

Verlässliche Echtzeitsysteme

Wintersemester 2024/25

Peter Wägemann

Lehrstuhl für Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

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

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

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 (vor

- Zustelle
- Nicht
- Neue Ve
- Mikrokel
- Verschlü
- ...

⚠ Das ist jedo

- Erforder
- Impleme
- Verfahre



stert

influss

periodische Arbeitsaufträge

entwickeln, ist spannend!

malig voneinander ab

ieren *Datensicherheit*

mentierungen

ehlern umgehen können

korrekt arbeiten!

👉 Wie lassen sich Ausnahmen vermeiden bzw. behandeln?

Verlässliche Echtzeitsysteme – Ausrichtung

*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

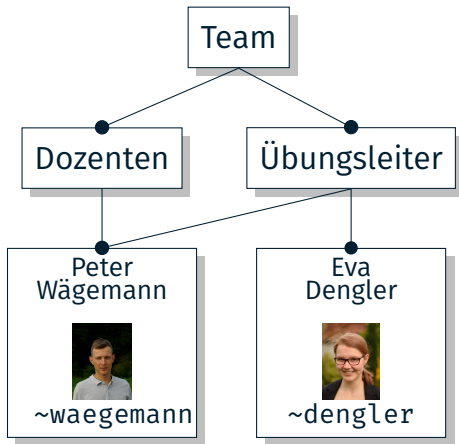
- ☞ **Zuverlässige (robuste) Software entwickeln**
 - Maskieren von Fehlern durch *Redundanz*
 - Replizierte Ausführung
 - Homogene und heterogene Redundanz
 - *Härtung* von Datenstrukturen und Kontrollfluss
 - Informationsredundanz
 - In Daten mithilfe von z.B. Prüfsummen
 - In Berechnungen/Kontrollfluss 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++ suchen+finden
 - Nullzeiger, Ganzzahlüberläufe, nicht initialisierter Speicher
 - 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
 - Mit Werkzeugen (AbsInt Astrée) wie sie auch Airbus einsetzt

- ☞ **Software zuverlässig entwickeln**
 - Typische *Laufzeitfehler* in C/C++ suchen+finden
 - Nullzeiger, Ganzzahlüberläufe, nicht initialisierter Speicher
 - 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
 - Mit Werkzeugen (AbsInt Astrée) wie sie auch Airbus einsetzt
- ☞ **Vorurteile gegenüber formalen Methoden abbauen**
 - Keine **unverwendbaren Monster** mehr
 - Vollbringen aber auch **keine Wunder**
 - Anwendung 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* \leadsto Vorlesung + Folien
- Stoff der *Tafelübung* \leadsto Tafelübung + Folien

■ Wissensvermittlung

- Stoff der *Vorlesung* \rightsquigarrow Vorlesung + Folien
- Stoff der *Tafelübung* \rightsquigarrow Tafelübung + Folien

■ Praktische Arbeit

- Übungs- und Programmieraufgaben

■ Wissensvermittlung

- Stoff der *Vorlesung* \leadsto Vorlesung + Folien
- Stoff der *Tafelübung* \leadsto Tafelübung + Folien

■ Praktische Arbeit

- Übungs- und Programmieraufgaben

■ Interaktion

- Vorlesung und Tafelübung
- Rechnerübung \mapsto Fragen zu Aufgaben, Abgaben, ...
- öffentliche Mailingliste: i4ezs@lists.cs.fau.de
- Mail an Betreuer: i4ezs-owner@lists.cs.fau.de

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, O2.134-113

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, O2.134-113

- *Inhalt*

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

Ausnahmen

- siehe Webseite

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, O2.134-113

■ *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

Ausnahmen

- siehe Webseite

Termine

- Montag, 12:15 – 13:45, O2.134-113

■ *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

Ausnahmen

- siehe Webseite

 Webseite prüfen auf Änderung

Termine

- Montag, 14:15 – 15:45, O2.133-113

Termine

- Montag, 14:15 – 15:45, O2.133-113

■ *Inhalt & Ziele*

- Laufende Übungsaufgabe
- Lösen konkreter Probleme bei der Umsetzung der Aufgaben

Ausfälle

- siehe Webseite

Termine

- Montag, 14:15 – 15:45, 02.133-113

■ *Inhalt & Ziele*

- Laufende Übungsaufgabe
- Lösen konkreter Probleme bei der Umsetzung der Aufgaben

■ cipmap.cs.fau.de

- Anmelden einer Frage oder Abgabe
- Wir kommen dann nach Eingang der Anfragen zu euch

Ausfälle

- siehe Webseite

Termine

- Montag, 14:15 – 15:45, 02.133-113

■ *Inhalt & Ziele*

- Laufende Übungsaufgabe
- Lösen konkreter Probleme bei der Umsetzung der Aufgaben

■ cipmap.cs.fau.de

- Anmelden einer Frage oder Abgabe
- Wir kommen dann nach Eingang der Anfragen zu euch

 **Auch hier: Webseite prüfen!**

Ausfälle

- siehe Webseite

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- Pro Aufgabe: 14 Tage
- Online Abgabe

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- Pro Aufgabe: 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
- Pro Aufgabe: 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 ...

Studien- und Prüfungsleistungen (2)

■ **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

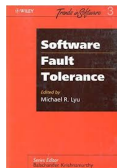
Literaturempfehlungen

[2]: Fehlertoleranz in Software:

M. Lyu, editor. *Software Fault Tolerance*.

1995.

www.cse.cuhk.edu.hk/~lyu/book/sft/



[?]: Der „Klassiker“ für transiente Hardwarefehler:



[1]: Weiteres Buch zu transienten Hardwarefehlern:

O. Goloubeva, M. Rebaudengo, M. S. Reorda, and M. Violante. *Software-Implemented Hardware Fault Tolerance*.

2006

