

1.1 Einführung Raumfahrttechnologie

Modulname: Fundamentals of Spacecraft Technology (Einführung Raumfahrttechnologie)	
Modulübersicht	
EDV-Bezeichnung: LURZ 110	
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr.-Ing. Reza Ahmadi (HKA); Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart); Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)	
Modulumfang (ECTS): 7 CP Arbeitsaufwand: 170 h <ul style="list-style-type: none"> • Stoffvermittlung: 85 h • Selbstlernzeit und Projektarbeit: 85 h • Optionale Online-Sprechstunde 	
Einordnung (Semester): Winter- und Sommersemester	
Inhaltliche Voraussetzungen: Mathematik aus dem Grundstudium	
Voraussetzungen nach SPO: keine	
Kompetenzen der Teilnehmenden nach erfolgreichem Abschluss des Moduls: <ul style="list-style-type: none"> • Umfassender Überblick über alle zentralen Elemente einer Raumfahrtmission und Kenntnis der Zusammenhänge. • Verständnis der Weltraumumgebung und ihrer Auswirkung auf das Raumfahrzeug sowie auf die Mission. • Umfassender Überblick über alle relevanten Subsysteme eines Raumfahrzeugs. • Verständnis der physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Orbitalmechanik und deren praktischen Auswirkung, der relevantesten Störeinflüsse sowie Kenntnis verschiedene Möglichkeiten der Bahnänderung inklusive deren Vor- und Nachteile. • Grundlegendes Verständnis der Lagedynamik von Raumfahrzeugen sowie ein Überblick über Möglichkeiten der aktiven und passiven Lageregelung. • Verständnis der Hintergründe zentraler Raumfahrtmanöver (Raketenstart, Rendezvous mit einer Raumstation, Wiedereintritt) und Einordnung dieser. • Überblick über die sich von erdgebundenen Missionen unterscheidenden Anforderungen an Explorationsmissionen sowie über Raumfahrtvisionen und Einordnung dieser. 	
Prüfungsleistungen: Die Kenntnisse werden in einer schriftlichen Klausur (60 min, bestehend aus Kurzfragen, Single-Choice Aufgaben und optional kurzen Handrechnungen) oder in einer mündlichen Prüfung (30 min) bewertet. Die Prüfungsart wird basierend auf der Teilnehmerzahl festgelegt und rechtzeitig bekannt gegeben.	
Verwendbarkeit: <i>Allgemein:</i> Das Ziel des Moduls ist die Vermittlung eines umfassenden Überblicks aller zentralen Elemente einer Raumfahrtmission sowie deren physikalischen Hintergründe und Zusammenhänge. Nach der Teilnahme am Modul sollen die Teilnehmenden in der Lage sein, Missionskonzepte einschätzen und ihre technische Umsetzbarkeit bewerten zu können. Die vermittelten Kenntnisse befähigen sie, technologische Entscheidungen in Raumfahrtprojekten kritisch zu reflektieren und wesentliche Impulse für eigene Entwicklungsprozesse im Berufsleben zu setzen.	
<i>Zusammenhänge / Abgrenzung zu anderen Modulen:</i> Das Modul bildet die Grundlage für weiterführende Veranstaltungen im Bereich Raumfahrttechnik.	
Lehrveranstaltung: Fundamentals of Space Engineering	
EDV-Bezeichnung: LURZ 111	
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart),	

Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)
Umfang (SWS): 4
Turnus: halbjährlich (auf Anfrage)
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: deutsch (opt. englisch)
Inhalte: <ul style="list-style-type: none">• Fundamentals of Space Mission Design, Operations and Mission Control<ul style="list-style-type: none">○ Definition of a Space Mission & Key Actors○ Space Mission Types & Objectives○ Space Mission Destinations○ Key Elements of a Space Mission○ Space Mission Requirements & System Drivers○ Overview Spacecraft Subsystems○ Overview Space Mission Development Phases○ Overview Space Mission Operations• Basics of Launcher and Space Vehicle Propulsion<ul style="list-style-type: none">○ Basic Performance Requirements of Space Propulsion○ The Rocket Equation and Important Rocket Parameters○ Chemical Propellant Rockets○ The Staging Principle○ Electrical Thrusters○ Alternative Propulsion Concepts• General Definitions and Unperturbed Orbital Motion<ul style="list-style-type: none">○ Coordinate Frames and General Definitions○ The Two-Body Problem○ Orbit Geometry○ Space Velocities
Empfohlene Literatur: -
Anmerkungen: -

Lehrveranstaltung: Space Environment and its Impacts
EDV-Bezeichnung: LURZ 112
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart), Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)
Umfang: 3,8 h
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: Deutsch (opt. Englisch)
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • The Space Environment <ul style="list-style-type: none"> ○ Major Factors of Influence on the Space Environment ○ Gravitational Fields ○ Atmospheres and Ionospheres ○ Magnetic Fields ○ Electromagnetic and Particle Radiation ○ Solid Matter • Impacts of Space Environment on Spacecraft and Mission Design <ul style="list-style-type: none"> ○ Overview of Design Issues in Pre-operational Phase ○ Impacts of the Space Environment <ul style="list-style-type: none"> ▪ Overview ▪ Gravitational Fields / Microgravity ▪ Vacuum, Atmospheres and Ionospheres ▪ Radiation / Magnetic Fields ▪ Solid Matter ○ Overview of Design Issues for Post-Operational Phase ○ Summary
Empfohlene Literatur: -
Anmerkungen: -

Lehrveranstaltung: Subsystems
EDV-Bezeichnung: LURZ 113
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart), Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)
Umfang: 7,6 h
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: Deutsch (opt. Englisch)
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Concepts of Spacecraft Structures and Materials <ul style="list-style-type: none"> ○ Spacecraft Structures <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tasks and Categories ▪ Structural Loads During Mission Phases ▪ Key Characteristics and Design Process ○ Spacecraft Materials <ul style="list-style-type: none"> ▪ Selection Criteria ▪ Material Erosion Examples • Concepts of Spacecraft Thermal Control <ul style="list-style-type: none"> ○ Thermal Environment & Objectives of Thermal Control <ul style="list-style-type: none"> ▪ External Heat Loads ▪ Internal Heat Loads ▪ Objectives of Thermal Control ○ Thermal Analysis and Tests <ul style="list-style-type: none"> ▪ Heat Transfer Mechanism ▪ Heat Balance Equation for Spacecraft ▪ Thermal Analysis and Tests ○ Thermal Control Hardware <ul style="list-style-type: none"> ▪ Passive Thermal Control ▪ Active Thermal Control • Fundamental Concepts of Communication in Space <ul style="list-style-type: none"> ○ Important Definitions and Boundary Conditions ○ Electromagnetic Waves & Basics for Space Communication ○ Modulation, Coding, Protocols ○ Important System Components ○ Link Budget ○ Important Aspects Human Spaceflight ○ Examples • Concepts of Spacecraft Power Systems <ul style="list-style-type: none"> ○ Power system – functions and configuration ○ Primary energy sources and energy conversion <ul style="list-style-type: none"> ▪ Overview ▪ Solar power ▪ Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG) ▪ Nuclear reactors in space ○ Energy storage systems <ul style="list-style-type: none"> ▪ Overview ▪ Secondary batteries ▪ Regenerative fuel cells ○ Power systems selection criteria
Empfohlene Literatur: -
Anmerkungen: -

Lehrveranstaltung: Translational Motion (Orbit Control)
EDV-Bezeichnung: LURZ 114
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart), Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)
Umfang: 4,8 h
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: Deutsch (opt. Englisch)
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Perturbed Orbital Motion <ul style="list-style-type: none"> ○ Variations in the Orbital Elements due to General Perturbing Forces ○ Perturbing Forces Acting on a Satellite ○ Effects of Atmospheric Drag on the Satellite Orbit ○ Nodal Precession • Orbital Manoeuvres and Interorbital Transfers <ul style="list-style-type: none"> ○ One-Impulse Manoeuvres ○ Two- and Three-Impulse Manoeuvres ○ Continuous Thrust Manoeuvres ○ Effects of Impulsive Manoeuvres on the ISS Orbit • Orbit Determination <ul style="list-style-type: none"> ○ Navigation ○ Orbit Determination ○ The "Two-Line Element" Format
Empfohlene Literatur: -
Anmerkungen: -

Lehrveranstaltung: Rotational Motion (Attitude Control)
EDV-Bezeichnung: LURZ 115
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart), Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)
Umfang: 2,5 h
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: Deutsch (opt. Englisch)
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentals of Attitude Determination and Control <ul style="list-style-type: none"> ○ One-Impulse Manoeuvres ○ Two- and Three-Impulse Manoeuvres ○ Continuous Thrust Manoeuvres ○ Effects of Impulsive Manoeuvres on the ISS Orbit
Empfohlene Literatur: -
Anmerkungen: -

Lehrveranstaltung: Applied Orbital Mechanics for Vehicle Operations
EDV-Bezeichnung: LURZ 116
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart), Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)
Umfang: 8 h
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: Deutsch (opt. Englisch)
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Access to Space <ul style="list-style-type: none"> ○ Launch Sites and Launch Directions ○ Launch Window and Launch Time ○ Launch Profile ○ Launch Abort Modes • Fundamentals of Rendezvous, Departure and Relative Motion <ul style="list-style-type: none"> ○ Launch and Orbit Insertion ○ Phasing ○ Far Range Rendezvous ○ Close Range Rendezvous ○ Final Approach and Docking ○ Departure • Deorbit, Reentry and Landing <ul style="list-style-type: none"> ○ Overview & General Aspects ○ Undocking & Deorbit ○ Re-entry <ul style="list-style-type: none"> ▪ Types & Energies of Atmospheric Entry Maneuvers ▪ Important Parameters & Definitions ▪ Ballistic, Lift-assisted & Skip-assisted Re-entry ▪ Re-entry Trajectory & Corridor ▪ Remarks Stability & Thermal Protection System ○ Landing ○ Disposal Aspects
Empfohlene Literatur: -
Anmerkungen: -

Lehrveranstaltung: Exploration
EDV-Bezeichnung: LURZ 117
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas (Universität Stuttgart), Dr.-Ing. Constantin Traub (Universität Stuttgart)
Umfang: 3 h
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: Deutsch (opt. Englisch)
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Introduction to Exploration Flight Dynamics and Navigation <ul style="list-style-type: none"> ○ Possible destinations and their features ○ Basic concepts ○ Mission to the Moon ○ Interplanetary missions ○ Communication and navigation methods • Interstellar Spaceflight Visions

<ul style="list-style-type: none"> ○ Dimensions, Energies, Relativity ○ Why? Where Do We Stand? ○ Concepts
Empfohlene Literatur:
Anmerkungen:

1.2 Aerospace Systems Engineering

Modulname: Aerospace Systems Engineering	
Modulübersicht	
EDV-Bezeichnung: LURZ 120	
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr.-Ing. Reza Ahmadi (HKA)	
Modulumfang (ECTS): 7 CP	
Arbeitsaufwand: 170 h	
<ul style="list-style-type: none"> • Stoffvermittlung: 85 h • Selbstlernzeit und Projektarbeit: 85 h • Optionale Online-Sprechstunde 	
Einordnung (Semester): Winter- und Sommersemester	
Inhaltliche Voraussetzungen: Keine	
Voraussetzungen nach SPO: Keine	
Kompetenzen: <ul style="list-style-type: none"> • Die Teilnehmenden bekommen einen Überblick über Flugzeugsysteme, deren Technik und die Grundlagen der Sicherheit in der Luftfahrt. • Sie kennen die wichtigsten luftfahrtspezifischen Normen (z. B. CS-25, ARP-4754, ARP-4761, DO-254, DO-178 und DO-326) sowie deren Zusammenhänge und Anforderungen an Luftfahrtsysteme und Entwicklungs- und Zertifizierungsprozesse. • Die Teilnehmenden verstehen den strukturierten Entwicklungsprozess im V-Modell, inklusive der Erstellung und Dokumentation von Anforderungen, Entwurf und Entwicklung. Sie wissen, wie diese Phasen in sicherheitskritischen Projekten verknüpft und rückverfolgbar gemacht werden. • Die Teilnehmenden kennen die verschiedenen Methoden zur Berechnung und zum Nachweis der Sicherheit von Flugzeugsystemen. • Sie kennen die verschiedenen Design-Muster zur Erreichung der Sicherheitsziele und deren Entwicklungskosten und betrieblichen Folgen. 	
Prüfungsleistungen: <ul style="list-style-type: none"> • Projektarbeit: Selbstständiger Entwurf eines Primary/Secondary Flight Control Systems für ein zukünftiges Flugzeug 	
Verwendbarkeit: <ul style="list-style-type: none"> • Entwurfskompetenz bezüglich Flugzeugsystemen und -Architekturen • Entscheidungskompetenz bezüglich Safety-Engineerings und -Managements in der Luftfahrt • Das Modul ermöglicht einen leichteren Einstieg in den Modulen 3 und 4 	

Lehrveranstaltung: Aerospace Systems Engineering
EDV-Bezeichnung: LURZ 121
Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Reza Ahmadi
Umfang (SWS): 4
Turnus: halbjährlich (auf Anfrage)
Art und Modus: interaktives Seminar
Lehrsprache: deutsch (opt. englisch)
Inhalte:

Tag 1: Luftfahrt-Anforderungen

- Business-Anforderungen
Luftfahrtgeschäft: Airlines, OEMs, Zulieferer, MRO, Neue Märkte und Player
Stärken und Schwächen der Industrie in Deutschland und Baden-Württemberg
- Umweltschutz-Anforderungen
Umweltbilanz des Luftverkehrs
Risiken und Chancen (EU und Global)
- Regulatorische Anforderungen
Gesetze und Behörden in der EU und USA
Bauvorschriften und Normen
Empfehlungen und Standards
- Sicherheitsanforderungen
Akzeptable Ausfallwahrscheinlichkeit, warum so extrem?
Gefahrenquellen (Technisches Versagen, Human-Factors, Umgebungseffekte, Security)
- Grundlagen der Sicherheitsanalyse

Tag 2: Aerospace Management

- Aircraft System Development Process (orientiert an SAE ARP-4754)
- Aerospace Management and Leadership (praktische Aspekte)
- Sicherheit vs. Compliance
- Safety vs. Security
- V-Modell vs. Agility
- Human Factors

Tag 3: Aircraft Safety Assessment

- Aircraft Safety Assessment (orientiert an SAE ARP-4761)

Tag 4: Flugsystemtechnik

- Übersicht Flugzeugaufbau
- Aerodynamik
- Flugmechanik und -Regelung
- Flugsteuerung
- Weitere Systeme

Tag 5: Flight Control System

- Hydraulic Power System
Airbus A320
Airbus A380
- Navigation System
Cockpit Systeme
Air Data and Inertial Sensors
Air Data and Inertial Reference Systeme (ADC/CADC/ADIRU)
Radio Navigation (Radar, ILS, GNSS)

Tag 6: Avionik-Netzwerke

- Kommunikationsmedien
Kabel / Glasfaser / Wireless
- Kommunikationsmuster
CSMA / P2P
- Protokolle
ARINC 429-629 / AFDX / PCIeX/ MIL-STD 1773

Tag 7: Redundanz-Management <ul style="list-style-type: none">• Dual Simplex Redundanz• Duplex Redundanz• Triplex• Quadruplex• Multi-Duplex / Multi-Triplex
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none">• EASA CS-25• SAE ARP4754• SAE ARP4761• RTCA DO-326
Anmerkungen: Keine

1.3 Aerospace Sensorik - Radar

Modulname: Aerospace Sensorik - Radar

Modulübersicht

EDV-Bezeichnung: LURZ 130

Modulverantwortliche(r): Prof. Dr.-Ing. Reza Ahmadi, Prof. Dr.-Ing. Serdal Ayhan (HKA); Prof. Dr.-Ing. Waldschmidt, Dr.-Ing. Martin Hitzler (Universität Ulm)

Modulumfang (ECTS): 8 CP

Arbeitsaufwand: 190 h

- Stoffvermittlung: 95 h
- Selbstlernzeit und Projektarbeit: 95 h
- Optionale Online-Sprechstunde

Einordnung (Semester): Winter- und Sommersemester

Inhaltliche Voraussetzungen: keine

Voraussetzungen nach SPO: keine

Kompetenzen:

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls weisen die Teilnehmenden ein grundlegendes Verständnis für die Radartechnik im Bereich der Hochfrequenztechnik (HF) auf, indem sie

- die wichtigsten Grundlagen der HF-Technik verstehen und diese mit Simulationswerkzeugen anwenden.
- die Eigenschaften und den Aufbau passiver HF-Komponenten für den Einsatz in Radarsensoren kennen.
- die Bedienung und Anwendung des Netzwerkanalysators zur Durchführung praxisnaher Messungen an passiven HF-Bauteilen beherrschen.
- die Eigenschaften aktiver HF-Komponenten und die Prinzipien der HF-Signalgenerierung für den Einsatz in Radarsensoren kennen.
- die Bedienung und Anwendung des Spektrumanalysators zur Durchführung praxisnaher Messungen an aktiven HF-Bauteilen beherrschen.
- die wichtigsten Grundlagen der Radartechnik verstehen, die Messgrößen beschreiben sowie Zusammenhänge zwischen den Sensorengrößen ziehen.
- die Radargleichung anwenden und den Einfluss der Reflexionseigenschaften unterschiedlicher Objekte auf die Empfangsleistung berechnen.
- die Methoden zur Richtungsbestimmung und Bildgebung mittels winkelgebender Radarsysteme und deren praktische Grenzen verstehen.

- die Funktionsweise, Einsatzgebiete und Einschränkungen von einem Radar mit synthetischer Apertur kennen.
- einen Überblick über aktuelle Trends der Radartechnologie, einschließlich Miniaturisierung, steigender Auflösung und Einsatz von künstlicher Intelligenz erhalten.
- die wichtigsten Grundlagen der Radar-Signalverarbeitung mit Schwerpunkt auf dem FMCW-Mehrrampenverfahren (engl. Frequency-Modulated Continuous Wave) und der praktischen Anwendung von Radarsensoren kennen und verstehen.
- die gesamte Signalverarbeitungskette eines Radarsensors von der Vorsignalverarbeitung zur Erzeugung einer Punktwolke bis hin zur Nachsignalverarbeitung auf Objektebene kennen.
- die Frequenzschätzung mittels Fouriertransformation zur Abstandsmessung sowohl simulieren als auch praktisch anwenden.
- die Geschwindigkeits- und Winkelinformationen bestimmen und die Prinzipien von Mehrantennensystemen verstehen.
- die systematische Auslegung von FMCW-Mehrrampenverfahren zur kombinierten Messung von Abstand, Geschwindigkeit und Winkel lernen und diese praktisch umsetzen.
- entsprechend der Anwendung, die Anforderungen an die Hardware und die Signalverarbeitung eines Radarsensors ableiten.
- eigenständig praktische Messungen mit Radarsensoren durchführen und Abstand, Geschwindigkeit und Winkel auswerten.
- die unterschiedlichen Einflüsse auf die Messergebnisse eines Radarsensors verstehen und Hardware-, Software- und Umgebungseinflüsse analysieren und einordnen

Prüfungsleistungen:

Schriftliche Ausarbeitung mit einem Umfang von maximal 20 Seiten mit abschließender Präsentation und Diskussion wahlweise entweder über ein vorgegebenes, aktuelles Thema der Radartechnik in der Luft- und Raumfahrt oder über die Durchführung und Auswertung von realen Radarmessungen zur Abstands-, Geschwindigkeits- und Winkelbestimmung.

Verwendbarkeit:

Das Ziel des Moduls ist die Vermittlung von allgemeinen und speziellen Kenntnissen im Bereich der Radartechnik auf System- und auf Komponentenebene. Hierfür werden die Grundlagen der Hochfrequenztechnik vermittelt und deren Bedeutung auf Systemebene beschrieben. Insbesondere wird der Bereich der Signalverarbeitung zur Auswertung der Radarsignale über die gesamte Verarbeitungskette vorgestellt. Durch die erlangten Spezialkenntnisse sind die Teilnehmenden in der Lage, die Radartechnik für unterschiedliche Anwendungen einzusetzen und in diesem Bereich auch Entwicklung zu betreiben.

Lehrveranstaltung: Aerospace Sensorik - Radar

EDV-Bezeichnung: LURZ 131

Dozent/in: Prof. Dr. Serdal Ayhan (HKA), Dr.-Ing. Martin Hitzler (Universität Ulm)

Umfang (SWS): 4

Turnus: halbjährlich (auf Anfrage)

Art und Modus: interaktives Seminar

Lehrsprache: deutsch (opt. englisch)

Inhalte:

Teil 1: HF-Technik

- HF-Grundlagen:
 - Leitungstheorie, Streuparameter, Smith-Diagramm
 - Laborversuch: HF-Schaltungssimulation zu HF-Grundlagen, Anpassung, Reflexion, Transmission
 - Passive HF-Komponenten
 - Koppler und Filter mit μ Streifenleitungen
 - Laborversuch: HF-Messtechnik mit Netzwerkanalysator
- Einführung Netzwerkanalysator, Messungen zu HF-Grundlagen, Filter, Koppler

- Aktive HF-Komponenten
 - Rauschen, Signal-zu-Rausch-Verhältnis, Nichtlinearitäten
 - HF-Signalgenerierung mit Phasenregelschleife (PLL), Phasenrauschen
 - Laborversuch: HF-Messtechnik mit Spektrumanalysator
Einführung Spektrumanalysator, Messungen zu Nichtlinearitäten mit Mischer und Verstärker

Teil 2: Grundlagen Radartechnik

- Frequenzbereiche, Technologien, Wellenausbreitung, Messgrößen, Auflösung
- Radargleichung und Radarrückstreuquerschnitt (engl. Radar Cross Section RCS)
- Modulationsverfahren: Continuous Wave Radar, Pulsmodulation
- Winkelgebende Radarsysteme: Grundlagen der Winkelgebung, Phased Arrays, Antennen für Radarsysteme, Praktische Randbedingungen
- Synthetisches Apertur Radar (SAR): Funktionsweise, Anwendungsbeispiele und Grenzen
- Neue Trends der Radarsensorik

Teil 3: Radar-Signalverarbeitung

- FMCW-Signalverarbeitung zur Abstandsbestimmung
 - Abstandsschätzung und Abstandsauflösung
 - Laborversuch: Simulationen zur Bestimmung des Abstandes mittels Fouriertransformation (engl. fast Fourier transform, FFT), Signal- zu Rauschverhältnis (engl. Signal-to-Noise Ratio, SNR)
 - Laborversuch: Messungen mit einem 77-GHz Radarsensor und Auswertung realer Radarsignale
- FMCW-Signalverarbeitung zur Geschwindigkeits- und Winkelbestimmung
 - Geschwindigkeitsschätzung und Geschwindigkeitsauflösung
 - Winkelschätzung und Winkelauflösung
 - Mehrantennensysteme, MIMO (engl. Multiple Input Multiple Output), Beamforming
 - Laborversuch: Simulationen zur Bestimmung der Geschwindigkeit und des Winkels mittels FFT
 - Laborversuch: Software-Tool zur Auslegung und Systemanalyse von FMCW-Mehrrampenverfahren für reale Sensoren
- FMCW-Signalverarbeitung zur Erzeugung von Radardetektionen
 - CFAR (engl. Constant False Alarm Rate), Clustering, Tracking
 - Laborversuch: Simulationen zu CFAR
 - Laborversuch: Abstands-, Geschwindigkeits- und Winkelmessungen mit einem 60-GHz Radarsensor, Diskussion der Messergebnisse

Empfohlene Literatur:

- Frank Gustrau: Hochfrequenztechnik – Grundlagen der mobilen Kommunikationstechnik, 3. Aufl. (zweite Aufl. 2013; aktuelle Ausgabe 2023), Hanser Fachbuchverlag, München. ISBN 978-3-446-47685-1
- David M. Pozar: Microwave Engineering, 4. Aufl., Wiley, Hoboken NJ 2011, ISBN 978-0-470-63155-3
- Michael Hieber: Grundlagen der vektoriellen Netzwerkanalyse, 2. Aufl. 2006, Rohde & Schwarz, München, ISBN 978-3-939837-05-3
- Christoph Rauscher, Volker Janssen, Roland Minihold: Grundlagen der Spektrumanalyse, 3. Aufl. 2007 (5. Aufl. 2011), Rohde & Schwarz, München, ISBN 978-3-939837-00-8
- Merrill I. Skolnik (Hrsg.): Radar Handbook, 3. Aufl. 2007, McGraw-Hill, New York, ISBN 978-0-07-148547-0
- Jürgen Göbel: Radartechnik: Grundlagen und Anwendungen, 2. Aufl. (aktuelle Ausgabe 2011), VDE Verlag, Berlin, ISBN 978-3-8007-3141-1

Anmerkungen:

Laborversuche mit HF-Messgeräten (Netzwerkanalysator und Spektrumanalysator), Messungen mit realen Radarsensoren und Matlab-Simulationen zur Radarauswertung sind Teil der Vorlesung.

1.4 Aerospace Software Engineering

Modulname: Aerospace Software Engineering

Modulübersicht

EDV-Bezeichnung: LURZ 140

Modulverantwortliche(r): Prof. Dr.-Ing. Reza Ahmadi (HKA);
Dipl.-Ing. Matthias Lehmann (Universität Stuttgart)

Modulumfang (ECTS): 8 CP

Arbeitsaufwand: 190 h

- Stoffvermittlung: 95 h
- Selbstlernzeit und Projektarbeit: 95 h
- Optionale Online-Sprechstunde

Einordnung (Semester): Winter- und Sommersemester

Inhaltliche Voraussetzungen: keine

Voraussetzungen nach SPO: keine

Kompetenzen: Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:

- Die Teilnehmenden kennen die wichtigsten luftfahrtspezifischen Normen (z. B. DO-178C, ARP-4754A) sowie deren Zusammenhänge und Anforderungen an Softwareentwicklungsprozesse. Sie verstehen die Grundlagen des Konfigurations-, Änderungs- und Risikomanagements und können gängige Werkzeuge wie Git und JIRA einordnen.
- Die Teilnehmenden verstehen den strukturierten Entwicklungsprozess im V-Modell gemäß DO-178C, inklusive der Erstellung und Dokumentation von Anforderungen, Softwaredesign und Implementierung. Sie wissen, wie diese Phasen in sicherheitskritischen Projekten verknüpft und rückverfolgbar gemacht werden.
- Die Teilnehmenden kennen die Anforderungen an Verifikation und Validierung gemäß DO-178C für sicherheitskritische Software der Klasse DAL-A. Sie wissen, wie Verifikation geplant, durchgeführt und dokumentiert wird, einschließlich der Nutzung geeigneter Tools und Coverage-Metriken.
- Die Teilnehmenden verstehen die Grundlagen von IMA, ARINC-653/664 und der Architektur moderner Avioniksysteme. Sie können Echtzeitbedingungen (z. B. WCET), Multicore-Herausforderungen und modellbasierte Entwicklungsansätze in sicherheitsrelevanten Systemen bewerten.
- Die Teilnehmenden kennen Prinzipien der defensiven Programmierung, konfigurierbarer Systeme sowie CI/CT-Pipelines mit Tools wie Jenkins und Git. Sie haben einen Überblick über KI-gestützte Entwicklungsmethoden, Software-Reuse/COTS-Einsatz und Systemintegration auf µC-, FPGA- und ASIC-Basis.

Prüfungsleistungen:

- LBP – Während der Woche Projektarbeiten und Präsentationen von den Teilnehmenden
- Am Ende eine schriftliche Prüfung von 2 Stunden
 - 1 Stunde online Test mit Fragen zu den verschiedenen Themen
 - 1 Stunde Ausarbeitung einer konkreten Aufgabe unter Anwendung der gelernten Methoden und Techniken

Verwendbarkeit:

Allgemein:

Das Ziel des Moduls ist die Vermittlung von allgemeinen und speziellen Kenntnissen im Bereich der Entwicklung sicherheitskritischer Software im Luftfahrtkontext. Die Teilnehmenden erlangen ein fundiertes Verständnis der zugrunde liegenden Normen (z. B. DO-178C, ARP-4754A), des V-Modells

sowie der relevanten Entwicklungs-, Verifikations- und Managementprozesse. Darüber hinaus werden moderne technische Konzepte wie Multicore, modellbasierte Entwicklung, CI/CD und KI-Anwendungen im Kontext sicherer Software behandelt.

Das Modul schafft die Grundlagen für die eigenständige Planung, Umsetzung und Bewertung sicherheitsrelevanter Softwarelösungen in regulierten Systemumgebungen – insbesondere im Avionikbereich.

Zusammenhänge / Abgrenzung zu anderen Modulen:

Das Modul baut auf einem allgemeinen Verständnis von Softwareentwicklung und Systemtechnik auf und ergänzt dieses um sicherheitskritische, normenkonforme Praktiken. Es ist eng verknüpft mit Modulen zu Echtzeitsystemen, Requirements Engineering und Embedded Software, unterscheidet sich jedoch durch seinen Fokus auf Regelwerke, Verifikation, Zertifizierungsprozesse und Architekturentscheidungen nach luftfahrtspezifischen Standards.

Im Unterschied zu klassischen Modulen über Programmierung oder Softwarearchitektur liegt der Schwerpunkt hier auf Zulassung, Nachvollziehbarkeit, Prozessdisziplin und Safety-Nachweisen, wie sie in stark regulierten Umfeldern gefordert sind (z. B. durch DO-178C, DO-254, ARINC 653, DO-326A).

Lehrveranstaltung: Aerospace Software Engineering

EDV-Bezeichnung: LURZ 141

Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Reza Ahmadi, Dipl.-Ing. Matthias Lehmann

Umfang (SWS): 4

Turnus: halbjährlich (auf Anfrage)

Art und Modus: interaktives Seminar

Lehrsprache: deutsch (opt. englisch)

Inhalte:

Tag 1:

Übersicht der Vorgaben

- SAE ARP-4754A: System Development Process
- SAE ARP-4761: Safety Assessment & Functional Hazard Analysis
- RTCA DO-178C: Software Development & Certification
- RTCA DO-330: Tool Qualification
- RTCA DO-331/332/333: Model-Based, Object-Oriented, Formal Methods
- RTCA DO-254: Hardware Design Assurance
- RTCA DO-160: Environmental Conditions & Testing
- RTCA DO-326A / DO-356A: Airborne Security (Cybersecurity Guidelines)

Aerospace Software Project Management

- Aerospace Software Project Management
 - Projektlebenszyklus im Luftfahrtkontext
 - Rollen: Certification Authority, Design Assurance Engineer, Project Manager
 - Anforderungen an Nachvollziehbarkeit, Dokumentation, Prozessreife
 - Unterschiede zu klassischen/agilen SW-Projekten
- Version Management / Konfigurationsmanagement
- Einführung in das Konfigurationsmanagement (KM)
 - Was ist KM und warum ist es kritisch in der Luftfahrt?
 - Überblick über Konfigurationsobjekte: Code, Requirements, Tests, Dokumente
 - Lebenszyklus eines Konfigurationselements (Create – Modify – Release – Archive)
- Anforderungen aus der Luftfahrt an ein KM-System
 - Eindeutige Identifikation und Versionierung
 - Änderungsverfolgung und Freigabeprozesse
 - Auditfähigkeit und Baseline-Kontrolle (z. B. Configuration Status Accounting)
 - Nachweise in DO-178C & DO-254 (z. B. Configuration Management Plan)
- Tools für den Einsatz

Vergleich: Git, Subversion (SVN), ClearCase
Branchenübliche Werkzeuge: GitLab, IBM Rational, Polarion, Helix Core
Einführung in Git (Hands-on/Überblick)
Repositories, Commits, Branches, Tags
Best Practices für strukturierte KM in Git (z. B. Git Flow)
Toolchain-Integration (z. B. Git + Jenkins + DOORS)
Problem Reporting & Change Management (ca. 60 min)
Problem Reporting
Klassifikation von Fehlern
Nachvollziehbarer Fehlerlebenszyklus (Detection → Logging → Tracking → Resolution)
Tools: JIRA, Bugzilla, Polarion ALM, gitlab, github
Change Management
Änderungsantrag, Impact Analysis, Freigabeworkflows
Zusammenhang mit Traceability und Safety Assessment
Review & Approval in DO-178-Umgebung
Risk Management in Luftfahrtprojekten (ca. 45–60 min)
Systematische Risikoidentifikation (z. B. technische, terminliche, sicherheitsrelevante Risiken)
Methoden: FMEA, FTA, Hazard Analysis (ARP-4761)
Risikobehandlung: Vermeidung, Minderung, Akzeptanz
Risikomanagement-Dokumentation & Review
Dissimilarity
Definition: Was bedeutet „Dissimilar Software“ im Kontext Safety & Certification?
Einsatz in Redundanzarchitekturen (z. B. diverse Implementierungen, unterschiedliche Tools/Compiler)
Vorteile: Fehlerunabhängigkeit, erhöhte Fehlertoleranz
Herausforderungen: Verifikation, Kosten, Maintenance
Abschluss / Zusammenfassung
Rückblick auf Normenlandschaft und deren Zusammenwirken
Diskussion typischer Praxisprobleme bei KM, Change Mgmt, Dissimilarity
Q&A

Tag 2:

V-Modell Entwicklungsprozess (RTCA DO-178)

Einführung: DO-178C und das V-Modell
Struktur des Entwicklungsprozesses
Anforderungsentwicklung im V-Modell
Software Design im sicherheitskritischen Umfeld
Implementierung und Integration
Traceability & Artefaktstruktur
Beispielhafte Dokumente und Artefakte
Praxisübung / Workshop-Teil
Zusammenfassung & Reflexion
Optional: Vertiefungsthemen
Vergleich mit ISO 26262 (z. B. Automotive vs. Aviation)

Tag 3:

V-Modell V&V-Prozess (DAL-A)

Einführung in das V-Modell
Verifikation und Validierung im V-Modell
Einführung in DAL (Design Assurance Levels) nach DO-178C
V&V-Prozess bei DAL-A im Detail
Tools und Techniken für V&V bei DAL-A
Beispiel-Szenario / Mini-Workshop

Abschluss / Reflexion

- Checkliste für V&V bei DAL-A

- Was unterscheidet DAL-A von niedrigeren Levels (z. B. B/C)?

- Typische Auditfragen / Vorbereitung auf Zertifizierung

- Fragerunde & Zusammenfassung

Optionales Bonus-Thema (wenn Zeit bleibt):

- Tool Qualification nach DO-330

- Unterschiede zu ISO 26262 / IEC 61508

Tag 4 und 5:

Software Architektur

IMA ARINC-653+ARINC-664

- Grundlagen der IMA Technologien

- IMA Plattformkonzepte

- IMA und Luftfahrtsysteme

- ARINC 653 - API, Operating-System,

- Entwicklung und Realisierung einer Anwendung mit dem ARINC 653 API

- Signalverarbeitung und Buskommunikation mit AFDX

- Auslegen und Verifikation einer Systemfunktion

Worst Case Execution Time

- Grundlagen WCET

- Beurteilung von Algorithmen (O-Notation)

- Einflussfaktoren auf die WCET

- Messung und Vorgehen zur Bestimmung der WCET

- Statische WCET-Analyse

- Messbasierte WCET-Analyse

- Toolunterstützung & Frameworks

- WCET in Echtzeitsystemen

- Herausforderungen & Grenzen

- Anwendungsbeispiele

- Projekt oder Vortrag

Multi-Core

- Grundlagen der Multicore-Architektur

- Parallelisierungstechniken

- Thread-Programmierung

- Synchronisation und Speicherzugriff

- Programmiermodelle für Multicore

- Multicore-Optimierung

- Debugging & Testing in Multicore-Umgebungen

- Betriebssystemunterstützung für Multicore

- Performance-Messung und -Tuning

- Anwendungen von Multicore-Programmierung

- Bonus-Themen (fortgeschritten)

Modellbasierte Softwareentwicklung

Code-Generierung

- Grundlagen und Motivation

- Arten von Code-Generierung

- Tools & Frameworks zur Code-Generierung

- Vor- und Nachteile der Code-Generierung

- Code-Generierung in Build-Prozessen

- Templatebasierte Code-Generierung

- Domänenspezifische Sprachen (DSLs)

Sicherheit & Qualität bei generiertem Code
Code-Generierung in der KI-Entwicklung
Reverse Engineering und Re-Generierung
Fallstudien und Praxisbeispiele

Tag 6 und 7:

Software Entwicklung

Defensive Programmierung und Safe C

- Fehlerbehandlung und Ausnahmebehandlung
- Validierung von Eingaben
- Vertragsbasiertes Programmieren (Design by Contract)
- Unit Testing & Testgetriebene Entwicklung (TDD)
- Code Reviews & statische Codeanalyse
- Verwendung sicherer Programmiermuster
- Logging und Monitoring
- Dokumentation und Verständlichkeit
- Defensive Programmierung im Teamkontext
- Vergleich verschiedener Programmiersprachen
- Defensive Programmierung vs. offensive Techniken

Konfiguration

- Grundlagen konfigurierbarer Systeme
- Konfigurierbarkeit vs. Selbstadaption
- Probleme konfigurierbarer/selbst adaptierbarer Systeme
- DO178C und Parameter Data Item (PDI)
- Defintion der Usage Domain
- Verifikation der Usage Domain

CI/CT

- Einführung: Continuous Integration (CI) & Continuous Testing (CT)
- Tool: Jenkins
- Git und Jenkins – Zusammenspiel
- Aufsetzen eines Workflows
- Code Coverage
- Performance-Messung in der CI
- Erweiterbare Zusatzthemen (optional)
 - Security Checks (SAST)
 - Fehler- und Loganalyse
 - Containerisierung & CI/CD
 - Best Practices & Anti-Patterns

Vortrag/Projektbericht

KI in der Entwicklung

- Einführung in KI
- KI-Methoden
- Retrieval-Augmented Generation (RAG)
- KI-gestützte Tools in der Softwareentwicklung
- KI in CI/CD-Pipelines
- Herausforderungen und Risiken
- Praxisbeispiele und Werkzeuge
- Zukunft & Ausblick
- Präsentation oder Arbeit:

Software Reuse / COTS

- Was ist Software Reuse
- Einbindung in das V-Modell
- Traceability
- Arten von Software Reuse

Bewertung und Auswahl von COTS
Qualitätsaspekte und Risiken bei Reuse
Integrationstechniken
Dokumentation und Governance
Wirtschaftlichkeit von Software-Reuse
Beispiele aus der Praxis
µC / Speicher / ASIC / FPGA
Aufbau eines Avionik Rechners
Betrachtung einzelner Komponenten

Empfohlene Literatur:

Normen & Zertifizierung (DO-178C, ARP-4754A, DO-254 usw.):

1. "Software Engineering for Embedded Systems" – Robert Oshana Umfangreiches Praxisbuch zu sicherheitskritischer Entwicklung, inkl. DO-178C und DO-254
2. "Avionics Certification: A Complete Guide to DO-178 (and DO-254)" – Vance Hilderman, Tony Baghai - Praktischer Leitfaden zu Zertifizierung, Prozessen und Dokumentation
3. "Safety-Critical Software: Specification, Verification, and Compliance" – Leanna Rierson-Tiefgehende Einführung in Standards wie DO-178C, ARP-4754A, DO-330, DO-254

V-Modell, Projektmanagement & Traceability:

4. "The V-Model of Software Development" – Michael Züger - Praxisnahes Buch zur Anwendung des V-Modells in regulierten Entwicklungsprojekten
5. "Requirements Engineering: Fundamentals, Principles, and Techniques" – Klaus Pohl-Grundlagen der Anforderungsanalyse mit Fokus auf Traceability

Echtzeitsysteme, WCET, Multicore, Architektur:

6. "Real-Time Systems" – Jane W. S. Liu - Standardwerk für Echtzeitsysteme, Scheduling und Echtzeitbetrieb
7. "Embedded Systems Architecture" – Tammy Noergaard - Einführung in eingebettete Architekturen, Plattformen, ARINC und Multicore
8. "Modern Multicore-Systems: Programming, Performance, and Analysis" – Shameem Akhter - Technisches Buch zu Multicore-Programmierung und Optimierung
9. "Worst-Case Execution Time Analysis" – Reinhard Wilhelm et al. - Fachlich präzise Darstellung statischer und dynamischer WCET-Analyse

Modellbasierte Entwicklung & Codegenerierung:

10. "Model-Based Engineering with AADL" – Peter H. Feiler - Einführung in modellbasiertes Systemdesign mit AADL und Safety-Bezug
11. "Model-Based Development for Embedded Systems" – Gabriela Nicolescu - Übersicht zu Modellierung, Generierung und Verifikation in Embedded-Projekten

Testing, CI/CD, Defensive Programmierung:

12. "Continuous Delivery" – Jez Humble, David Farley - Grundlagen und Best Practices für moderne CI/CD-Pipelines
13. "Effective Unit Testing" – Lasse Koskela - Praktische Einführung in sinnvolle Teststrategien und Testabdeckung
14. "Clean Code" – Robert C. Martin - Grundlagen für sauberen, wartbaren, testbaren Code
15. "Secure Coding in C and C++" – Robert C. Seacord - Praxisnahes Buch für sichere Programmierung in sicherheitskritischer Umgebung

Künstliche Intelligenz in der Softwareentwicklung:

16. "You Look Like a Thing and I Love You" – Janelle Shane - Einstieg in KI, Fehlverhalten und Grenzen – verständlich erklärt
17. "Designing Data-Intensive Applications" – Martin Kleppmann - Architektur moderner datenintensiver Systeme – auch relevant für KI-Anwendungen
18. "Practical Deep Learning for Coders" – Jeremy Howard, Sylvain Gugger - Einführung in Deep Learning mit praktischen Beispielen

Software Reuse & COTS:

19. "Component Software: Beyond Object-Oriented Programming" – Clemens Szyperski - Technische Grundlagen der Wiederverwendung von Softwarekomponenten
20. "Commercial-Off-The-Shelf (COTS) Software in Defense Systems" – Defense Acquisition University - Fokus auf Bewertung, Integration und Risiken von COTS in sicherheitskritischen Systemen

Zusätzliche Empfehlungen:

- EASA/FAA-Guidance Material (z. B. DO-178C Handbook, AC 20-115D)
- Originaldokumente: RTCA DO-178C, DO-254, DO-330, SAE ARP-4754A, ARP-4761 - (sofern verfügbar oder intern zugänglich)

Anmerkungen: keine