Verlässliche Echtzeitsysteme

Peter Ulbrich, Peter Wägemann

Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

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

Wintersemester 2020

Verlässliche Echtzeitsysteme

Lehrveranstaltungskonzept & Organisation

Peter Ulbrich, Peter Wägemann

Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

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

Wintersemester 2020

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 begrenz
  → Nicht-periodisch träge
- Neue Verfahren u spannend!
- 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**

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 (auf Grund der Komplexität) 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 Werkzeugen (AbsInt Astrée) wie sie auch Airbus einsetzt

Lernziele – Zuverlässigkeit

Software zuverlässig entwickeln

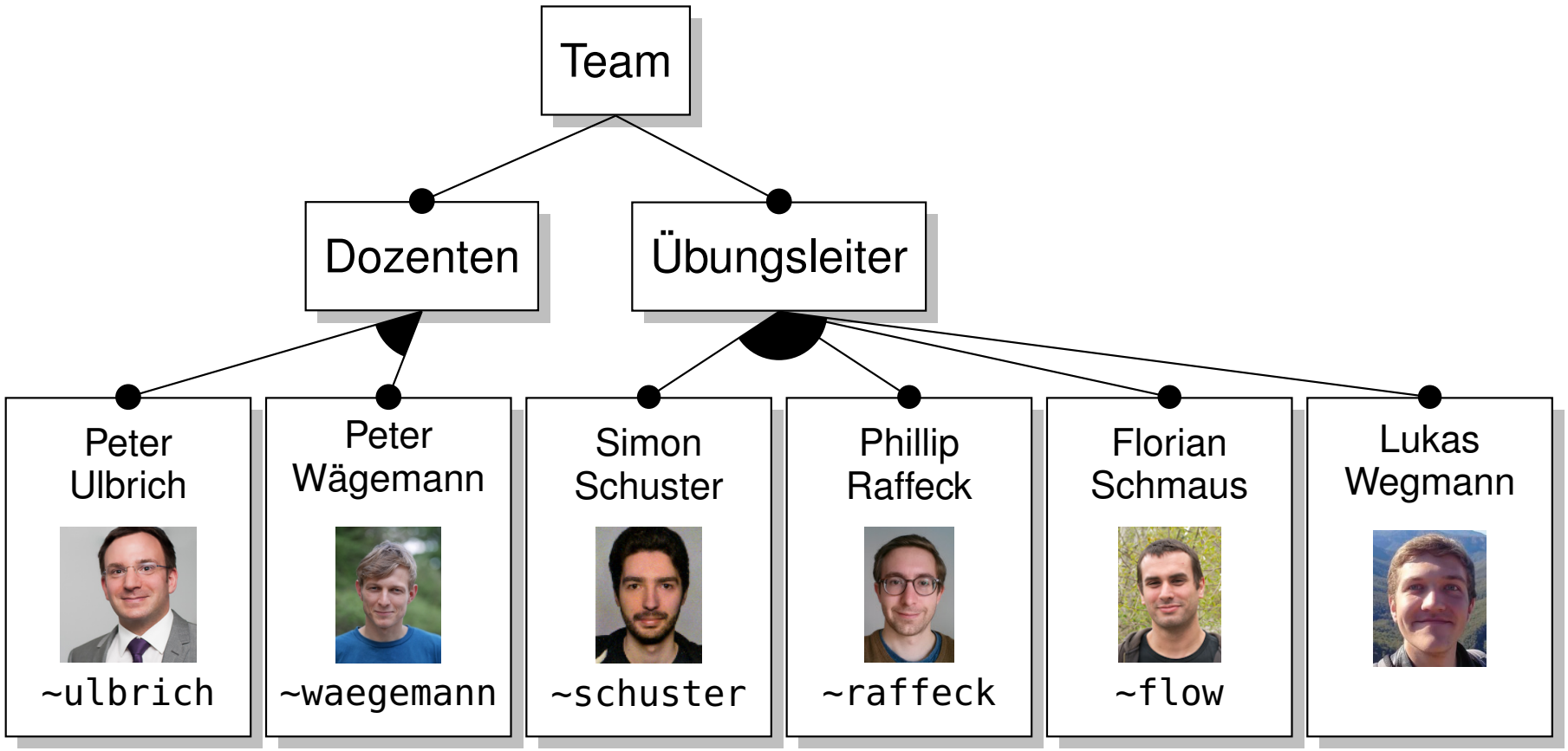
- Typische Laufzeitfehler in C/C++-Programmen suchen und finden
  - Nullzeiger, Ganzzahlüberläufe, nicht initialisierte Speicherstellen, ...
  - → Durch Testen oder mittels statischer Analysewerkzeuge
- Testüberdeckung: Wie gut hat man getestet?
  - die Testüberdeckung für ein gegebenes Programm messen
  - 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 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

Gliederung

www4.cs.fau.de/*



Virtuelles Veranstaltungskonzept

- **Wissensvermittlung**
  - Stoff der Vorlesung $\rightsquigarrow$ Folien, Videoaufzeichnung und Screencasts
  - Stoff der Tafelübung $\rightsquigarrow$ Folien und Screencasts

Virtuelles Veranstaltungskonzept

- **Wissensvermittlung**
  - Stoff der Vorlesung $\rightsquigarrow$ Folien, Videoaufzeichnung und Screencasts
  - Stoff der Tafelübung $\rightsquigarrow$ Folien und Screencasts
- **Praktische Arbeit**
  - Übungs- und Programmieraufgaben

Virtuelles Veranstaltungskonzept

- **Wissensvermittlung**
  - Stoff der Vorlesung $\rightsquigarrow$ Folien, Videoaufzeichnung und Screencasts
  - Stoff der Tafelübung $\rightsquigarrow$ Folien und Screencasts
- **Praktische Arbeit**
  - Übungs- und Programmieraufgaben
- **Interaktion**
  - Vorlesung und Tafelübung $\mapsto$ wöchentliche Diskussions- und Fragestunde
  - Rechnerübung $\mapsto$ online Helpdesk

Fragestunde

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, Online

Fragestunde

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, Online

Ausnahmen

- siehe Webseite

- Inhalt
  - Aktueller Stoff der Vorlesung und Tafelübung
  - Laufende Übungsaufgaben
  - Allgemein fachliche sowie ethische Fragestellungen

Fragestunde

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, Online

Ausnahmen

- siehe Webseite

- Inhalt
  - Aktueller Stoff der Vorlesung und Tafelübung
  - Laufende Übungsaufgaben
  - Allgemein fachliche sowie ethische Fragestellungen
- Ziele
  - Diskussion und Reflexion des Stoffes
  - Beantwortung von Fragen
  - Besprechung der Lernziele der Übungsaufgaben

Fragestunde

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, Online

Ausnahmen

- siehe Webseite

- Inhalt
  - Aktueller Stoff der Vorlesung und Tafelübung
  - Laufende Übungsaufgaben
  - Allgemein fachliche sowie ethische Fragestellungen
- Ziele
  - Diskussion und Reflexion des Stoffes
  - Beantwortung von Fragen
  - Besprechung der Lernziele der Übungsaufgaben
- Technik
  - Videokonferenz mit Zoom

Fragestunde

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, Online

Ausnahmen

- siehe Webseite

- Inhalt
  - Aktueller Stoff der Vorlesung und Tafelübung
  - Laufende Übungsaufgaben
  - Allgemein fachliche sowie ethische Fragestellungen
- Ziele
  - Diskussion und Reflexion des Stoffes
  - Beantwortung von Fragen
  - Besprechung der Lernziele der Übungsaufgaben
- Technik
  - Videokonferenz mit Zoom

Termine und technische Umsetzung im Fluß (Webseite prüfen!)

Helpdesk

Termine

- Montag, 10:15 – 11:45, Online
- Donnerstag, 12:15 – 13:45, Online

Helpdesk

Termine

- Montag, 10:15 – 11:45, Online
- Donnerstag, 12:15 – 13:45, Online

Ausfälle

- siehe Webseite

- Inhalt & Ziele
  - Laufende Übungsaufgabe
  - Lösen konkreter Probleme bei der Umsetzung der Aufgaben

Helpdesk

Termine

- Montag, 10:15 – 11:45, Online
- Donnerstag, 12:15 – 13:45, Online

Ausfälle

- siehe Webseite

- Inhalt & Ziele
  - Laufende Übungsaufgabe
  - Lösen konkreter Probleme bei der Umsetzung der Aufgaben
- Technik
  - Ticket-System
  - Individuelle Videokonferenzen mit Jitsi (Screensharing)

Helpdesk

Termine

- Montag, 10:15 – 11:45, Online
- Donnerstag, 12:15 – 13:45, Online

Ausfälle

- siehe Webseite

- Inhalt & Ziele
  - Laufende Übungsaufgabe
  - Lösen konkreter Probleme bei der Umsetzung der Aufgaben
- Technik
  - Ticket-System
  - Individuelle Videokonferenzen mit Jitsi (Screensharing)

⚠ Termine und technische Umsetzung im Fluß (Webseite prüfen!)

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: ca. 14 Tage
- Online Abgabe

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung **2,5**

Vorstellung und detailierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung **2,5**

- Praktische Übungen
- Eine Aufgabe: ca. 14 Tage
- Online Abgabe

oder

EÜ – Erweiterte Übung **5**

⚠ Fällt im WS20 aus!

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung **2,5**

Vorstellung und detailierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung **2,5**

- Praktische Übungen
- Eine Aufgabe: ca. 14 Tage
- Online Abgabe

oder

EÜ – Erweiterte Übung **5**

⚠ Fällt im WS20 aus!

+

RÜ – Rechnerübung **0**

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

Studien- und Prüfungsleistungen (2)

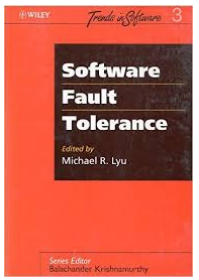
- **Wahlpflichtmodul** (Bachelor/Master) der Vertiefungsrichtung **Verteilte Systeme und Betriebssysteme**
  - eigenständig (nur VEZS) — VL + Ü oder VL + EÜ
  - mit weiteren Veranstaltungen — siehe Modulhandbuch
- Studien- und Prüfungsleistungen
  - Bachelor — Prüfungsleistung
  - Master — Prüfungsleistung

  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

Literaturempfehlungen

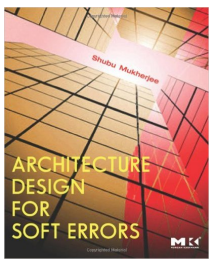
[2] Fehlertoleranz in Software:

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