

Modulbezeichnung: Satellitenkommunikation (SATKOM) **5 ECTS**
(Satellite Communications)

Modulverantwortliche/r: Albert Heuberger
Lehrende: Christian Rohde

Startsemester: SS 2020	Dauer: 1 Semester	Turnus: jährlich (SS)
Präsenzzeit: 60 Std.	Eigenstudium: 90 Std.	Sprache: Deutsch

Lehrveranstaltungen:

Satellitenkommunikation (SS 2020, Vorlesung, 2 SWS, Christian Rohde)
Übung Satellitenkommunikation (SS 2020, Übung, 2 SWS, Jochen Martin-Creuzburg)

Empfohlene Voraussetzungen:

Keine formalen Voraussetzungen

Inhalt:

Nach einem historischen Rückblick zur Entwicklung der Satellitenkommunikation werden die einzelnen Komponenten eines typischen Gesamtsystems (Boden- und Raumsegment) näher betrachtet.

Hierzu zählt der prinzipielle Aufbau von Trägerraketen, von Satelliten (Satellitenplattformen, Subsysteme, Nutzlasten), die meist genutzten Umlaufbahnen und die verschiedenen Kommunikationsverbindungen (Uplink, Downlink, Inter-Satellite-Link). Die Besonderheiten der Signalausbreitung und -übertragung über große Entfernungen zwischen Bodenstationen und Satelliten werden erklärt und mit Beispielen ergänzt. Dabei wird insbesondere eingegangen auf verwendete Frequenzen, Signaldispersion und -dämpfung, atmosphärische Effekte sowie Störeinflüsse der Weltraumumgebung.

Die Architektur transparenter und regenerativer Kommunikationseinheiten wird ausführlich an Beispielen kommerziell verfügbarer Transponder und Onboard-Prozessoren erklärt. Die Prinzipien moderner, standardisierter Verfahren zur Signalaufbereitung und Übertragung von Video-/Bild und Audiosignalen über Satellit (z.B. MPEG, H.264/265, DVB-S/-S2/-S2X) werden erläutert und diskutiert. Dies umfasst Verfahren zur Quellencodierung, Kanalcodierung und Modulation, Kanalzugriff und -diversität.

Außerdem wird auf die im Orbit und im kommerziellen Einsatz befindlichen Kommunikationssatelliten und der damit verbundenen großen Dienstvielfalt eingegangen wie z.B. bei TV- und Breitbandversorgung sowie in Mobilkommunikationssystemen. Abschließend werden einige Herausforderungen und Forschungsansätze im Zusammenhang mit den neuen Megakonstellationen und Next Generation High Throughput Satellites (HTS) für zukünftige Satellitensysteme vorgestellt.

Die in der Vorlesung behandelten physikalischen, elektro- und nachrichtentechnischen Zusammenhänge werden in den ergänzenden Übungen mit Rechenbeispielen vertieft.

Gliederung der Vorlesung: 1. Einführung

Hauptkomponenten (Space Segment, Ground Segment), Überblick: Satelliten, Launcher, Orbits, Aufgaben, genutzte Frequenzen, Standarddienste, Satellitennetzwerke der größten Satellitenbetreiber

2. Entwicklung der Satellitenkommunikation

Meilensteine, Organisationen, Nationale Programme

3. Orbits und Konstellationen

Keplersche Gesetze, Beschreibung von Umlaufbahnen, genutzte Orbits, Bodenspuren, erreichbare Abdeckung

4. Trägersysteme

Trägerraketen, Entwicklung, Anbietermarkt, Nutzlastfähigkeit, Startplätze, Startverlauf

5. Satellitenaufbau

Auswahl aktueller Satellitenplattformen, Satellitenaufbau, Plattformkomponenten, Montageschritte und Tests

6. Satellitennutzlast (Payload)

Komponenten, Industrielle Beispiele, Aufbau und Aufgaben der Payload, Transponderarchitekturen, Antennen

7. Signalausbreitung und Leistungsbilanz

Signalausbreitung, Freiraumverluste, Signaldämpfung, Rauschen, Signal-Rausch-Verhältnis, Linkbudget

8. Weltraumumgebung

Weltraumumgebungsbedingungen, Einflüsse auf den Satelliten und die Elektronik der Nutzlast (SEE, TID, DD)

9., 10., 11. Quellencodierung, Kanalcodierung, Modulationsverfahren, Signalübertragung am Beispiel DVB-S/-S2

Audio-, Bild- und Videokompression, FEC, Interleaver, Modulation, Zugriffs-, Duplex-, Multiplexverfahren

12. Vielfalt der Kommunikationsdienste, Beispiele moderner, zellulärer Satellitenkommunikationssysteme

Iridium, Globalstar, Inmarsat, Thuraya, Orbcom, O3b, ...), kommende Megakonstellationen (OneWeb, SpaceX, ...)

13. Neue Märkte, neue Dienste

SatKom auf StudOn: <http://www.studon.uni-erlangen.de/crs117969.html>

Lernziele und Kompetenzen:

Wissen:

- Die Studierenden bekommen einen guten Überblick über alle Aspekte der Satellitenkommunikation inklusive Historie.
- Die Studierenden lernen die weltweit führenden oder in Europa ansässigen Firmen und Organisationen kennen, die in den Bereichen Satellitenbau und -betrieb, Satellitendienste bzw. -anwendungen, sowie Forschung und Entwicklung tätig sind.

Verstehen:

- Die Studierenden lernen die Signalverarbeitungsschritte im Sender, Satelliten und Empfänger kennen - von der Audio/Video-Quelle über Link-Budget-Berechnungen bis zur Datensenke.

Anwenden / Beurteilen:

- Die Studierenden können die Herausforderungen der Weltraumumgebung sowie Vor- und Nachteile verschiedener Orbits einschätzen und wichtige Kenngröße berechnen.
- Die Studierenden lernen den Aufbau und wichtige Kenngrößen von Satelliten, Konstellationen und Launchern kennen und dabei verwendete Konzepte zu unterscheiden und zu klassifizieren bzgl. deren Vor- und Nachteilen.

Literatur:

Skriptum zur Lehrveranstaltung

Verwendbarkeit des Moduls / Einpassung in den Musterstudienplan:

Das Modul ist im Kontext der folgenden Studienfächer/Vertiefungsrichtungen verwendbar:

[1] **123#67#H**

(Po-Vers. 2008 | TechFak | Computational Engineering (Master of Science with Honours) | Gesamtkonto | Wahlpflichtbereich Technisches Anwendungsfach | Satellitenkommunikation)

[2] **Berufspädagogik Technik (Bachelor of Science)**

(Po-Vers. 2011 | TechFak | Berufspädagogik Technik (Bachelor of Science) | Studienrichtung Elektrotechnik und Informationstechnik | Gesamtkonto | Wahlpflichtmodule Fachwissenschaft | Satellitenkommunikation)

[3] **Berufspädagogik Technik (Master of Education)**

(Po-Vers. 2010 | TechFak | Berufspädagogik Technik (Master of Education) | Studienrichtung Elektro- und Informationstechnik (Masterprüfungen) | Wahlpflichtmodule Fachwissenschaft | Satellitenkommunikation)

[4] **Berufspädagogik Technik (Master of Education)**

(Po-Vers. 2018w | TechFak | Berufspädagogik Technik (Master of Education) | Gesamtkonto | Wahlpflichtmodule Fachwissenschaft | Satellitenkommunikation)

[5] **Computational Engineering (Rechnergestütztes Ingenieurwesen) (Master of Science)**

(Po-Vers. 2008 | TechFak | Computational Engineering (Rechnergestütztes Ingenieurwesen) (Master of Science) | Gesamtkonto | Wahlpflichtbereich Technisches Anwendungsfach | Satellitenkommunikation)

[6] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science): 5-6. Semester**

(Po-Vers. 2007 | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Studien-

richtungen (Wahlpflichtmodule) | Studienrichtung Mikroelektronik | Vertiefungsmodule Mikroelektronik | Satellitenkommunikation)

- [7] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science): 5-6. Semester**
(Po-Vers. 2007 | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Studienrichtungen (Wahlpflichtmodule) | Studienrichtung Informationstechnik | Vertiefungsmodule Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [8] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science): 5-6. Semester**
(Po-Vers. 2009 | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Studienrichtungen | Studienrichtung Mikroelektronik | Vertiefungsmodule (Wahlpflichtmodule) Mikroelektronik | Satellitenkommunikation)
- [9] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science): 5-6. Semester**
(Po-Vers. 2009 | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Studienrichtungen | Studienrichtung Informationstechnik | Vertiefungsmodule (Wahlpflichtmodule) Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [10] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2017w | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Studienrichtung Mikroelektronik | Vertiefungsmodule Mikroelektronik | Satellitenkommunikation)
- [11] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2017w | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Studienrichtung Informationstechnik | Vertiefungsmodule Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [12] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2019w | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Gesamtkonto | Studienrichtung Mikroelektronik | Kern- und Vertiefungsmodule Mikroelektronik | Vertiefungsmodule Mikroelektronik | Satellitenkommunikation)
- [13] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2019w | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Bachelor of Science) | Gesamtkonto | Studienrichtung Informationstechnik | Kern- und Vertiefungsmodule Informationstechnik | Vertiefungsmodule Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [14] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science): 1-4. Semester**
(Po-Vers. 2010 | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science) | Studienrichtung Mikroelektronik | Vertiefungsmodule Mikroelektronik | Satellitenkommunikation)
- [15] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science): 1-4. Semester**
(Po-Vers. 2010 | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science) | Studienrichtung Informationstechnik | Vertiefungsmodule Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [16] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2015s | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science) | Gesamtkonto | Studienrichtung Mikroelektronik | Vertiefungsmodule Mikroelektronik | Satellitenkommunikation)
- [17] **Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2015s | TechFak | Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Master of Science) | Gesamtkonto | Studienrichtung Informationstechnik | Vertiefungsmodule Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [18] **Informatik (Bachelor of Arts (2 Fächer))**
(Po-Vers. 2010 | TechFak | Informatik (Bachelor of Arts (2 Fächer)) | Vertiefung Informatik I und II | Vertiefungsmodul Elektronik und Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [19] **Informatik (Bachelor of Arts (2 Fächer))**
(Po-Vers. 2013 | TechFak | Informatik (Bachelor of Arts (2 Fächer)) | Vertiefung Informatik I und II | Vertiefungsrichtung Elektronik und Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [20] **Informatik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2009s | TechFak | Informatik (Bachelor of Science) | Wahlpflichtbereich (5. und 6. Semester) | Wahlpflichtmodule | Vertiefungsrichtung Elektronik und Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [21] **Informatik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2009w | TechFak | Informatik (Bachelor of Science) | Gesamtkonto | Wahlpflichtbereich (5. und 6. Semester) | Wahlpflichtmodule | Vertiefungsrichtung Elektronik und Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [22] **Informatik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2010 | TechFak | Informatik (Master of Science) | Gesamtkonto | Wahlpflichtbereich | Säule der anwen-

dungsorientierten Vertiefungsrichtungen | Vertiefungsrichtung Elektronik und Informationstechnik | Satellitenkommunikation)

- [23] **Information and Communication Technology (Master of Science)**
(Po-Vers. 2019s | TechFak | Information and Communication Technology (Master of Science) | Gesamtkonto | Pflicht- und Wahlpflichtmodule der Studienschwerpunkte | Schwerpunkt Embedded Systems | Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems | Satellitenkommunikation)
- [24] **Information and Communication Technology (Master of Science)**
(Po-Vers. 2019s | TechFak | Information and Communication Technology (Master of Science) | Gesamtkonto | Pflicht- und Wahlpflichtmodule der Studienschwerpunkte | Schwerpunkt Networks and Digital Communication | Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication | Satellitenkommunikation)
- [25] **Informations- und Kommunikationstechnik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2009 | TechFak | Informations- und Kommunikationstechnik (Bachelor of Science) | Gesamtkonto | Wahlpflichtmodule, Wahlmodule, Seminar, Praktika, Bachelorarbeit | Wahlpflichtmodule aus Katalog für IuK | Satellitenkommunikation)
- [26] **Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2010 | TechFak | Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science) | Gesamtkonto | Schwerpunkte im Masterstudium | Schwerpunkt Eingebettete Systeme | Wahlpflichtmodule | Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Eingebettete Systeme | Satellitenkommunikation)
- [27] **Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2010 | TechFak | Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science) | Gesamtkonto | Schwerpunkte im Masterstudium | Schwerpunkt Kommunikationsnetze | Wahlpflichtmodule | Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Kommunikationsnetze | Satellitenkommunikation)
- [28] **Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2010 | TechFak | Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science) | Gesamtkonto | Schwerpunkte im Masterstudium | Schwerpunkt Übertragung und Mobilkommunikation | Wahlpflichtmodule | Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Übertragung und Mobilkommunikation | Satellitenkommunikation)
- [29] **Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2016s | TechFak | Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science) | Gesamtkonto | Schwerpunkte im Masterstudium | Schwerpunkt Eingebettete Systeme | Wahlpflichtmodule | Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Eingebettete Systeme | Satellitenkommunikation)
- [30] **Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science)**
(Po-Vers. 2016s | TechFak | Informations- und Kommunikationstechnik (Master of Science) | Gesamtkonto | Schwerpunkte im Masterstudium | Schwerpunkt Kommunikationsnetze und Übertragungstechnik | Wahlpflichtmodule | Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Kommunikationsnetze | Satellitenkommunikation)
- [31] **Mathematik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. | NatFak | Mathematik (Bachelor of Science) | Module des Nebenfachs | Nebenfach Informatik | Vertiefungsmodulare | Vertiefungsrichtung Elektronik und Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [32] **Mathematik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2015w | NatFak | Mathematik (Bachelor of Science) | Module des Nebenfachs | Nebenfach Informations- und Kommunikationstechnik | Wahlpflichtmodule aus Katalog für IuK | Satellitenkommunikation)
- [33] **Mathematik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2019w | NatFak | Mathematik (Bachelor of Science) | weitere Module der Bachelorprüfung | Module des Nebenfachs | Nebenfach Informatik | Vertiefungsmodulare | Vertiefungsrichtung Elektronik und Informationstechnik | Satellitenkommunikation)
- [34] **Mathematik (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2019w | NatFak | Mathematik (Bachelor of Science) | weitere Module der Bachelorprüfung | Module des Nebenfachs | Nebenfach Informations- und Kommunikationstechnik | Wahlpflichtmodule aus Katalog für IuK | Satellitenkommunikation)
- [35] **Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2009 | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science) | Studienrichtung Informations- und Kommunikationssysteme | weiterer Bachelorprüfungen | Ingenieurwissenschaftlicher Bereich | Wahlbereich | Technische Wahlmodule | Technische Wahlmodule | Satellitenkommunikation)
- [36] **Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science)**
(Po-Vers. 2009 | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science) | Studienrichtung Maschinenbau | wei-

tere Bachelorprüfungen | Ingenieurwissenschaftlicher Bereich | Wahlbereich | Technische Wahlmodule | Technische Wahlmodule | Satellitenkommunikation)

[37] **Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science)**

(Po-Vers. 2018w | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science) | Studienrichtung Maschinenbau (Studienbeginn ab 01.10.2018) | Gesamtkonto | Technische Wahlmodule und Hochschulpraktikum | Technische Wahlmodule | Satellitenkommunikation)

[38] **Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science)**

(Po-Vers. 2018w | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science) | Studienrichtung Elektrotechnik (Studienbeginn ab 01.10.2018) | Gesamtkonto | Technische Wahlmodule und Hochschulpraktikum | Technische Wahlmodule | Satellitenkommunikation)

[39] **Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science): 1-2. Semester**

(Po-Vers. 2009 | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science) | Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (bis 30.09.2018) | Gesamtkonto | Ingenieurwissenschaftliche Studienrichtungen | Technische Wahlmodule | Technische Wahlmodule | Satellitenkommunikation)

[40] **Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science): 1-2. Semester**

(Po-Vers. 2009 | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science) | Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (bis 30.09.2018) | Gesamtkonto | Ingenieurwissenschaftliche Studienrichtungen | Studienrichtung Informations- und Kommunikationssysteme | Wahlpflicht- und Vertiefungsmodul Modulgruppe 5 | Vertiefungsmodul Modulgruppe 5 | Satellitenkommunikation)

[41] **Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science)**

(Po-Vers. 2018w | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science) | Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (Studienbeginn ab 01.10.2018) | Gesamtkonto | Studienrichtung Maschinenbau | Technische Wahlmodule und Hochschulpraktikum | Technische Wahlmodule | Satellitenkommunikation)

[42] **Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science)**

(Po-Vers. 2018w | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science) | Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (Studienbeginn ab 01.10.2018) | Gesamtkonto | Studienrichtung Elektrotechnik | Schwerpunkt Informationstechnik | Wahlpflichtmodul 5 | Vertiefungsmodul 5 | Satellitenkommunikation)

[43] **Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science)**

(Po-Vers. 2018w | TechFak | Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science) | Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (Studienbeginn ab 01.10.2018) | Gesamtkonto | Studienrichtung Elektrotechnik | Technische Wahlmodule und Hochschulpraktikum | Technische Wahlmodule | Satellitenkommunikation)

Studien-/Prüfungsleistungen:

Satellitenkommunikation (Prüfungsnummer: 34601)

(englische Bezeichnung: Satellite Communication)

Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 90

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

Erstabelleung: SS 2020, 1. Wdh.: WS 2020/2021

1. Prüfer: Albert Heuberger

Organisatorisches:

Virtuelles Angebot Videos zu Vorlesung und Übung werden über StudOn bereitgestellt. StudOn-Zugangspasswort wird per Email an die Studenten verteilt, die sich über MeinCampus angemeldet haben. Für manche Studiengänge lässt MeinCampus keine Einschreibung zu. In diesem Fall bitte direkt per Email beim Dozenten melden.

Online-Fragestunde Zum Semesterstart werden mittels Umfrage Zeitslots ermittelt für eine online Fragestunde, wo bei Bedarf Fragen zum Stoff oder Organisatorischem gestellt werden können. Daraus resultierende Informationen von allgemeinem Interesse werden wir für alle Studenten zum Nachschlagen auf StudOn hochladen.

Bemerkungen:

Sprache: Deutsch und Englisch