

Verlässliche Echtzeitsysteme

Peter Ulbrich, Peter Wägemann

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

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

Wintersemester 2022



Verlässliche Echtzeitsysteme

Lehrveranstaltungskonzept & Organisation

Peter Ulbrich, Peter Wägemann

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

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

Wintersemester 2022



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

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
- Verschlüsselung
- ...



Das ist jedoch nur ein Teil

- Erfordert möglicherweise
- Implementierung
- Verfahren und Architekturen



Wie lassen sich Ausnahmen vermeiden bzw. behandeln?



träge
spannend!
er ab
rheit

können
!



Im Fokus dieser Veranstaltung: **Software**



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 (auf Grund der Komplexität) 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



1 Vorwort

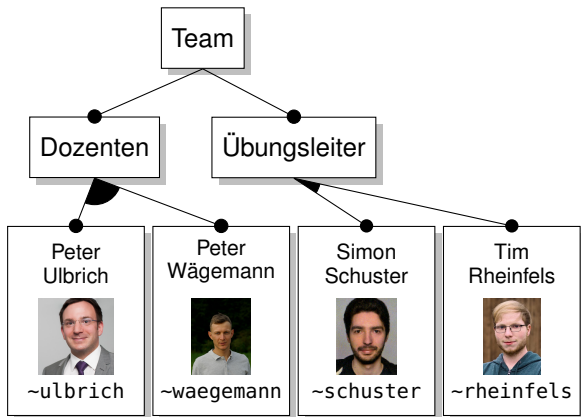
2 Die Veranstaltung

- Lernziele

3 Organisatorisches

- Die Beteiligten
- Vorlesung und Übung
- Leistungsnachweise





■ Wissensvermittlung

- Stoff der **Vorlesung** ∼ Folien, Videoaufzeichnung und Screencasts
- Stoff der **Tafelübung** ∼ Folien und Screencasts



■ Wissensvermittlung

- Stoff der **Vorlesung** ∼ Foliien, Videoaufzeichnung und Screencasts
- Stoff der **Tafelübung** ∼ Foliien und Screencasts

■ Praktische Arbeit

- Übungs- und Programmieraufgaben



■ Wissensvermittlung

- Stoff der **Vorlesung** ∼ Foliens, Videoaufzeichnung und Screencasts
- Stoff der **Tafelübung** ∼ Foliens und Screencasts

■ Praktische Arbeit

- Übungs- und Programmieraufgaben

■ Interaktion

- Vorlesung und Tafelübung ↔ wöchentliche Diskussions- und **Fragestunde**
- Rechnerübung ↔ online **Helpdesk**



Termine

- Montag, 16:15–17:45, 0.031-113 (Präsenz)



Termine

- Montag, 16:15–17:45, 0.031-113 (Präsenz)

Ausnahmen

- siehe Webseite

Inhalt

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



Termine

- Montag, 16:15–17:45, 0.031-113 (Präsenz)

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



Termine

- Montag, 16:15–17:45, 0.031-113 (Präsenz)

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

- In Präsenz



Termine

- Montag, 16:15–17:45, 0.031-113 (Präsenz)

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

- In Präsenz



Termine und technische Umsetzung im Fluß (Webseite prüfen!)



Termine

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



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



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

- 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!)



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
- Online Abgabe



VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung

2,5

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

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
- Online Abgabe

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



[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

