

Phase 1: Anwendungsanalyse

Echtzeitsysteme 2 - Vorlesung/Übung

Fabian Scheler
Peter Ulbrich
Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

<http://www4.cs.fau.de/~{scheler,ulbrich,wosch}>
{scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de



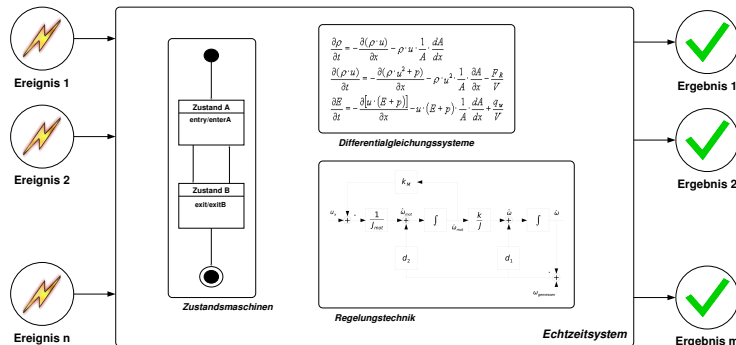
Übersicht

- Einordnung
- Zielsetzung
- Problematik
- Lösungsansätze
- Anforderungen & Fakten

© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

Einordnung – Phase 1

- Beziehungen zwischen **Ereignis n** und **Ergebnis m**
 - **zeitlich** – wie viel Zeit darf verstreichen → Termine
 - **physikalisch** – wie ist das Ergebnis zu bestimmen?



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 ↔ physikalischen Objekt gibt es?
- Wie sieht das physikalische Modell aus?
 - Welche Größen des physikalischen Modells muss man abbilden?
 - Wie bildet man diese Größen ab?

© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

Problematik

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



Problematik: Hau den Lukas

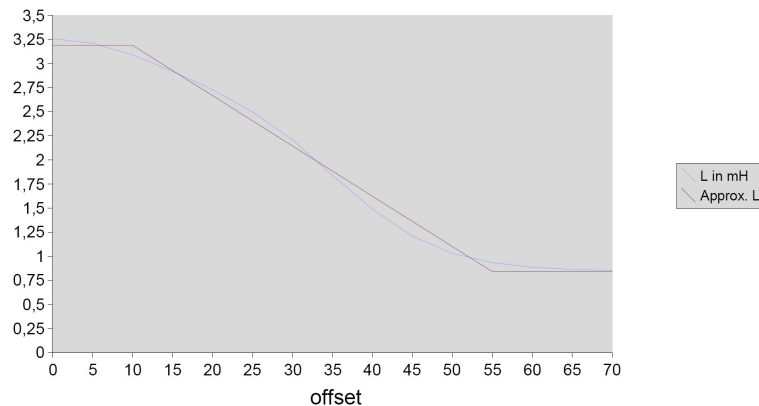
- **Schaltvorgänge** an den Spulen sind **nicht konstant!**
 - Ein- und Ausschaltvorgänge und die Induktionsgesetze
- **Induktivität** der Spule ist **nicht konstant!**
 - Wo ist der Eisenkern in der Spule?
- **Kraft** auf den Eisenkern in der Spule ist **nicht konstant!**
 - Wo ist der Eisenkern in 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

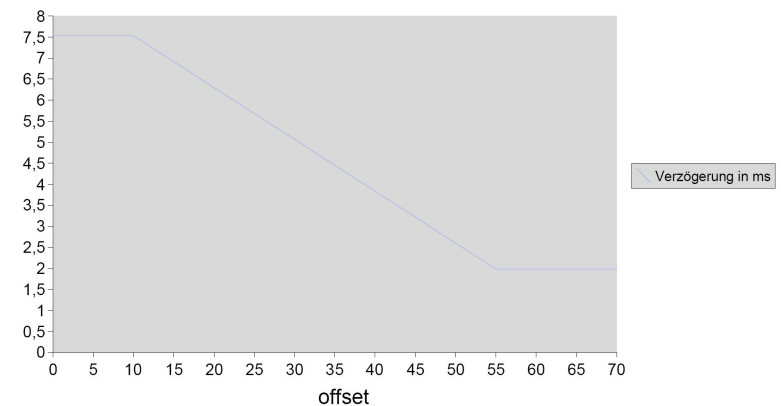
Induktivität



Ergebnisse: Hau den Lukas (SS 2006)

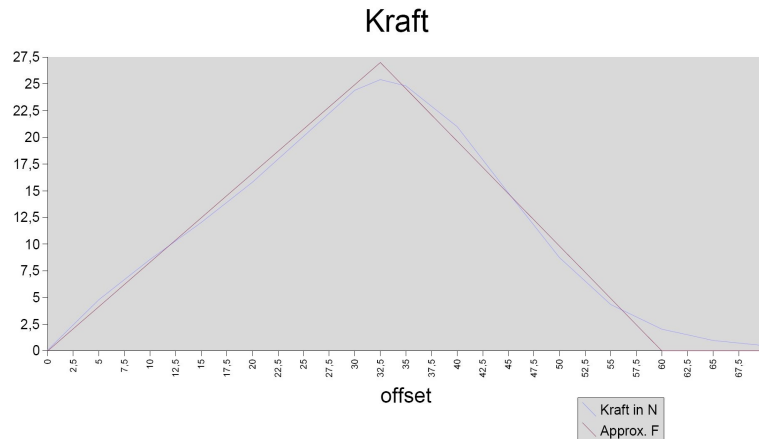
- Schaltverzögerung der Spule
 - in Abhängigkeit der Position des Eisenkerns

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

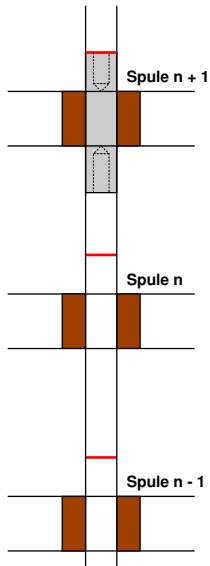
Lösungsansätze

- 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

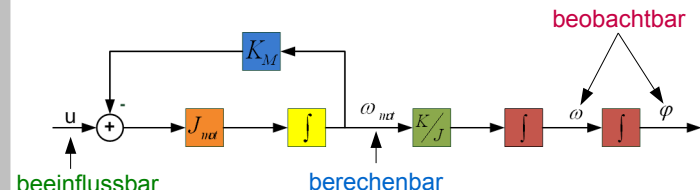
- dieses Modell sagt nichts aus über ...
 - den Eisenkern
 - die verwendeten Spulen
 - die Umgebungstemperaturen
- ➔ Eine gezielte Manipulation kann nicht garantiert werden
 - Wenn diese Größen verändert werden
- ➔ System muss sich *gutmütig* verhalten
 - gegenüber Parametern, die man nicht kontrollieren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

Regelungstechnik

- Problem
 - interner Zustand ist **nicht beobachtbar**
 - **interne Parameter beeinflussen das System** in relevantem Umfang
- Idee
 - **Nachbildung/Berechnung des Zustandes**
 - 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

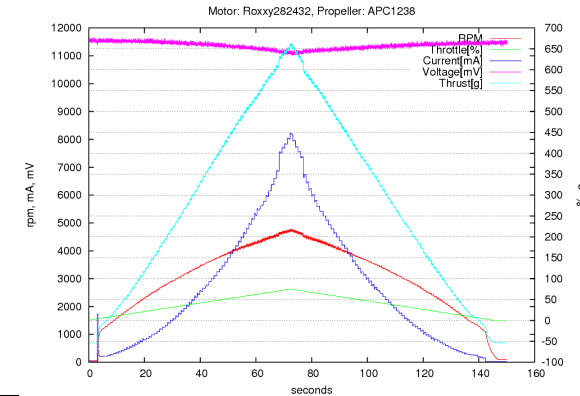
Beispiel: Quadkopter

- 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

- I4Copter
- Carolo-Cup
- Hau den Lukas
- Generator



Anforderung: I4Copter (1)

- Zielsetzung: semi-autonomer Flug
 - Stabiler **Schwebeflug**
 - Unterstützung durch automatisches **Starten & Landen**
 - Anfliegen von Wegpunkten - **Autopilot**
- Aufteilung
 - **Verhaltenssteuerung**
 - **feste Echtzeit**
 - GPS-Datenverarbeitung, Trajektorienberechnung
 - Hold-Position oder Fly-Home
 - **Fluglageregelung**
 - **harte Echtzeit**
 - Erfassung/Aufbereitung von Sensorwerten
 - Berechnung neuer Stellgrößen
 - Ansteuerung von Aktoren



Anforderung: I4Copter (2)

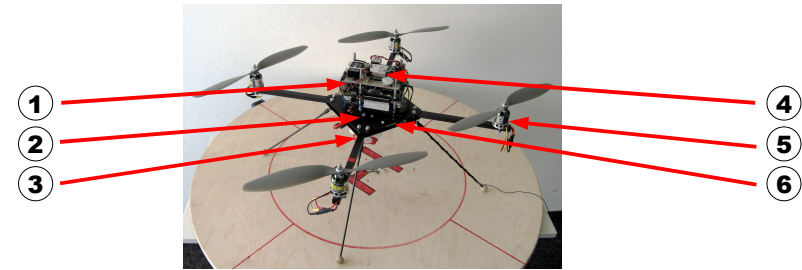
- **Komponentenüberwachung und Verhaltensmodell**
 - **Komponentenzustand** und -überwachung (Init, Active, Error)
 - Analyse und Spezifikation von Arbeitspunkten
 - Übergeordnetes **Verhaltensmodell** (z.B. Zustandsautomat)
- **Ausnahmebehandlung**
 - Fehleranalyse
 - Entwurf
 - Implementierung & Integration
- **Höhen- und Gier-Regler**
 - Bestimmung der Drehung über Gyroskop und Kompass
 - Bestimmung der Höhe über IR-Abstands- und Druck-Sensor



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

21

Fakten: I4Copter (1)



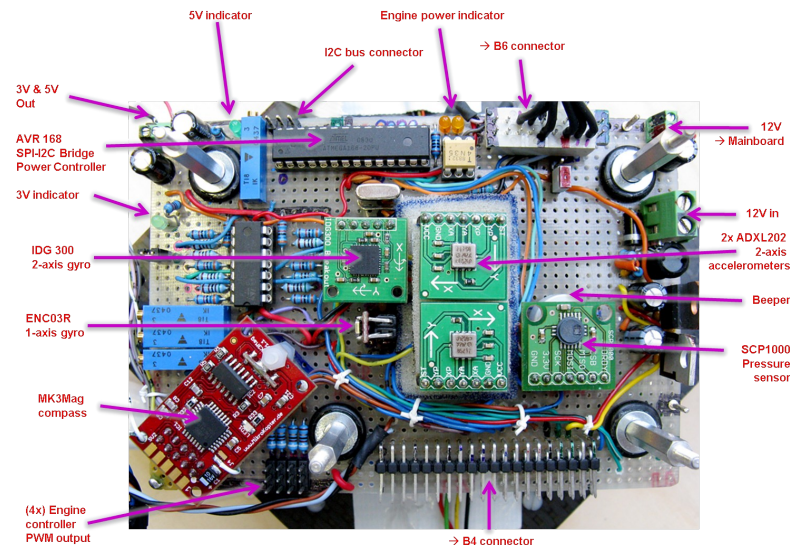
1. Sensorboard
 - X,Y,Z – Gyroskope
 - X, Y – Accelerometer
 - Barometer
 - Kompass
2. Tricore 1796 Board
 - Ethernet
 - 150MHz, 2MB MRAM
3. Akku
4. Funkempfänger
 - RC und WLAN
5. Antrieb
 - Bürstenloser Motor
6. Motorregler
 - I2C Bus – Diskret 255 Stufen



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

22

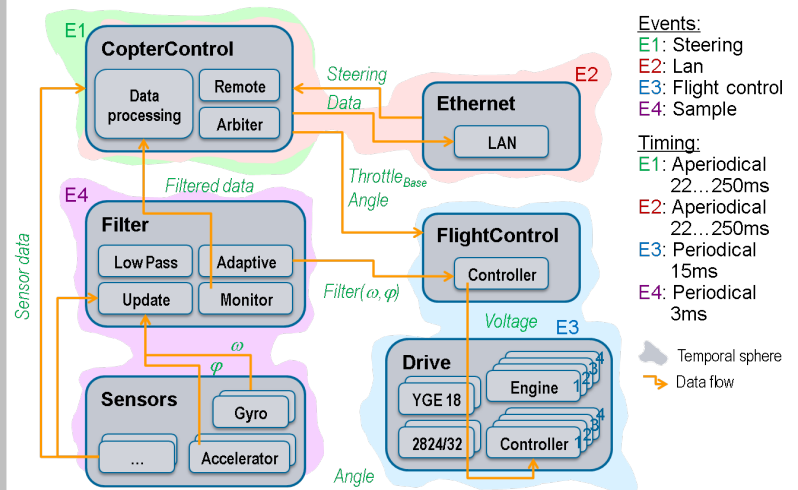
Fakten: I4Copter (2)



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

23

Fakten: I4Copter (3)



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

24

Anforderung: Carolo-Cup (1)

- **Zielsetzung:** autonomes
 - Abfahren eines **Rundkurses**
 - Abfahren eines Rundkurses und Ausweichen von **Hindernissen**
 - paralleles **Einparken**
- **Aufteilung der Steuerung**
 - **High-Level:** Netbook, Intel Atom
 - **weiche/feste Echtzeit**
 - Bildverarbeitung, Fahrspurerkennung, Trajektorienplanung
 - **Low-Level:** Mikrocontroller, Infineon TriCore TC1796
 - **harte Echtzeit**
 - Geschwindigkeitsregelung und Orientierungssteuerung
 - Erfassung/Aufbereitung von Sensorwerten
 - Ansteuerung von Aktoren



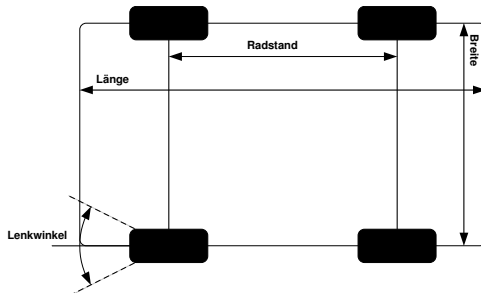
Anforderung: Carolo-Cup (2)

- **Ausnahmebehandlung**
 - Fehleranalyse
 - Entwurf
 - Implementierung & Integration
- **Geschwindigkeitsmessung**
 - basierend auf Encoderscheiben
 - Signalerfassung über GPA
 - Messen der Flanken/Zeiteinheit vs. Zeit zwischen zwei Flanken
- **(Orientierungsregelung)**
 - basierend auf einer existierenden Orientierungssteuerung
 - Bestimmung von Beschleunigung/Drehung über eine IMU

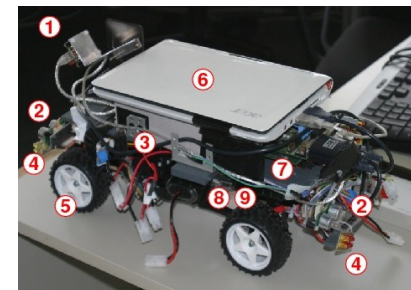


Fakten: Carolo-Cup (1)

- **Tamiya: VW Race Touareg**
 - Lenkwinkel: $\pm 20^\circ$
 - Länge: 445 mm
 - Breite: 187 mm
 - Radstand: 267 mm



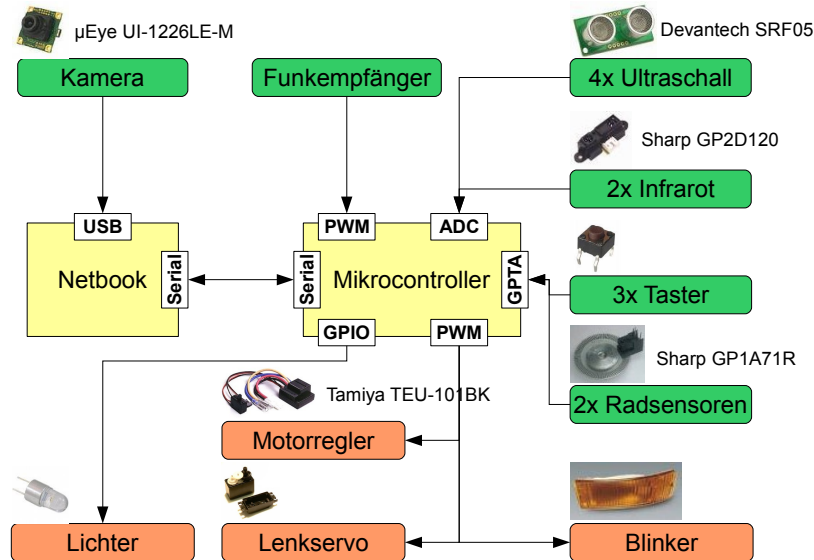
Fakten: Carolo-Cup (2)



- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Kamera | 6. Netbook |
| 2. Ultraschallsensoren | 7. Infineon TriCore TC1796 |
| 3. Infrarotsensoren | 8. Lenkservo |
| 4. LEDs | 9. Fahrtenregler |
| 5. Encoderscheiben | |



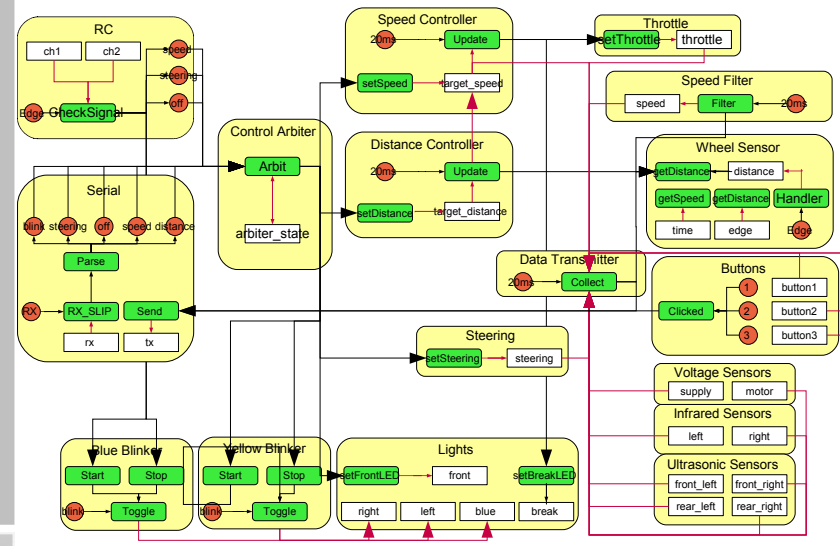
Fakten: Carolo-Cup (3)



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

29

Fakten: Carolo-Cup (4)



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

30

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**

© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

31

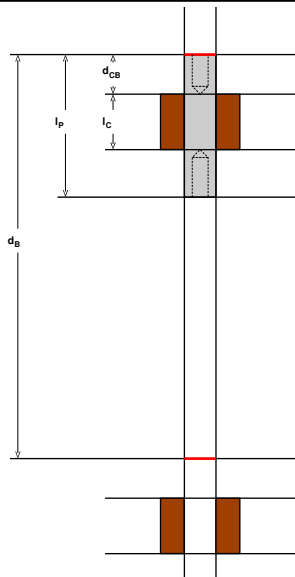
Anforderungen: Hau den Lukas (2)

- **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

© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

32

Fakten: Hau den Lukas

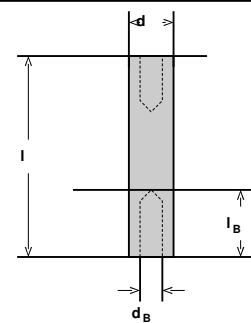


l_C	Länge: Spule	30 mm
l_P	Länge: Projektil	82 mm
d_B	Abstand: Lichtschranken	230 mm
d_{CB}	Abstand: Spule – Lichtschranke	24 mm

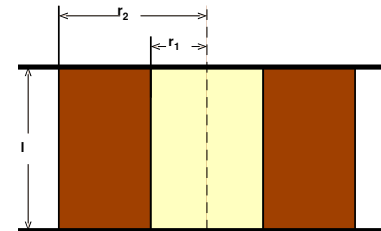
© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

33

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%

© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

34

Fakten: Hau den Lukas

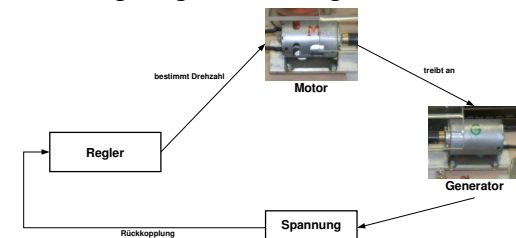
- Ansteuerung der Spulen
 - Pin 0.5 – Pin 0.12 (x.y: x – Port, y – Pin)
- Abfrage der Lichtschranken
 - Pin 7.0 – Pin 7.7
- Unterbrechungen der Lichtschranken
 - Pin 1.0
- Dauer von Auslösung der Lichtschranke bis zur ISR
 - vernachlässigbar

© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

35

Anforderung: Generator

- Implementierung folgendes Regelkreises:

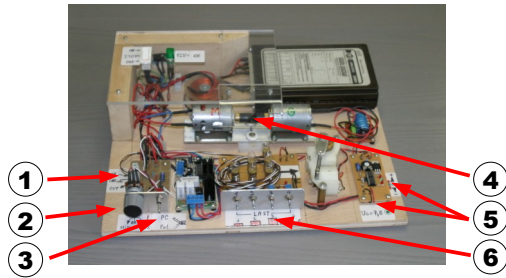


- *naiver* Regler
 - Hochfrequente Abtastung des Systems
 - kleine Änderungen der Stellgrößen
- Reglerimplementierung
 - mit/ohne Beobachter
- Bestimmung der Kennlinien für Motor und Generator
- Evaluation: Einschwingverhalten

© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

36

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



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

37

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



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

38

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?



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

39

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?



© {scheler,ulbrich,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2009)

40

Entwurf des Echtzeitsystems setzt Vertrautheit mit dem physikalischen Objekt voraus!