Verlässliche Echtzeitsysteme

Peter Wägemann

Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

`https://www4.cs.fau.de`

Sommersemester 2018

Verlässliche Echtzeitsysteme

Lehrveranstaltungskonzept & Organisation

Peter Wägemann

Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

`https://www4.cs.fau.de`

Sommersemester 2018

Vorwort

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.

Voraussetzungen

- **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 :-)

Gliederung

Verlässliche Echtzeitsysteme – Motivation

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
- . . .

Verlässliche Echtzeitsysteme – Motivation

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?

Verlässliche Echtzeitsysteme – Motivation

☞ **Technik** (von Echt

- Zusteller begrenze
  → Nicht-periodische träge
- Neue Verfahren u pannend!
- Mikrokerne schott er ab
- Verschlüsselungs rheit
- ...

⚠ **Das ist jedoch nu**

- Erfordert möglichs
- Implementierung können

→ Verfahren und Arc

☞ **Wie lassen sich Ausnahmen vermeiden bzw. behandeln?**

Verlässliche Echtzeitsysteme – Ausrichtung

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)

Verlässliche Echtzeitsysteme – Ausrichtung

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

Lernziele – Robustheit

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 Fehlertolanzmaßnahmen
  - – Fehlerinjektion und Testen

Lernziele – Robustheit

☞ **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 Fehlertolanzmaßnahmen
  - – 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

Lernziele – Zuverlässigkeit

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 Werzeugen (AbsInt Astrée) wie sie auch Airbus einsetzt

Lernziele – Zuverlässigkeit

☞ 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 Werzeugen (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

Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

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

Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

- 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

$\rightarrow$ Bereitet euch vor! Wir erwarten konkrete Fragen!

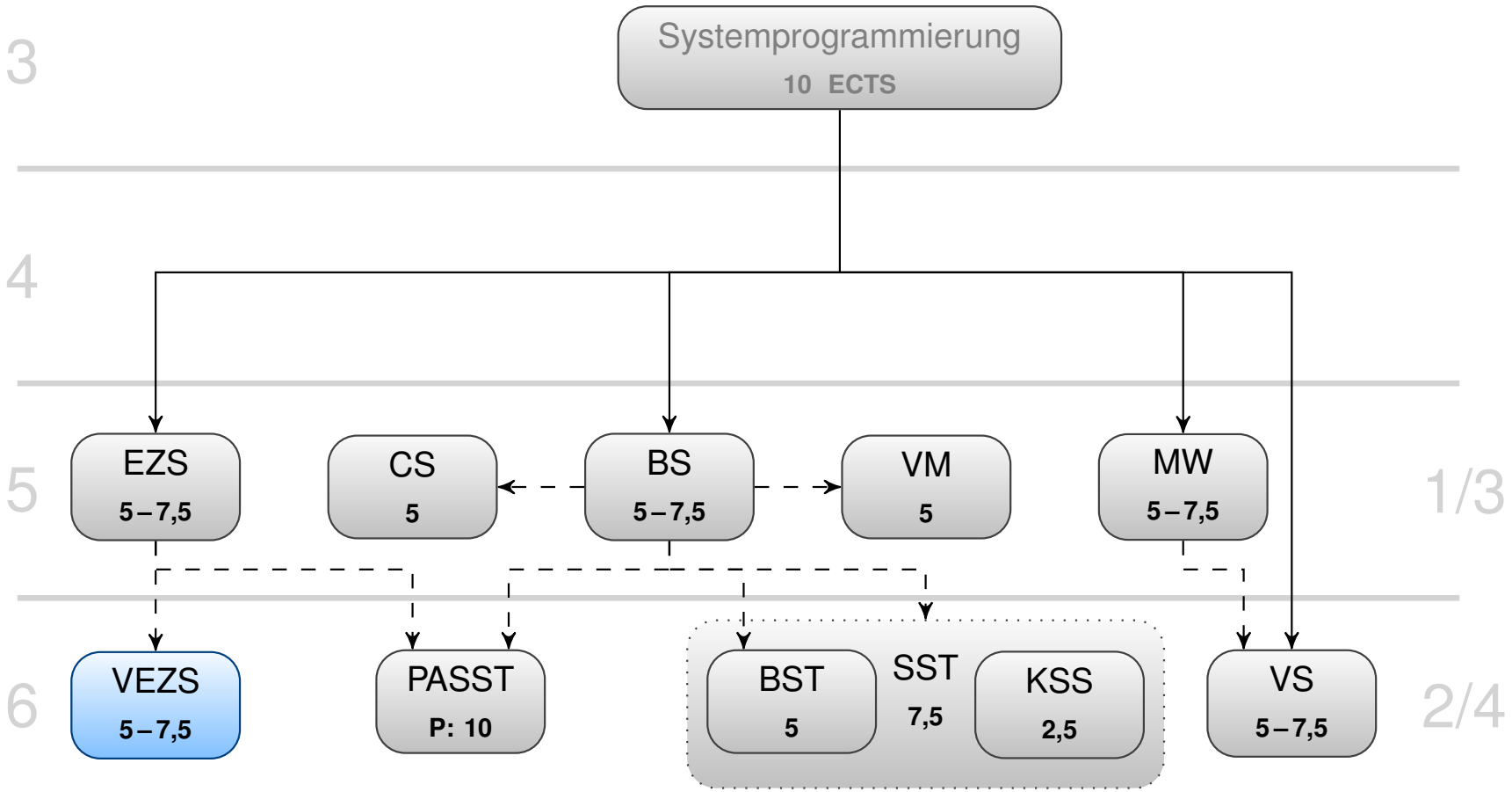
Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

- 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

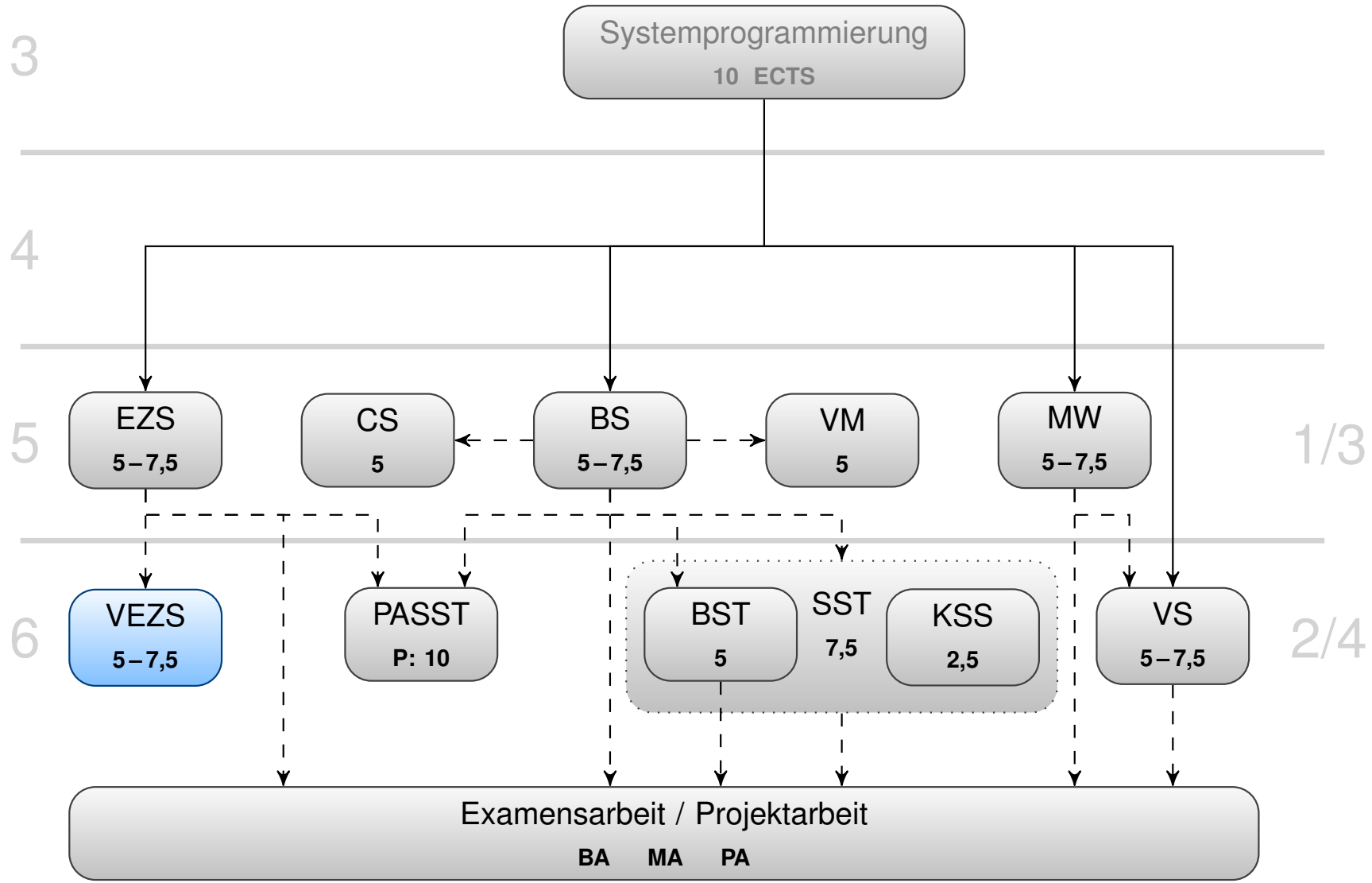
→ Bereitet euch vor! Wir erwarten konkrete Fragen!

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

Einpassung in den Studienplan

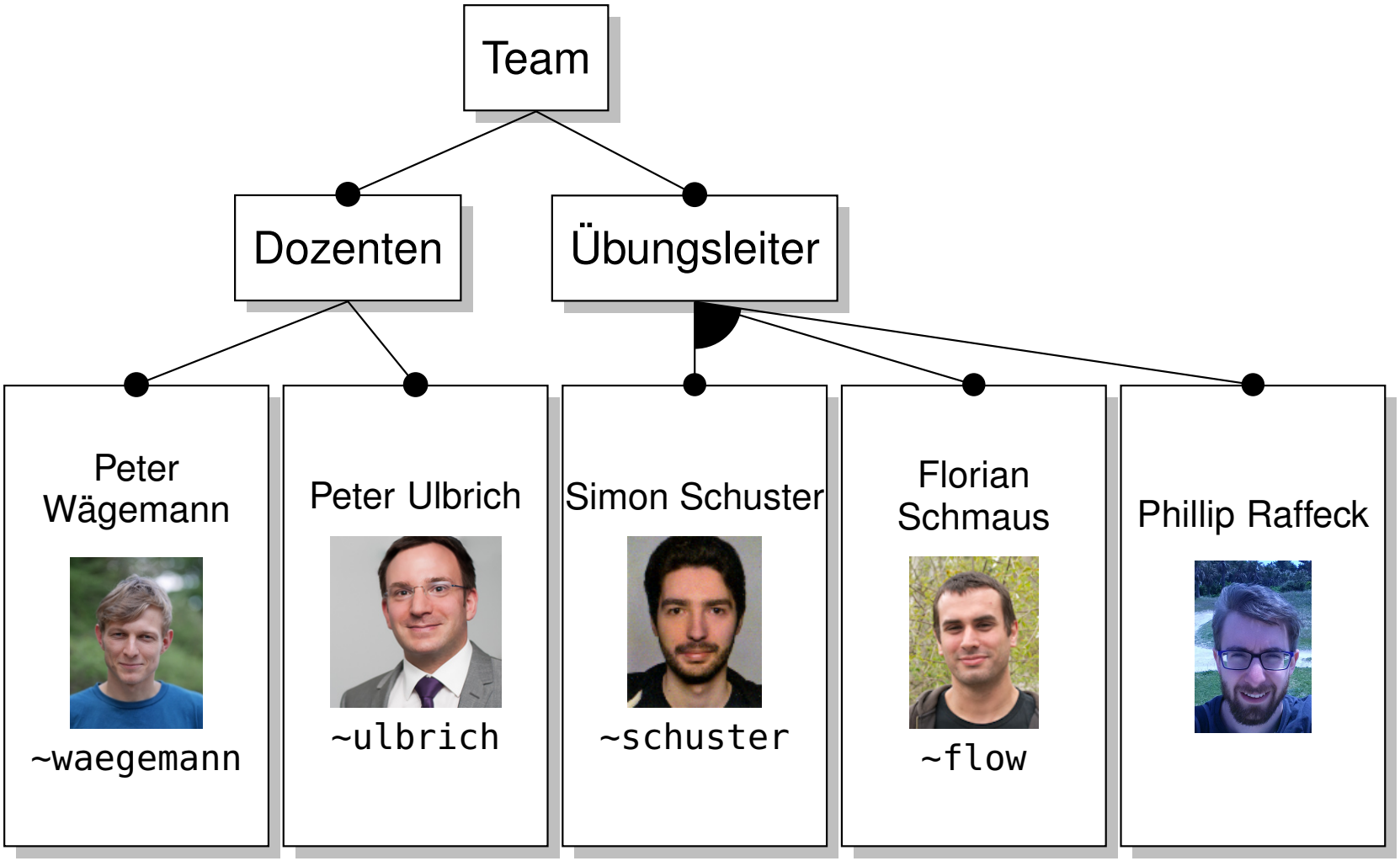


Einpassung in den Studienplan



Gliederung

www4.cs.fau.de/*



Vorlesungsbetrieb und Lehrmaterialien

Termine bis KW 30

- Donnerstag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Vorlesungsbetrieb und Lehrmaterialien

Termine bis KW 30

- Donnerstag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Ausnahmen

- 10.05.: Himmelfahrt
- 31.05.: Fronleichnam

- Handzettel (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
  - `https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS18/V_VEZS/Vorlesung`
  - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben

Vorlesungsbetrieb und Lehrmaterialien

Termine bis KW 30

- Donnerstag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Ausnahmen

- 10.05.: Himmelfahrt
- 31.05.: Fronleichnam

- Handzettel (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
  - `https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS18/V_VEZS/Vorlesung`
  - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben

☞ Fachbegriffe der Informatik (Deutsch ⟷ Englisch)
  - `www.aktionlebendigesdeutsch.de`

Vorlesungsbetrieb und Lehrmaterialien

Termine bis KW 30

- Donnerstag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Ausnahmen

- 10.05.: Himmelfahrt
- 31.05.: Fronleichnam

- Handzettel (engl. *handout*) sind verfügbar wie folgt:
  - `https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS18/V_VEZS/Vorlesung`
  - Folienkopien werden vor der Vorlesung ausgegeben

☞ Fachbegriffe der Informatik (Deutsch ⟷ Englisch)

- `www.aktionlebendigesdeutsch.de`

⚠ Änderungen und Hinweise: siehe Webseite bzw. Mailingliste

Übungsbetrieb

Termine bis KW 30

Tafelübung

- Montag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Rechnerübung

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

Übungsbetrieb

Termine bis KW 30

Tafelübung

- Montag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Rechnerübung

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

Ausfälle

- siehe Webseite

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

Übungsbetrieb

Termine bis KW 30

Tafelübung

- Montag, 14:15 – 15:45, 0.031-113

Rechnerübung

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

Ausfälle

- siehe Webseite

Übung

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

Anmeldung

- Im Rahmen der Übungen (Bettelverfahren)

→ Bitte tragt euch in die Mailingsliste ein (siehe Webseite)

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung **2,5**

Vorstellung und detailierte Behandlung des Lehrstoffs

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung **2,5**

Vorstellung und detailierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung **2,5**

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

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung **2,5**

Vorstellung und detailierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung **2,5**

- Praktische Übungen
- Eine Aufgabe: 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 detailierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung **2,5**

- Praktische Übungen
- Eine Aufgabe: 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 . . .

Studien- und Prüfungsleistungen (2)

- **Wahlpflichtmodul** (Bachelor/Master) der Vertiefungsrichtung **Verteilte Systeme und Betriebssysteme**
  - eigenständig (nur VEZS) — VL + Ü oder VL + EÜ
  - mit weiteren Veranstaltungen — siehe Modulhandbuch
- Studien- und Prüfungsleistungen
  - Bachelor — Prüfungsleistung
  - Master — 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

Forschung und Lehre funktioniert nur mit Studenten!

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

FAIL∗-Shootout

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

Ergebnisse vom SS17

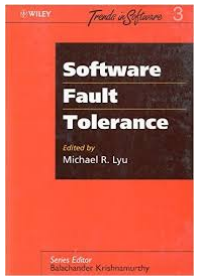
`www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_VEZS/Uebung/dashboard/fail.html`

- Preise für Gewinner-Gruppe

Literaturempfehlungen

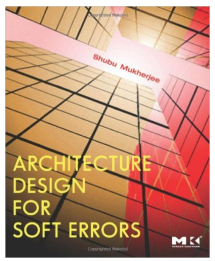
[2] Fehlertoleranz in Software:

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

Fragen. . .

42