

# Echtzeitsysteme

**Peter Ulbrich**

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

<https://www4.cs.fau.de>

Wintersemester 2016/17



# Echtzeitsysteme

## Lehrveranstaltungskonzept & Organisation

**Peter Ulbrich**

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

<https://www4.cs.fau.de>

21. Oktober 2016



*Die Lehrveranstaltung ist grundsätzlich für alle Studiengänge offen. Sie verlangt allerdings gewisse Vorkenntnisse. Diese müssen nicht durch Teilnahme an den Lehrveranstaltungen von I4 erworben worden sein.*





Echtzeit ist ein strapazierter Begriff



# Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

---



Echtzeit ist ein strapazierter Begriff



Es geht nicht um **Geschwindigkeit**  
sondern um **Rechtzeitigkeit!**



# Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

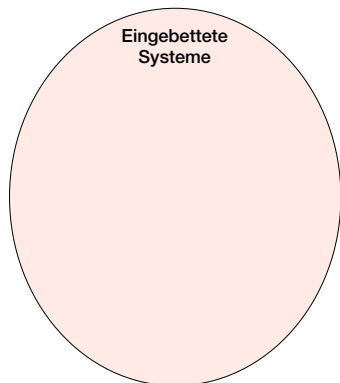


Echtzeit ist ein strapazierter Begriff



Es geht nicht um **Geschwindigkeit** sondern um **Rechtzeitigkeit!**

- **Echtzeitsysteme**, eine (strikte) Definition und Einordnung:
  - **Eingebettet** in die Umwelt und abhängig von der Hardware



# Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition



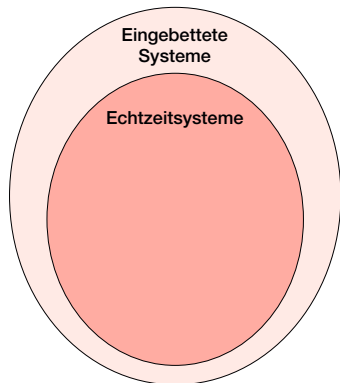
Echtzeit ist ein strapazierter Begriff



Es geht nicht um **Geschwindigkeit** sondern um **Rechtzeitigkeit!**

■ **Echtzeitsysteme**, eine (strikte) Definition und Einordnung:

- **Eingebettet** in die Umwelt und abhängig von der Hardware
- An die **Realzeit** gekoppelt



# Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition



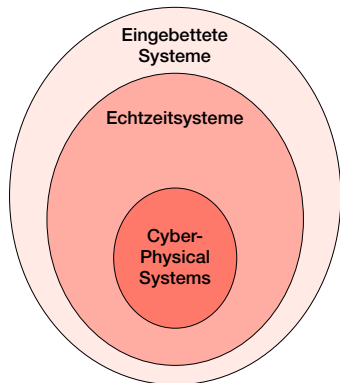
Echtzeit ist ein strapazierter Begriff



Es geht nicht um **Geschwindigkeit** sondern um **Rechtzeitigkeit!**

■ **Echtzeitsysteme**, eine (strikte) Definition und Einordnung:

- **Eingebettet** in die Umwelt und abhängig von der Hardware
- An die **Realzeit** gekoppelt
- Steuerung und Regelung von **physikalischen Prozessen**



# Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

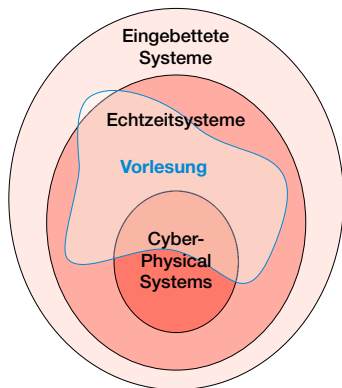
☞ Echtzeit ist ein strapazierter Begriff

⚠ Es geht nicht um **Geschwindigkeit** sondern um **Rechtzeitigkeit!**

■ **Echtzeitsysteme**, eine (strikte) Definition und Einordnung:

- **Eingebettet** in die Umwelt und abhängig von der Hardware
- An die **Realzeit** gekoppelt
- Steuerung und Regelung von **physikalischen Prozessen**

☞ Entwicklung erfolgt typischerweise **interdisziplinär!**



## 1 Vorwort

## 2 Die Veranstaltung

- Lernziele und Voraussetzungen
- Einordnung

## 3 Organisatorisches

- Die Beteiligten
- Vorlesung und Übung
- Leistungsnachweise
- Literaturempfehlungen





Querschneidender Einblick in die Welt der Echtzeitsysteme



# Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung

---



Querschneidender Einblick in die Welt der Echtzeitsysteme

- Ausgehend von den Eigenschaften der Hardware



Hardware



# Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung



Querschneidender Einblick in die Welt der **Echtzeitsysteme**

- Ausgehend von den Eigenschaften der **Hardware**
- Über das **Echtzeitbetriebssystem** und seine Implementierung

**AUTOSAR**

**ecos**

**LynxOS**  
FROM LINUXWORKS

Echtzeitbetriebssystem

**ARM**  
POWERED

**ATMEL AVR**

**MIPS**  
TECHNOLOGIES

Hardware

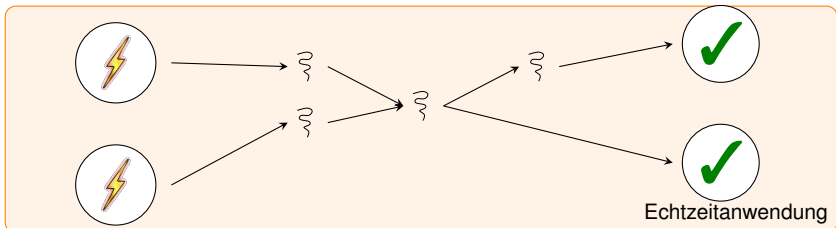


# Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung



Querschneidender Einblick in die Welt der **Echtzeitsysteme**

- Ausgehend von den Eigenschaften der **Hardware**
- Über das **Echtzeitbetriebssystem** und seine Implementierung
- bis zum strukturellen Aufbau von **Echtzeitanwendungen**



**AUTOSAR**

**ecos**

**LynxOS**  
FROM ITWORKS

Echtzeitbetriebssystem

ARM  
POWERED

**ATMEL** AVR

**MIPS**  
TECHNOLOGIES

Hardware

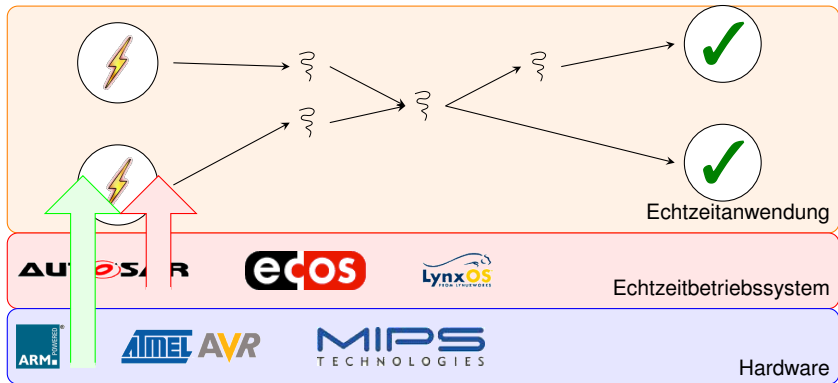


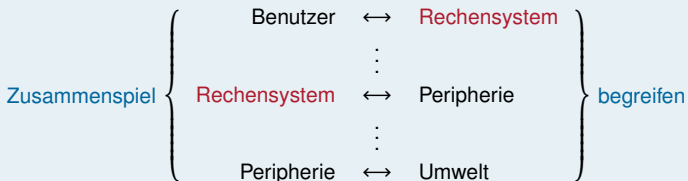
# Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung



## Querschnittender Einblick in die Welt der Echtzeitsysteme

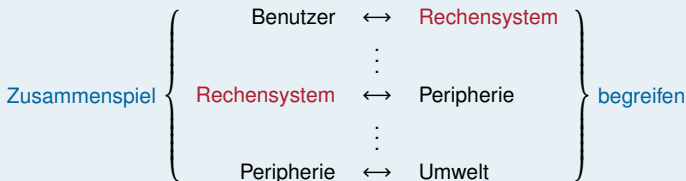
- Ausgehend von den Eigenschaften der Hardware
- Über das Echtzeitbetriebssystem und seine Implementierung
- bis zum strukturellen Aufbau von Echtzeitanwendungen





- Echtzeitsysteme als Ganzes **verstehen**:
  - Grad der **Echtzeitfähigkeit** eines Systems **erkennen**
  - Einfluss der **Hard-/Softwareplattform bewerten**
  - **Temporale Aspekte** physikalischer Prozesse **erfassen**





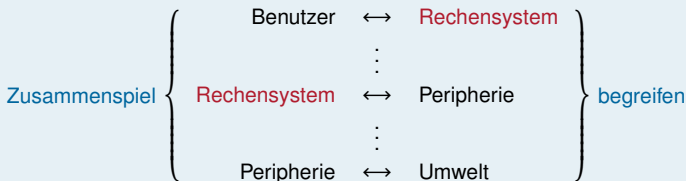
## ■ Echtzeitsysteme als Ganzes **verstehen**:

- Grad der **Echtzeitfähigkeit** eines Systems **erkennen**
- Einfluss der **Hard-/Softwareplattform bewerten**
- **Temporale Aspekte** physikalischer Prozesse **erfassen**

## ■ Echtzeitsysteme **entwickeln**:

- Anwendungen **analysieren** und Werkzeuge einsetzen (Oszilloskop, aiT, ...)
- **Systeme** praktisch und (betriebs-)systemnah **bauen** (eCos, C/C++, ...)





- Echtzeitsysteme als Ganzes **verstehen**:
  - Grad der **Echtzeitfähigkeit** eines Systems **erkennen**
  - Einfluss der **Hard-/Softwareplattform bewerten**
  - **Temporale Aspekte** physikalischer Prozesse **erfassen**
- Echtzeitsysteme **entwickeln**:
  - Anwendungen **analysieren** und Werkzeuge einsetzen (Oszilloskop, aiT, ...)
  - **Systeme** praktisch und (betriebs-)systemnah **bauen** (eCos, C/C++, ...)
- **Vertiefen** des Wissens über Echtzeitbetriebssysteme
  - Ablaufplanung und Betriebsmittelverwaltung
  - Mehrkern-Rechensysteme



- **Vorlesung:** Vorstellung und detaillierte Behandlung des Stoffs
  - Grundlagen von Echtzeitsystemen
    - Zeit- und ereignisgesteuerte Systeme
    - Periodische und sporadische Aufgaben (engl. *tasks*)
    - Einplanung und Koordination
  - Anwendung dieser Konzepte innerhalb von Echtzeitanwendungen
    - Wie beeinflussen diese Konzepte das Ablaufverhalten?
    - Wie implementieren Echtzeitbetriebssysteme diese Konzepte?



- **Vorlesung:** Vorstellung und detaillierte Behandlung des Stoffs
  - Grundlagen von Echtzeitsystemen
    - Zeit- und ereignisgesteuerte Systeme
    - Periodische und sporadische Aufgaben (engl. *tasks*)
    - Einplanung und Koordination
  - Anwendung dieser Konzepte innerhalb von Echtzeitanwendungen
    - Wie beeinflussen diese Konzepte das Ablaufverhalten?
    - Wie implementieren Echtzeitbetriebssysteme diese Konzepte?
  
- **Übung:** Vertiefung und praktische Anwendung
  - Anwendungs- und Systemprogrammierung (Software-Oszilloskop)
  - Ablaufverhalten durch das EZ-Betriebssystem beeinflussen
  - Werkzeuge aus dem industriellen Umfeld einsetzen



- **Tafelübungen**  $\rightsquigarrow$  „*learning by exploring*“
  - Besprechung der Übungsaufgaben, Skizzierung von Lösungswegen
  - Vertiefung des Vorlesungsstoffes, Klärung offener Fragen



- **Tafelübungen**  $\rightsquigarrow$  „*learning by exploring*“
  - Besprechung der Übungsaufgaben, Skizzierung von Lösungswegen
  - Vertiefung des Vorlesungsstoffes, Klärung offener Fragen
  
- **Rechnerarbeit**  $\rightsquigarrow$  „*learning by doing*“
  - Selbstständiges Bearbeiten der Übungsaufgaben am Rechner
    - Abgabe der bearbeiteten Übungsaufgaben
    - Klärung von Unklarheiten/Problemen bei/mit den Übungsaufgaben
  - Rechner ist allerdings **kein Tafelersatz**
  - Bereitet euch vor! Wir erwarten konkrete Fragen!



# Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

- **Tafelübungen**  $\leadsto$  „*learning by exploring*“
    - Besprechung der Übungsaufgaben, Skizzierung von Lösungswegen
    - Vertiefung des Vorlesungsstoffes, Klärung offener Fragen
  - **Rechnerarbeit**  $\leadsto$  „*learning by doing*“
    - Selbstständiges Bearbeiten der Übungsaufgaben am Rechner
      - Abgabe der bearbeiteten Übungsaufgaben
      - Klärung von Unklarheiten/Problemen bei/mit den Übungsaufgaben
    - Rechner ist allerdings **kein Tafelersatz**
- **Bereitet euch vor! Wir erwarten konkrete Fragen!**

*Der, die, das.  
Wer, wie, was?  
Wieso, weshalb, warum?  
Wer nicht fragt, bleibt dumm!*



- **Systemprogrammierung**, Grundlagen der Informatik
- **C / C++**, Java
- Ein gewisses Maß an **Durchhaltevermögen**
- Freude an systemnaher und **praktischer Programmierung**

Wir arbeiten mit eingebetteten Systemen!



# Voraussetzungen

---

- **Systemprogrammierung**, Grundlagen der Informatik
- **C / C++**, Java
- Ein gewisses Maß an **Durchhaltevermögen**
- Freude an systemnaher und **praktischer Programmierung**

Wir arbeiten mit eingebetteten Systemen!

Die meisten sind überrascht, wie viel Spaß das macht :-)



# Voraussetzungen

---

- **Systemprogrammierung**, Grundlagen der Informatik
- **C / C++**, Java
- Ein gewisses Maß an **Durchhaltevermögen**
- Freude an systemnaher und **praktischer Programmierung**

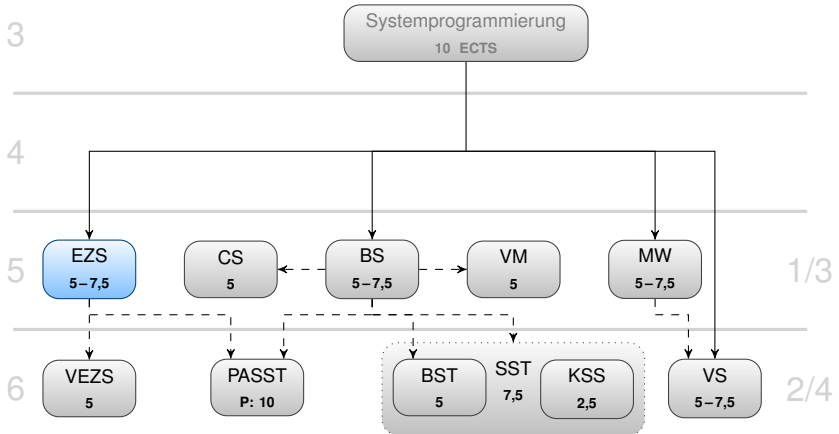
Wir arbeiten mit eingebetteten Systemen!

Die meisten sind überrascht, wie viel Spaß das macht :-)

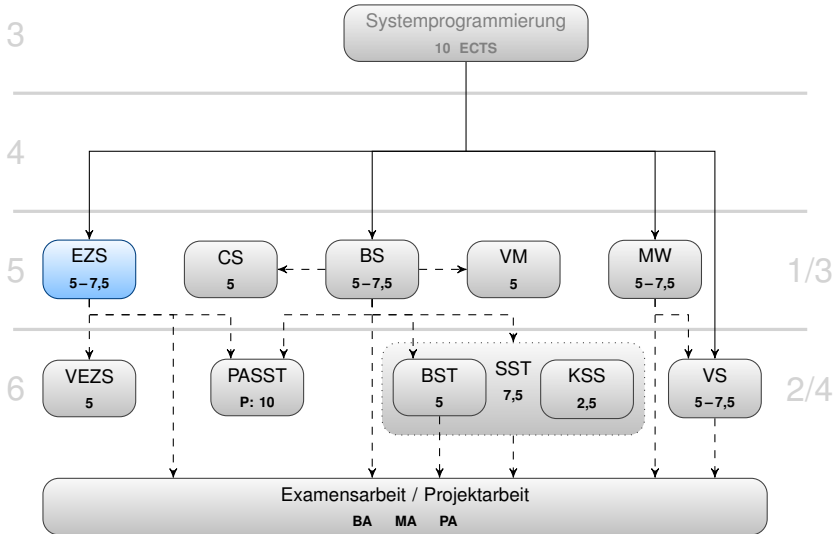
NEU: Testet Eure Programmierkenntnisse (→ Webseite)



# Einpassung in den Studienplan

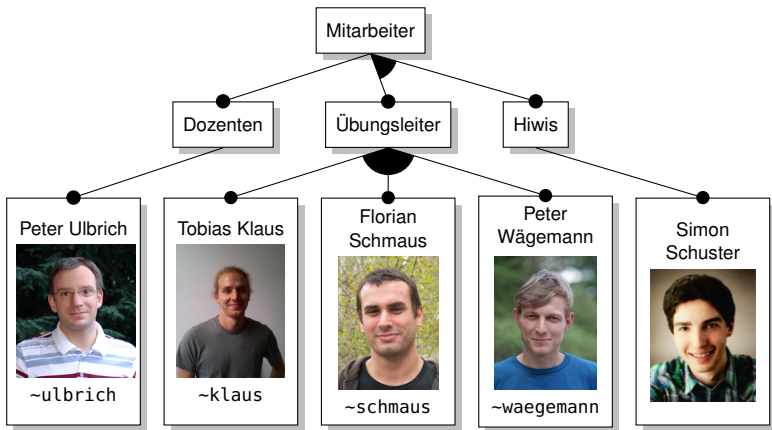


# Einpassung in den Studienplan



- 1 Vorwort
- 2 Die Veranstaltung
  - Lernziele und Voraussetzungen
  - Einordnung
- 3 Organisatorisches
  - Die Beteiligten
  - Vorlesung und Übung
  - Leistungsnachweise
  - Literaturempfehlungen





## Vorlesung: Zeit und Ort

- Freitag, 10:15 – 11:45, H16



## Vorlesung: Zeit und Ort

- Freitag, 10:15 – 11:45, H16

## Planmäßige Ausfälle

- 02.12. und 23.12.



**Änderungen und Hinweise:** siehe Webseite bzw. Mailingliste



## Vorlesung: Zeit und Ort

- Freitag, 10:15 – 11:45, H16

## Planmäßige Ausfälle

- 02.12. und 23.12.



**Änderungen und Hinweise:** siehe Webseite bzw. Mailingliste

- **Handzettel** (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
  - [https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V\\_EZS/](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V_EZS/)
  - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben



## Vorlesung: Zeit und Ort

- Freitag, 10:15 – 11:45, H16

## Planmäßige Ausfälle

- 02.12. und 23.12.



**Änderungen und Hinweise:** siehe Webseite bzw. Mailingliste

- **Handzettel** (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
  - [https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V\\_EZS/](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V_EZS/)
  - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben
- **Wosch's Glossar** :
  - Relevante Begriff der Informatik außerhalb des Vorlesungskerns
  - Als Wiederholung (Inf) beziehungsweise zum Einstieg ( $\neg$ Inf)
  - Wird im Lauf der Vorlesung auf EZS angepasst



## Vorlesung: Zeit und Ort

- Freitag, 10:15 – 11:45, H16

## Planmäßige Ausfälle

- 02.12. und 23.12.



**Änderungen und Hinweise:** siehe Webseite bzw. Mailingliste

- **Handzettel** (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
  - [https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V\\_EZS/](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V_EZS/)
  - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben
- **Wosch's Glossar** :
  - Relevante Begriff der Informatik außerhalb des Vorlesungskerns
  - Als Wiederholung (Inf) beziehungsweise zum Einstieg ( $\neg$ Inf)
  - Wird im Lauf der Vorlesung auf EZS angepasst
- **Literaturempfehlungen** siehe Folie 19



## Vorlesung: Zeit und Ort

- Freitag, 10:15 – 11:45, H16

## Planmäßige Ausfälle

- 02.12. und 23.12.



**Änderungen und Hinweise:** siehe Webseite bzw. Mailingliste

- **Handzettel** (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
  - [https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V\\_EZS/](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V_EZS/)
  - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben
- **Wosch's Glossar** :
  - Relevante Begriff der Informatik außerhalb des Vorlesungskerns
  - Als Wiederholung (Inf) beziehungsweise zum Einstieg ( $\neg$ Inf)
  - Wird im Lauf der Vorlesung auf EZS angepasst
- Literaturempfehlungen siehe Folie 19
- **Fachbegriffe** der Informatik (Deutsch  $\leftrightarrow$  Englisch)
  - [www.aktionlebendigesdeutsch.de](http://www.aktionlebendigesdeutsch.de)



## Tafelübung: Zeit und Ort

- Montag, 10:15 – 11:45
- Mittwoch, 10:15 – 11:45  
jeweils 0.031-113
- **Optional** weitere Termine

## Rechnerübung: Zeit und Ort

- Dienstag, 14:15 – 15:45
- Dienstag, 16:15 – 17:45 jeweils  
im 02.151-113 (CIP2)
- **Optional** weitere Termine



---

<sup>1</sup>Abk. für Webanmeldefrickelformular Enterprise Logic

## Tafelübung: Zeit und Ort

- Montag, 10:15 – 11:45
- Mittwoch, 10:15 – 11:45  
jeweils 0.031-113
- **Optional** weitere Termine

## Rechnerübung: Zeit und Ort

- Dienstag, 14:15 – 15:45
- Dienstag, 16:15 – 17:45 jeweils  
im 02.151-113 (CIP2)
- **Optional** weitere Termine

## ■ Übung

- Übungsaufgaben sind bevorzugt in Gruppen zu bearbeiten
- Tafel- und Rechnerübung
- **Rechnerarbeit:** größtenteils in Eigenverantwortung

<sup>1</sup>Abk. für Webanmeldefrickelformular Enterprise Logic



## Tafelübung: Zeit und Ort

- Montag, 10:15 – 11:45
- Mittwoch, 10:15 – 11:45  
jeweils 0.031-113
- **Optional** weitere Termine

## Rechnerübung: Zeit und Ort

- Dienstag, 14:15 – 15:45
- Dienstag, 16:15 – 17:45 jeweils  
im 02.151-113 (CIP2)
- **Optional** weitere Termine

## ■ Übung

- Übungsaufgaben sind bevorzugt in Gruppen zu bearbeiten
- Tafel- und Rechnerübung
- **Rechnerarbeit**: größtenteils in Eigenverantwortung



**Anmeldung** ab 21.10.16, 15:00 Uhr

- Über **waffel**<sup>1</sup> (URL siehe Webseite von EZS)
- Automatisch: Labor-Login (CIP-Import) und Mailingliste

<sup>1</sup>Abk. für Webanmeldefrickelformular Enterprise Logic



VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs



## VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

## Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- 7 Übungsaufgaben
- Abnahme alle 14 Tage



# Studien- und Prüfungsleistungen (1)

## VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

## Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- 7 Übungsaufgaben
- Abnahme alle 14 Tage

oder

## EÜ – Erweiterte Übung

5

- Übung (Ü)
- + erweiterte Aufgaben
- + vertiefende Abfrage



# Studien- und Prüfungsleistungen (1)

## VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

## Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- 7 Übungsaufgaben
- Abnahme alle 14 Tage

oder

## EÜ – Erweiterte Übung

5

- Übung (Ü)
- + erweiterte Aufgaben
- + vertiefende Abfrage

+

## RÜ – Rechnerübung

0

- **Betreutes** Arbeiten am Rechner
- Hilfe zu eCos, Oszilloskop, aiT, ...



### ■ **Wahlpflichtmodul** (Bachelor/Master) der Vertiefungsrichtung **Verteilte Systeme und Betriebssysteme**

- eigenständig (nur EZS)
- mit weiteren Veranstaltungen

VL + Ü oder VL + EÜ  
siehe Modulhandbuch

### ■ Studien- und Prüfungsleistungen

- Bachelor
- Master

Prüfungsleistung  
Prüfungsleistung

erworben durch

- erfolgreiche Teilnahme an den Übungen
- erfolgreiche Bearbeitung aller Übungsaufgaben
- 30 min. (bzw. 20 min) mündliche Prüfung

### ■ Berechnung der Modulnote

- Note der mündlichen Prüfung + "Übungsbonus" in Zweifelsfällen





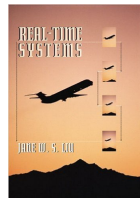
## Wanted:

- Bachelor- und Masterarbeiten
- Bachelor-Praktikum und Master-Projekte
- studentische Hilfwissenschaftler (Hiwis)

[2] Eine hervorragende Begleiterin der Veranstaltung:

J. W. S. Liu. *Real-Time Systems*.

Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, NJ, USA, 2000



[1] Der „Klassiker“ für zeitgesteuerte EZS:

H. Kopetz. *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*.

Kluwer Academic Publishers, 1997



42

