstationen
- Not-Aus
 - sofortiges Stoppen der normalen Funktion
 - Übergang in einen sicheren Zustand
 - Passagiere müssen aussteigen können



Fakten: Eisenbahn

- Fülle von Dokumentation
 - Ort: `/proj/i4ezs/experimente/Eisenbahn`
- Auf Erkenntnisse früherer Semester darf zurück gegriffen werden!
- Problematik
 - Was steht in der Dokumentation, was nicht?
 - Was ist überhaupt relevant?
 - Sichtung der Daten ist nicht trivial!



Fakten: Eisenbahn

- relevant sind unter anderem
 - Gleislängen
 - bestehend aus mehreren Gleisstücken
 - entsprechende Daten z.B. bei www.trix.de
 - Geschwindigkeiten der Loks
 - maximale Geschwindigkeit ist gedeckelt
 - Bestimmung (= Messung) der maximalen Geschwindigkeit
 - Unterstützung mehrerer Geschwindigkeitsstufen
 - Latenzen
 - Besetzmelder, Schranken, Weichen, ...
 - Trix-Bus
 - Übertragungsgeschwindigkeit, ...
 - ...



Fakten: Eisenbahn

- manche Größen kann man sicherlich vernachlässigen
 - Verhältnis zu anderen Größen
 - können diese Größen akkumuliert werden
- Hauptaufgabe
 - relevante Größen finden
 - wie Verhalten sich diese Größen zu einander
 - was sind bei der Steuerung die zeitkritischen Teile



Fazit

- scheinbare Vorgänge sind physikalisch sehr komplex
- komplexe physikalische Vorgänge sind mathematisch häufig nicht analytisch lösbar
 - Vereinfachungen des Modells
 - numerische Lösungsansätze
- Massive Vereinfachungen sind notwendig
 - Was muss man wirklich wissen?
 - Was kann man wissen/messen?
 - Welche Einschränkungen sind damit verbunden?



Fazit

- scheinbare Vorgänge sind physikalisch sehr komplex
- komplexe physikalische Vorgänge sind mathematisch häufig nicht analytisch lösbar
 - Vereinfachungen des Modells
 - numerische Lösungsansätze
- Massive Vereinfachungen sind notwendig
 - Was muss man wirklich wissen?
 - Was kann man wissen/messen?
 - Welche Einschränkungen sind damit verbunden?

Entwurf des Echtzeitsystems setzt Vertrautheit mit dem physikalischen Objekt voraus!

