

Verlässliche Echtzeitsysteme

Peter Ulbrich

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

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

Sommersemester 2019



Verlässliche Echtzeitsysteme

Lehrveranstaltungskonzept & Organisation

Peter Ulbrich

Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

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

Sommersemester 2019



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.



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

Wir arbeiten mit eingebetteten Systemen!



- **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 :-)



1 Vorwort

2 Die Veranstaltung

- Lernziele
- Einordnung

3 Organisatorisches

- Die Beteiligten
- Vorlesung und Übung
- Leistungsnachweise



Technik (von Echtzeitsystemen) **begeistert**

- Zusteller begrenzen den **zeitlichen** Einfluss
 - Nicht-periodischer Aktivitäten auf periodische Arbeitsaufträge
- Neue Verfahren und Architekturen zu entwickeln, ist spannend!
- Mikrokerne schotten Programme **räumlich** voneinander ab
- Verschlüsselungsalgorithmen garantieren **Datensicherheit**
- ...



Technik (von Echtzeitsystemen) **begeistert**

- Zusteller begrenzen den **zeitlichen** Einfluss
 - Nicht-periodischer Aktivitäten auf periodische Arbeitsaufträge
- Neue Verfahren und Architekturen zu entwickeln, ist spannend!
- Mikrokerne schotten Programme **räumlich** voneinander ab
- Verschlüsselungsalgorithmen garantieren **Datensicherheit**
- ...

Das ist jedoch nur die halbe Miete

- Erfordert möglichst fehlerfreie Implementierungen
- Implementierung muss mit Laufzeitfehlern umgehen können
- Verfahren und Architekturen müssen **korrekt** arbeiten!

Wie lassen sich Ausnahmen vermeiden bzw. behandeln?





Technik (von Echtzeitsystemen)

- Zusteller begrenzte Rechenleistung
 - Nicht-periodische Aufgaben
- Neue Verfahren und Algorithmen
- Mikrokerne schottet
- Verschlüsselungssicherheit
- ...



Das ist jedoch nur ein Problem

- Erfordert mögliche Erweiterungen
- Implementierung in der Hardware
- Verfahren und Architekturen



Wie lassen sich Ausnahmen vermeiden bzw. behandeln?



träge
spannend!
er ab
rheit

können



Im Fokus dieser Veranstaltung: **Software**

1 **Zuverlässige (robuste) Software entwickeln**

- Robustheit gegenüber externen Fehlern (zur Laufzeit)
 - Wie erkenne und toleriere ich solche Fehler?
- Wie testet man, ob man korrekt mit solchen Fehlern umgeht?
- Hier „forschen“ wir (hoffentlich auch zusammen mit euch)



Im Fokus dieser Veranstaltung: **Software**

1 **Zuverlässige (robuste) Software entwickeln**

- Robustheit gegenüber externen Fehlern (zur Laufzeit)
 - Wie erkenne und toleriere ich solche Fehler?
- Wie testet man, ob man korrekt mit solchen Fehlern umgeht?
- Hier „forschen“ wir (hoffentlich auch zusammen mit euch)

2 **Software zuverlässig entwickeln**

- Wie kommt man zu einer möglichst fehlerfreien Implementierung?
- Welche Werkzeuge helfen mir dabei?
 - Was tun diese Werkzeuge eigentlich?
 - Welche Grenzen haben diese Werkzeuge demzufolge?
- Hier „lernen“ wir zusammen mit euch





Zuverlässige (robuste) Software entwickeln

- Maskieren von Fehlern durch Redundanz
 - Replizierte Ausführung
 - Homogene und heterogene Redundanz
- Härtung von Datenstrukturen und Kontrollfluss
 - Informationsredundanz
 - In Daten mithilfe von z.B. Prüfsummen
 - In Berechnungen/Kontrollfluss mithilfe arithmetischer Codierung
- Evaluierung von Fehlertoleranzmaßnahmen
 - Fehlerinjektion und Testen



Zuverlässige (robuste) Software entwickeln

- Maskieren von Fehlern durch Redundanz
 - Replizierte Ausführung
 - Homogene und heterogene Redundanz
- Härtung von Datenstrukturen und Kontrollfluss
 - Informationsredundanz
 - In Daten mithilfe von z.B. Prüfsummen
 - In Berechnungen/Kontrollfluss mithilfe arithmetischer Codierung
- Evaluierung von Fehlertoleranzmaßnahmen
 - Fehlerinjektion und Testen

Anknüpfungspunkte für den praktischen Einsatz aufzeigen

- Niemand braucht das 1001. Fehlertoleranzprotokoll!
 - Das den gegenwärtigen Stand der Kunst nicht reflektiert
 - Obendrein vielleicht fehlerhaft ist





Software zuverlässig entwickeln

- Typische **Laufzeitfehler** in C/C++-Programmen suchen und finden
 - Nullzeiger, Ganzzahlüberläufe, nicht initialisierte Speicherstellen, ...
 - Durch Testen oder mittels statischer Analysewerkzeuge
- **Testüberdeckung**: Wie gut hat man getestet?
 - die Testüberdeckung für ein gegebenes Programm messen
 - Gibt es Zusammenhänge zwischen der Testüberdeckung, der Testfallanzahl und anderen Metriken?
- **Design-by-contract**: statische, werkzeug-gestützte Verifikation
 - Formulierung/Verifikation von Nachbedingungen für kleine C-Programme
 - Mithilfe von Werkzeugen (AbsInt Astrée) wie sie auch Airbus einsetzt





Software zuverlässig entwickeln

- Typische **Laufzeitfehler** in C/C++-Programmen suchen und finden
 - Nullzeiger, Ganzzahlüberläufe, nicht initialisierte Speicherstellen, ...
 - Durch Testen oder mittels statischer Analysewerkzeuge
- **Testüberdeckung**: Wie gut hat man getestet?
 - die Testüberdeckung für ein gegebenes Programm messen
 - Gibt es Zusammenhänge zwischen der Testüberdeckung, der Testfallanzahl und anderen Metriken?
- **Design-by-contract**: statische, werkzeug-gestützte Verifikation
 - Formulierung/Verifikation von Nachbedingungen für kleine C-Programme
 - Mithilfe von Werkzeugen (AbsInt Astrée) wie sie auch Airbus einsetzt



Vorurteile gegenüber formalen Methoden abbauen

- Keine **unverwendbaren Monster** mehr
 - Vollbringen aber auch **keine Wunder**
 - Ihre Anwendung ist noch immer mühsam, aber sie lohnt sich



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



- **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!



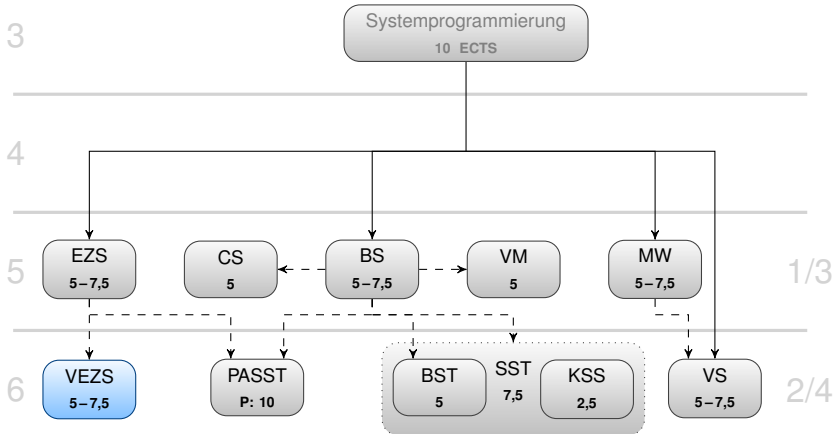
Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

- **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!

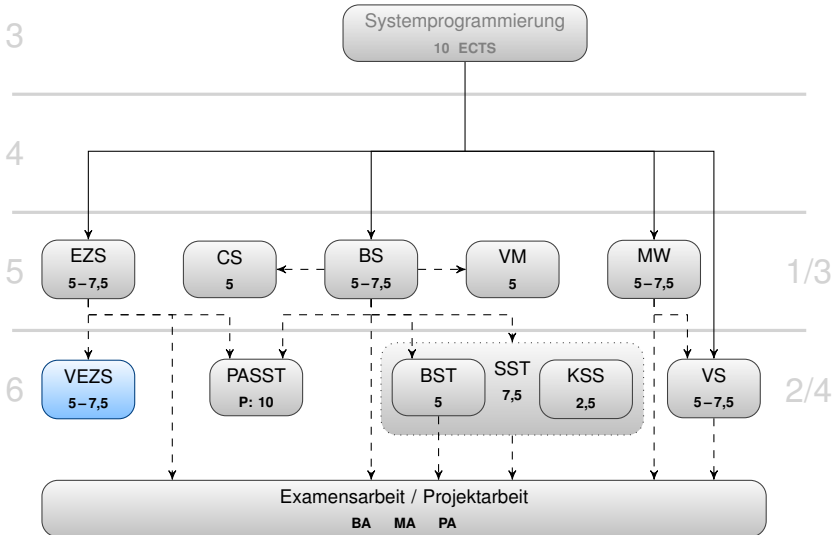
*Der, die, das.
Wer, wie, was?
Wieso, weshalb, warum?
Wer nicht fragt, bleibt dumm!*



Einpassung in den Studienplan



Einpassung in den Studienplan



1 Vorwort

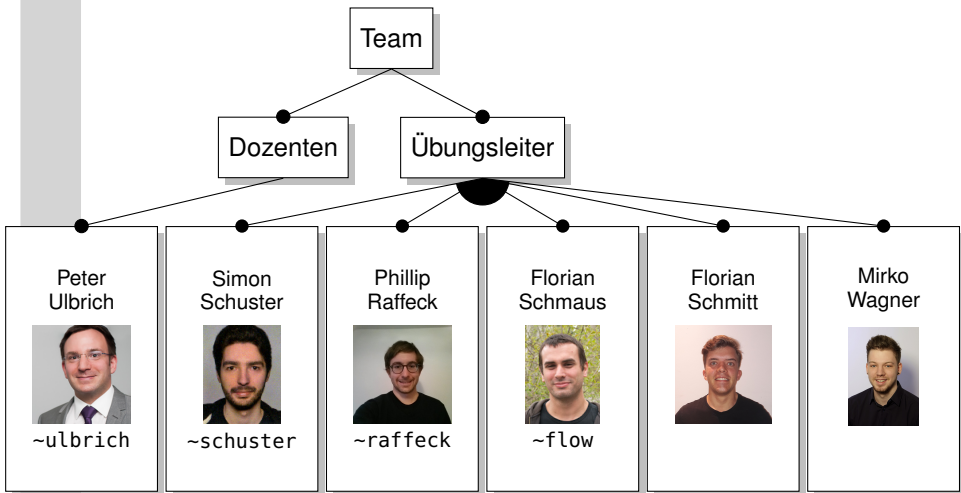
2 Die Veranstaltung

- Lernziele
- Einordnung

3 Organisatorisches

- Die Beteiligten
- Vorlesung und Übung
- Leistungsnachweise





Termine bis KW 30

- Montag, 14:15 – 15:45, 0.031-113



Termine bis KW 30

- Montag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Ausnahmen

- 10.06.: Pfingstmontag
- 17.06.: Terminkonflikt

- **Handzettel** (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
 - https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_VEZS/Vorlesung
 - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben



Termine bis KW 30

- Montag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Ausnahmen

- 10.06.: Pfingstmontag
- 17.06.: Terminkonflikt

- **Handzettel** (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
 - https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_VEZS/Vorlesung
 - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben

Fachbegriffe der Informatik (Deutsch ↔ Englisch)

- www.aktionlebendigesdeutsch.de



Termine bis KW 30

- Montag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Ausnahmen

- 10.06.: Pfingstmontag
- 17.06.: Terminkonflikt

- **Handzettel** (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
 - https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_VEZS/Vorlesung
 - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben

Fachbegriffe der Informatik (Deutsch ↔ Englisch)

- www.aktionlebendigesdeutsch.de



Änderungen und Hinweise: siehe Webseite bzw. Mailingliste



Termine bis KW 29

Tafelübung

- Donnerstag, 12:15 – 13:45, 0.031-113

Rechnerübung

- Montag, 12:15 – 13:45, 02.151a-113
- Dienstag, 12:15 – 13:45, 02.151a-113



Termine bis KW 29

Tafelübung

- Donnerstag, 12:15 – 13:45, 0.031-113

Rechnerübung

- Montag, 12:15 – 13:45, 02.151a-113
- Dienstag, 12:15 – 13:45, 02.151a-113

Ausfälle

- siehe Webseite

↪ https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_VEZS/#semesterplan

■ Übung

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



Termine bis KW 29

Tafelübung

- Donnerstag, 12:15 – 13:45, 0.031-113

Rechnerübung

- Montag, 12:15 – 13:45, 02.151a-113
- Dienstag, 12:15 – 13:45, 02.151a-113

Ausfälle

- siehe Webseite
- ↪ https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_VEZS/#semesterplan

■ Übung

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



Anmeldung

- Über das Waffel (www.waffel.cs.fau.de, siehe Website)
 - Gruppenanmeldung zum Beginn der Übungen online
- Bitte tragt euch in die Mailingsliste ein (siehe Webseite)



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
- Eine Aufgabe: ca. 14 Tage
- Persönliche Abnahme



VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- Eine Aufgabe: ca. 14 Tage
- Persönliche Abnahme

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
- Eine Aufgabe: ca. 14 Tage
- Persönliche Abnahme

oder

EÜ – Erweiterte Übung

5

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

+

RÜ – Rechnerübung

0

- **Betreutes** Arbeiten am Rechner
- Hilfe zu Werkzeugen und Techniken ...



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

- eigenständig (nur VEZS)
- 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. mündliche Prüfung

■ Berechnung der Modulnote

- Note der mündlichen Prüfung + “Übungsbonus” in Zweifelsfällen





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

- Wettbewerb um **robustesten Code**
- Testen des Codes mittels FAIL*

Ergebnisse vom SS18

www4.cs.fau.de/Lehre/SS18/V_VEZS/Uebung/dashboard/fail.html

- Preise für Gewinner-Gruppe

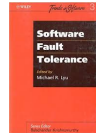


[2] Fehlertoleranz in Software:

M. Lyu, editor. *Software Fault Tolerance*, volume 3 of *Trends in Software*.

John Wiley & Sons, Inc., 1995.

<https://www.cse.cuhk.edu.hk/~lyu/book/sft/>



[3] Der „Klassiker“ für transiente Hardwarefehler:

S. Mukherjee. *Architecture Design for Soft Errors*.

Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2008



[1] Weiters Buch zu transienten Hardwarefehlern:

O. Goloubeva, M. Rebaudengo, M. S. Reorda, and M. Violante. *Software-Implemented Hardware Fault Tolerance*. Springer-Verlag, New York, NY, USA, 1 edition, 2006



42

