

Phase 1: Anwendungsanalyse

Echtzeitsysteme 2 - Vorlesung/Übung

Peter Ulbrich
Fabian Scheler
Wolfgang Schröder-Preikschat

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

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



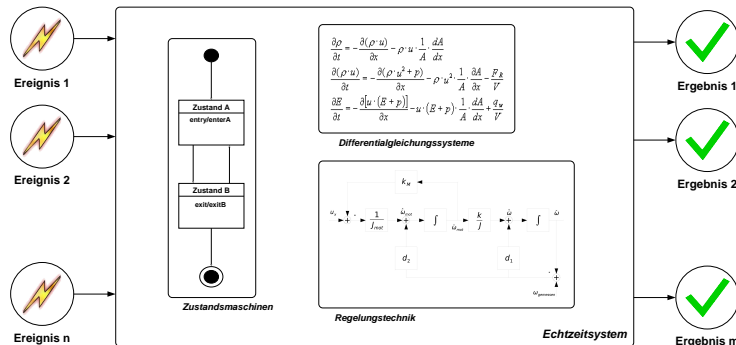
Übersicht

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

© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

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

© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

Problematik

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



Problematik: Hau den Lukas

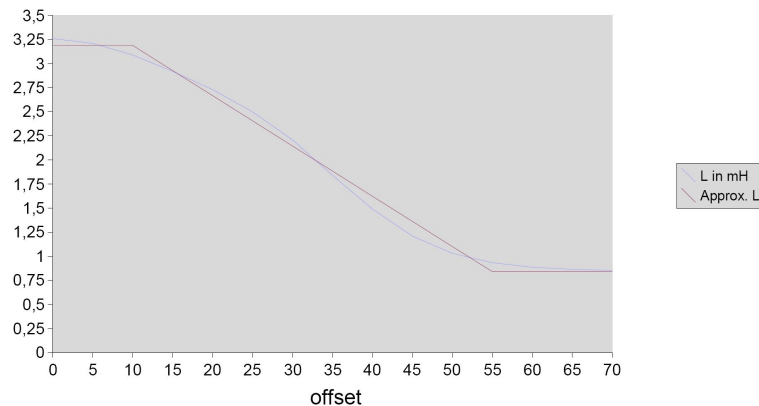
- **Schaltvorgänge** an den Spulen sind **nicht konstant!**
 - Ein- und Ausschaltvorgänge und die Induktionsgesetze
- **Induktivität** der Spule ist **nicht konstant!**
 - Wo ist der Eisenkern in der Spule?
- **Kraft** auf den Eisenkern in der Spule ist **nicht konstant!**
 - Wo ist der Eisenkern in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

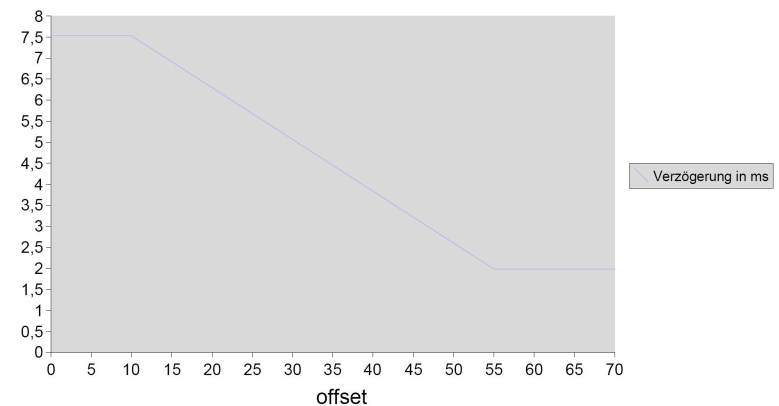
Induktivität



Ergebnisse: Hau den Lukas (SS 2006)

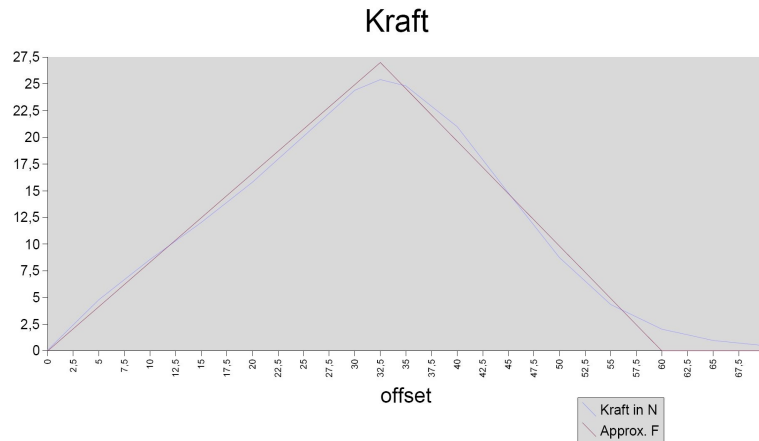
- Schaltverzögerung der Spule
 - in Abhängigkeit der Position des Eisenkerns

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

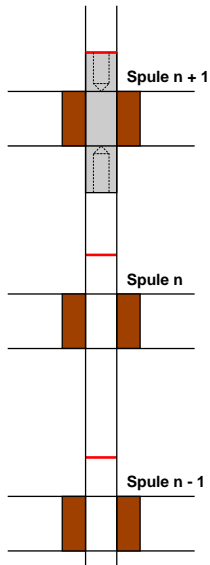
Lösungsansätze

- 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 Wertebereiche
 - 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

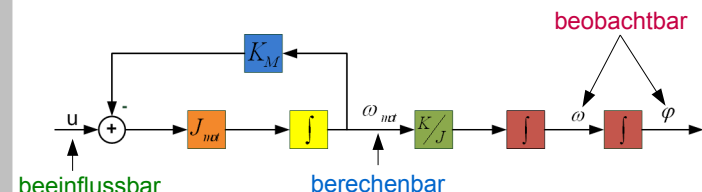
- dieses Modell sagt nichts aus über ...
 - den Eisenkern
 - die verwendeten Spulen
 - die Umgebungstemperaturen
- ➔ Eine gezielte Manipulation kann nicht garantiert werden
 - wenn diese Größen verändert werden
- ➔ System muss sich *gutmütig* verhalten
 - gegenüber Parametern, die man nicht kontrollieren 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

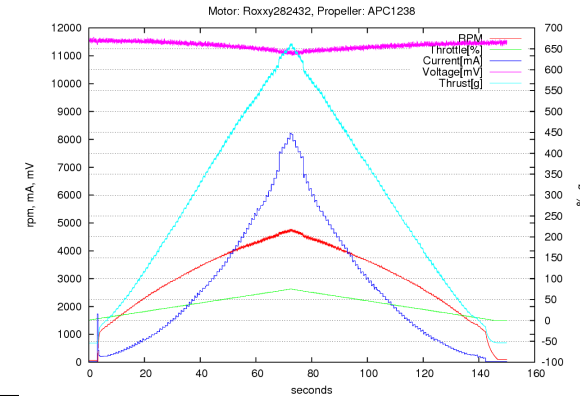
Beispiel: Quadcopter

- Beobachtung
 - Winkelgeschwindigkeit ω und Lage φ um X bzw. Y-Achse
- Manipulation
 - 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 beobachtbar, 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



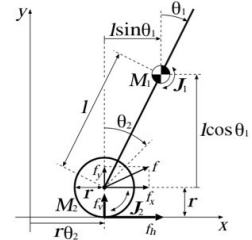
Anforderungen & Fakten

- NXT Standalone
- Hau den Lukas
- Generator
- I4Copter



Anforderung: NXT Standalone

- Zielsetzung: Stabiler Stand
 - Zusätzlich: Fahren & Ausweichen
 - Optional: Fernsteuerung
 - Variante: Robot on a ball
- Reglerimplementierung
 - Regelgröße:
 - Motorspannung \rightarrow Winkel (Rad) \rightarrow Winkel (Standalone)
 - Regelziele:
 - Stabilisierung (Winkel)
 - Positionsbestimmung (Weg)
 - PID-Regler und Sensorfusion:
 - Gyroskop und Winkelencoder



Fakten: NXT Standalone (1)

NXT Block

- Hauptprozessor: **32-bit ARM7** (AT91SAM7S256)
 - 256 KB FLASH, 64 KB RAM, 48 MHz
- Co-Prozessor: 8-bit AVR ATmega48
 - 4 KB FLASH, 512 Byte RAM, 8 Mhz

Schnittstellen

- **4 Eingänge** (analog/digital)
- **3 Ausgänge** (Rückkanal)
- 4 Druckknöpfe



Kommunikation

- **Bluetooth** CSR BlueCoreTM 4 v2.0 +EDR System
- USB 2.0 Anschluss



Fakten: NXT Standalone (2)

Varianten:

Ultraschall Abstandssensor

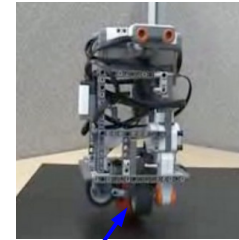


1-Achs Gyro

Motor (Encoder)



NXT Block



Ball



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

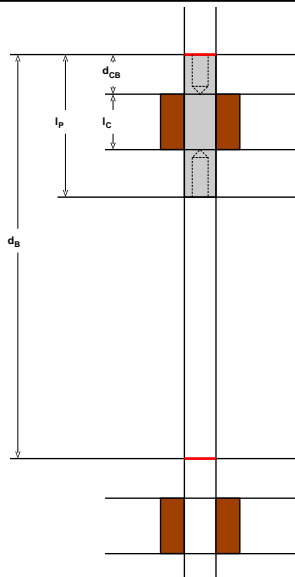
- sofortiges Stoppen der normalen Funktion
 - Übergang in einen sicheren Zustand

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

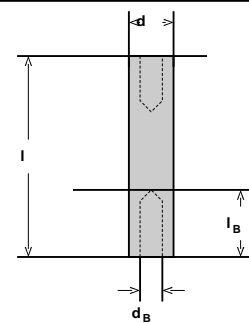


l_C	Länge: Spule	30 mm
l_P	Länge: Projektil	82 mm
d_B	Abstand: Lichtschranken	230 mm
d_{CB}	Abstand: Spule – Lichtschranke	24 mm

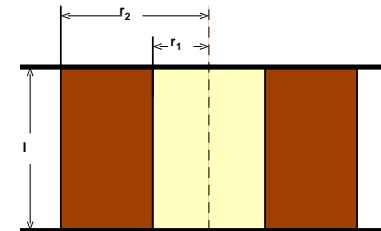
© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

25

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%

© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

26

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

© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

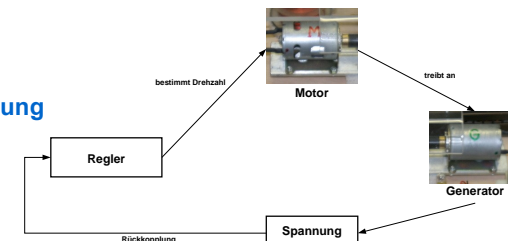
27

Anforderung: Generator

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

Leitwarte

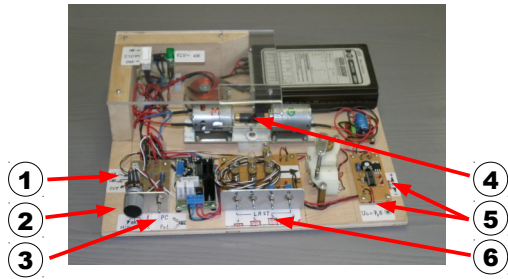
- Bedienpult
- Steuerung & Überwachung



© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

28

Fakten: Generator



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



Fakten: Generator

1. **Einstellung der Referenzspannung**
 - Manuell oder über Bedienpult
2. „Kalibrierung“ des Reglers
3. **Umschalten auf die Steuerspannung**
 - Und damit auf den implementierten Regler
4. **Rückmeldung an die Leitwarte**
 - Überwachung und Kontrolle



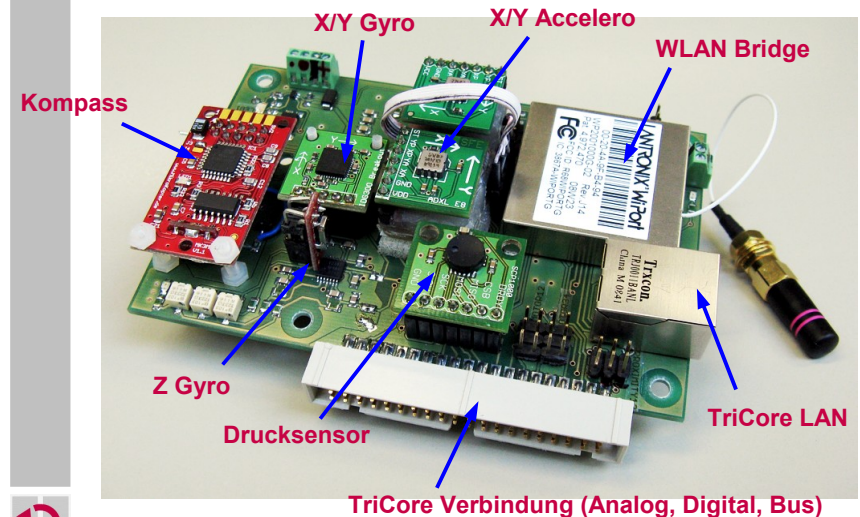
Anforderung: I4Copter

- **Zielsetzung:** semi-autonomer Flug
 - Stabiler **Schwebeflug**
 - Unterstützung durch automatisches **Starten & Landen**
 - Anfliegen von Wegpunkten - **Autopilot**
- **Komponentenüberwachung und Verhaltensmodell**
 - **Komponentenzustand** und **-überwachung** (Init, Active, Error)
 - Analyse und Spezifikation von Arbeitspunkten
 - Übergeordnetes **Verhaltensmodell** (z.B. Zustandsautomat)
- **Höhen-Regler**
 - Bestimmung der relativen Höhe über Ultraschall-Abstandssensor
 - und der absoluten Höhe über Druck-Sensoren
 - Unterschiedliche **Arbeitspunkte** (Start / Landung; Flug)



Fakten: I4Copter (1)

- **I4Copter Peripheral Board Mark2**

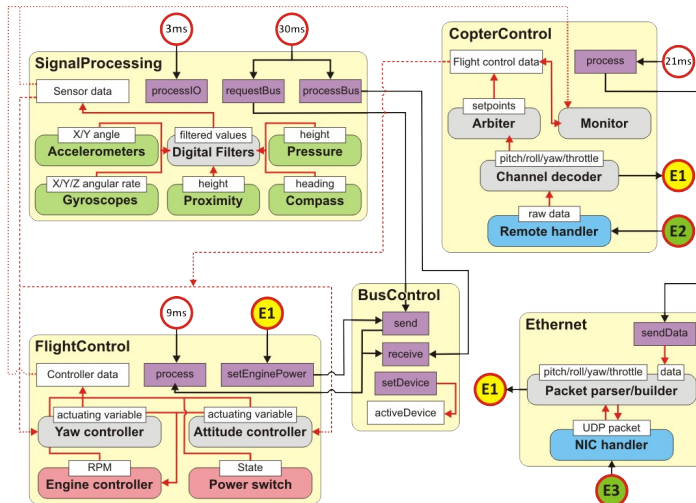


TriCore Verbindung (Analog, Digital, Bus)



Fakten: I4Copter (2)

I4Copter Software Struktur



© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

33

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?

© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

34

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!

Ergebnis

- Welche Aktivitäten laufen in dem System ab?
 - Können diese Aktivitäten feiner strukturiert werden?
 - Laufen Elemente einer Aktivität zeitgleich ab?
 - Das sind die **Aufgaben**!
- Wann werden diese Aktivitäten ausgeführt?
 - Welche zeitlichen Eigenschaften haben diese Zeitpunkte?
 - Das sind die **Ereignisse**!
- Was hängt von den berechneten Ergebnissen ab?
 - Wie viel Zeit kann dabei verstreichen?
 - Das sind die **Termine**!

© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

36

© {ulbrich,scheler,wosch}@cs.fau.de - EZL (SS 2010)

35