

---

**Modulbezeichnung:** **Statistische Signalverarbeitung (STASIP)** **5 ECTS**  
 (Statistical Signal Processing)

Modulverantwortliche/r: Walter Kellermann

Lehrende: Thomas Haubner, Walter Kellermann

---

Startsemester: WS 2022/2023

Dauer: 1 semester

Turnus: jährlich (WS)

Präsenzzeit: 60 Std.

Eigenstudium: 90 Std.

Sprache: Englisch

---

**Lehrveranstaltungen:**

Statistische Signalverarbeitung (WS 2022/2023, Vorlesung, 3 SWS, Walter Kellermann)

Ergänzungen und Übungen zur statistischen Signalverarbeitung (WS 2022/2023, Übung, 1 SWS, Thomas Haubner)

---

**Empfohlene Voraussetzungen:**

Module ‚Signale und Systeme I‘ und ‚Signale und Systeme II‘, ‚Digitale Signalverarbeitung‘ oder gleichwertige

---

**Inhalt:**

The course concentrates on fundamental methods of statistical signal processing and their applications. The main topics are:

**Discrete-time stochastic processes in the time and frequency domain** Random variables (RVs), probability distributions and densities, expectations of random variables, transformation of RVs, vectors of normally distributed RVs, time-discrete random processes: probability distribution and densities, expectation, stationarity, cyclostationarity, ergodicity, correlation functions and correlation matrices, spectral representations, principal component analysis (PCA), Karhunen-Loève transform (KLT).

**Estimation theory**

estimation criteria, prediction, classical and Bayesian parameter estimation (including MMSE, Maximum Likelihood, and Maximum A Posteriori estimation), Cramer-Rao bound

**Linear signal models**

Parametric models (cepstral decomposition, Paley-Wiener theorem, spectral flatness), non-parametric models (all-pole, all-zero and pole-zero models, lattice structures, Yule-Walker equations, PARCOR coefficients, cepstral representation)

**Signal estimation**

Supervised estimation, problem classes, orthogonality principle, MMSE estimation, linear MMSE estimation for normally distributed random processes, optimum FIR filtering, optimum linear filtering for stationary processes, prediction and smoothing, Kalman filters, optimum multichannel filtering (Wiener filter, LCMV, MVDR, GSC)

**Adaptive filtering**

Gradient methods, LMS, NLMS, APA and RLS algorithms and their convergence behavior

**Zeitdiskrete Zufallsprozesse im Zeit- und Frequenzbereich**

Zufallsvariablen (ZVn), Wahrscheinlichkeitsverteilungen und -dichten, Erwartungswerte; Transformation von ZVn; Vektoren normalverteilter ZVn; zeitdiskrete Zufallsprozesse (ZPe): Wahrscheinlichkeitsverteilungen und -dichten, Erwartungswerte, Stationarität, Zyklstationarität, Ergodizität, Korrelationsfunktionen und -matrizen, Spektraldarstellungen; ‚Principal Component Analysis‘, Karhunen-Loeve Transformation;

**Schätztheorie**

Schätzkriterien; Prädiktion; klassische und Bayes'sche Parameterschätzung (inkl. MMSE, Maximum Likelihood, Maximum A Posteriori); Cramer-Rao-Schranke

**Lineare Signalmodelle**

Parametrische Modelle (Cepstrale Zerlegung, Paley-Wiener Theorem, Spektrale Glattheit); Nichtparametrische Modelle: ‚Allpole‘-/ ‚Allzero‘-/ ‚Pole-zero‘-(AR/MA/ARMA) Modelle; ‚Lattice‘-Strukturen, Yule-Walker Gleichungen, PARCOR-Koeffizienten, Cepstraldarstellungen;

**Signalschätzung**

Überwachte Signalschätzung, Problemklassen; Orthogonalitätsprinzip, MMSE-Schätzung, lineare MMSE-Schätzung für Gaußprozesse; Optimale FIR-Filter; Lineare Optimalfilter für stationäre Prozesse; Prädiktion und Glättung; Kalman-Filter; optimale Multikanalfilterung (Wiener-Filter, LCMV, MVDR, GSC);

### Adaptive Filterung

Gradientenverfahren; LMS-, NLMS-, APA- und RLS-Algorithmus und ihr Konvergenzverhalten.

### Lernziele und Kompetenzen:

The students:

- analyze the statistical properties of random variables, random vectors, and stochastic processes by probability density functions and expectations as well as correlation functions and matrices and their frequency-domain representations
- know the Gaussian distribution and its role to describe the properties of random variables, vectors and processes
- understand the differences between classical and Bayesian estimation, derive and analyze MMSE and ML estimators for specific estimation problems, especially for signal estimation
- analyze and evaluate optimum linear MMSE estimators (single- and multichannel Wiener filter and Kalman filter) for direct and inverse supervised estimation problems
- evaluate adaptive filters for the identification of optimum linear estimators.

Die Studierenden

- analysieren die statistischen Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und stochastischen Prozessen mittels Wahrscheinlichkeitsdichten und Erwartungswerten, bzw. Korrelationsfunktionen, Korrelationsmatrizen und deren Frequenzbereichsdarstellungen
- kennen die spezielle Rolle der Gaußverteilung und ihre Auswirkungen auf die Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und Prozessen
- verstehen die Unterschiede klassischer und Bayes'scher Schätzung, entwerfen und analysieren MMSE- und ML-Schätzer für spezielle Schätzprobleme, insbesondere zur Signalschätzung
- analysieren und evaluieren lineare MMSE-optimale Schätzer (ein- und vielkanalige Wiener-Filter und Kalman-Filter) für direkte und inverse überwachte Schätzprobleme;
- evaluieren adaptive Filter zur Identifikation optimaler linearer Signalschätzer

### Literatur:

- A. Papoulis, S. Pillai: Probability, Random Variables and Stochastic Processes; McGraw-Hill, 2002 (englisch)
- D. Manolakis, V. Ingle, S. Kogon: Statistical and Adaptive Signal Processing; Artech House, 2005 (englisch)

---

### Verwendbarkeit des Moduls / Einpassung in den Musterstudienplan:

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

#### [1] Advanced Signal Processing & Communications Engineering (Master of Science)

(Po-Vers. 2021w | TechFak | Communications Engineering (Master of Science) | Gesamtkonto | Statistical Signal Processing)

---

### Studien-/Prüfungsleistungen:

Statistical Signal Processing (Prüfungsnummer: 64301)

(englische Bezeichnung: Statistical Signal Processing)

Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 90

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

weitere Erläuterungen:

Durch Abgabe der Übungsblätter können Bonuspunkte für die Klausur erarbeitet werden. Wird die Klausur ohne Bonus nicht bestanden, darf der Bonus nicht angerechnet werden. Der Bonus verfällt dann auch für die Wiederholungsklausur. Es gilt folgende Abbildung (bei 100 erreichbaren Punkten in der Klausur): weniger als 4 Übungspunkte = 0 Bonuspunkte in der Klausur, 4 bis 4,5 Übungspunkte = 4 Bonuspunkte in der Klausur, 5 bis 5,5 Übungspunkte = 5 Bonuspunkte in der Klausur, 6 bis 6,5 Übungspunkte = 6 Bonuspunkte in der Klausur, 7 Übungspunkte = 7 Bonuspunkte in der Klausur. Fernprüfungen werden in begründeten Ausnahmefällen durchgeführt.

Erstablingung: WS 2022/2023, 1. Wdh.: SS 2023

1. Prüfer: Walter Kellermann

---

**Organisatorisches:**

The course material and the timetable for the lecture and supplement course can be found on StudOn. Extra points for the written exam can be obtained by handing in the homework. Please note:

- 1.) The homework is to be prepared in groups of two.
  - 2.) Copying from another group will result in zero points.
  - 3.) All calculations for arriving at an answer must be shown.
  - 4.) If you fail in the exam without extra points, they cannot be taken into account.
  - 5.) The extra points expire for the resit.
- 0 - 3.5 passed worksheets: 0 extra points for the written exam (based on 100 achievable points) 4 - 4.5 passed worksheets: 4 extra points  
5 - 5.5 passed worksheets: 5 extra points 6 - 6.5 passed worksheets: 6 extra points