

---

**Modulbezeichnung:** Rechnergestützte Messtechnik (RMT) 5 ECTS  
 (Computer-Aided Metrology)

Modulverantwortliche/r: Tino Hausotte

Lehrende: Tino Hausotte, Janik Schaudé, Felix Binder

---

Startsemester: WS 2020/2021	Dauer: 1 Semester	Turnus: jährlich (SS)
Präsenzzeit: 60 Std.	Eigenstudium: 90 Std.	Sprache: Deutsch

---

**Lehrveranstaltungen:**

Rechnergestützte Messtechnik (WS 2020/2021, Vorlesung, 2 SWS, Tino Hausotte)

Rechnergestützte Messtechnik - Übung (WS 2020/2021, Übung, 2 SWS, Tino Hausotte et al.)

---

**Es wird empfohlen, folgende Module zu absolvieren, bevor dieses Modul belegt wird:**

Grundlagen der Messtechnik

---

**Inhalt:**

- **Grundlagen:** Grundbegriffe (Größe, Größenwert, Messgröße, Maßeinheit, Messprinzip, Messung, Messkette, Messsignal, Informationsparameter, analoges und digitales Signal) - Prinzip eines Messgerätes, direkte und indirekte Messmethode, Kennlinie und Kennlinienarten, analoge und digitale Messmethoden, kontinuierliche und diskontinuierliche Messung, Zeit- und Wertdiskretisierung, Auflösung, Empfindlichkeit, Messbereich - Signal, Messsignal, Klassifizierung von Signalen (Informationsparameter) - Signalbeschreibung, Fourierreihen und Fouriertransformation - Fourieranalyse - DFT und FFT (praktische Realisierung) - Aliasing und Shannon's-Abtasttheorem - Übertragungsverhalten (Antwortfunktionen, Frequenzgang, Übertragungsfunktion) - Laplace-Transformation, Digitalisierungskette, Z-Transformation und Wavelet-Transformation
- **Verarbeitung und Übertragung analoger Signale:** Messverstärker, Operationsverstärker (idealer und realer, Rückkopplung) - Kenngrößen von Operationsverstärkern - Frequenzabhängige Verstärkung von Operationsverstärkern - Operationsverstärkertypen - Rückkopplung und Grundschaltungen (Komparator, Invertierender Verstärker, Nichtinvertierender Verstärker, Impedanzwandler, Strom-Spannungs-Wandler, Differenzverstärker, Integrierer, Differenzierer, invertierender Addierer, Subtrahierer, Logarithmierer, e-Funktionsgeneratoren, Instrumentenverstärker) - OPV mit differentiellen Ausgang - analoge Filter (Tiefpassfilter, Hochpassfilter, Bandpassfilter, Bandsperrefilter, Bodeplot, Phasenschiebung, aktive analoge Filter) - Messsignalübertragung (Einheitssignale, Anschlussvarianten) - Spannungs-Frequenz-Wandler - Galvanische Trennung und optische Übertragung - Modulatoren und Demulatoren - Multiplexer und Demultiplexer - Abtast-Halte-Glied
- **A/D- und D/A-Umsetzer:** Digitale und analoge Signale - Digitalisierungskette - A/D-Umsetzer (Nachlauf ADU, Wägeverfahren, Rampen-A/D-Umsetzer, Dual Slope-Verfahren, Charge-Balancing-A/D-Umsetzverfahren, Parallel-A/D-Umsetzer, Kaskaden-A/D-Umsetzverfahren, Pipeline-A/D-Umsetzer, Delta-Sigma-A/D-Umsetzer / 1-Bit- bis N-Bit-Umsetzer, Einsatzbereiche, Kennwerte, Abweichungen, Signal-Rausch-Verhältnis) - Digital-Analog-Umsetzungskette - D/A-Umsetzer (Direkt bzw. Parallelumsetzer, Wägeumsetzer, Zählverfahren, Pulsweitenmodulation, Delta-Sigma-Umsetzer / 1-Bit- bis N-Bit-Umsetzer)
- **Verarbeitung digitaler Signale:** digitale Codes - Schaltnetze (Kombinatorische Schaltungslogik) - Schaltalgebra und logische Grundverknüpfungen - Schaltwerke (Sequentielle Schaltnetze) - Speicherglieder (Flip-Flops, Sequentielle Grundschaltungen), Halbleiterspeicher (statische und dynamische, FIFO) - Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (ASICs) - Programmierbare logische Schaltung (PLDs, Programmierbarkeit, Vorteile, Anwendungen, Programmierung) - Rechnerarten
- **Bussysteme:** Bussysteme (Master, Slave, Arbiter, Routing, Repeater) - Arbitrierung - Topologien (physikalische und logische Topologie, Kennwerte, Punkt-zu-Punkt-Topologie, vermaschtes Netz, Stern-Topologie, Ring-Topologie, Bus-Topologie, Baum-Topologie, Zell-Topologie) - Übertragungsmedien (Mehrdrahtleitung, Koaxialkabel, Lichtwellenleiter) - ISO-OSI-Referenzmodell - Physikalische Schnittstellenstandards (RS-232C, RS-422, RS-485) - Feldbussysteme, GPIB (IEC-625-Bus), Messgerätebusse

- **USB Universal Serial Bus:** Struktur des Busses - Verbindung der Geräte, Transceiver, Geschwindigkeitserkennung, Signalkodierung - Übertragungsarten (Control-Transfer, Bulk-Transfer, Isochrone-Transfer, Interrupt-Transfer, Datenübertragung mit Paketen) - Frames und Mikroframes, Geschwindigkeiten, Geschwindigkeitsumsetzung mit Hub - Deskriptoren und Software - Layer Entwicklungstools - Compliance Test - USB 3.0
- **Digitale Filter:** Analoge Filter - Eigenschaften und Charakterisierung von digitalen Filtern - Digitale Filter (Implementierung, Topologien, IIR-Filter und FIR-Filter) und Formen - Messwert-Dezimirer, digitaler Mittelwertfilter, Gaußfilter - Fensterfunktionen, Gibbs-Phänomen - Realisierung mit MATLAB - Vor- und Nachteile digitaler Filter
- **Messdatenauswertung:** Absolute, relative, zufällige und systematische Messabweichungen, Umgang mit Messabweichungen, Kalibrierung - Korrelationsanalyse - Kennlinienabweichungen und Methoden zu deren Ermittlung - Regressionsanalyse - Kennlinienkorrektur - Approximation, Interpolation, Extrapolation - Arten der Kennlinienkorrektur - Messpräzision, Messgenauigkeit, Messrichtigkeit, Fehlerfortpflanzungsgesetz (altes Konzept), Messunsicherheit und deren Bestimmung - Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheit, Monte-Carlo-Methode
- **Schaltungs- und Leiterplattenentwurf:** Leiterplatten - Leiterplattenmaterial - Leiterplattenarten - Durchkontaktierungen - Leiterplattenentwurf und -entflechtung - Software - Leiterplattenherstellung

## Contents

- **Basics:** Terms (quantity, quantity value, measurand, measurement unit, principle of measurement, measurement, measuring chain, measurement signal, information parameter, analogue and digital signal) - Principle of a measuring instrument, direct and indirect measurement, characteristic curves and characteristic curve types, analogue and digital measuring methods, continuous and discontinuous measurement, time and value discretisation, resolution, sensitivity, measuring interval (range) - Signal, measurement signal, classification of signals (information parameter) - Signal description, Fourier series and Fourier transformation - Fourier analysis - DFT and FFT (practical realization) - Aliasing and Shannon's sampling theorem - Transfer behaviour (response functions, frequency response, transfer function) - Laplace transform, digitisation chain, Z-transform and wavelet transform
- **Processing and transmission of analogue signals:** Measuring amplifiers, operational amplifiers (ideal and real, feedback) - Characteristics of operational amplifiers - Frequency-dependent gain of operational amplifiers - Operational amplifier types - Feedback and basic circuits (comparator, inverting amplifier, non-inverting amplifier, impedance converter, current-voltage converter, differential amplifier, integrator, differentiator, inverting adder, subtractor, logarithmic, exponential function generators, instrumentation amplifier) - OPV with differential output - Analogue filter (low pass filter, high pass filter, band pass filter, band elimination filter, Bodeplot, phase shifting, active analogue filters) - Measurement signal transmission (standard signals, connection variants) - Voltage-frequency converters - Galvanic isolation and optical transmission - modulators and demodulators - multiplexers and demultiplexers - sample-and-hold amplifier
- **A/D and D/A converter:** Digital and analogue signals - Digitisation chain - A/D converter (follow-up ADC, weighing method, ramp A/D converter, dual slope method, charge-balancing ADC, parallel ADC, cascade ADC, pipeline A/D converter, the delta-sigma A/D converter / 1-bit to N-bit converter, application, characteristics, deviations, signal-to-noise ratio) - Digital-to-analogue conversion chain - D/A converter (direct or parallel converters, weighing method, counting method, pulse width modulation, delta-sigma converter / 1-bit to N-bit converter)
- **Digital signal processing:** Digital codes - Switching networks (combinatorial circuit logic) - Boolean algebra and basic logic operations - Sequential circuit (sequential switching networks) - Storage elements (flip-flops, sequential basic circuits), semiconductor memory (static and dynamic, FIFO) - Application Specific Integrated Circuits (ASICs) - The programmable logic device (PLD, programmability, benefits, applications, programming) - computer types
- **Data bus systems:** Bus systems (master, slave, arbiter, routing, repeater) - Arbitration - Topologies (physical and logical topology, characteristics, point-to-point topology, mesh network, star topology, ring topology, bus topology, tree topology, cell topology) - Transmission media (multi-wire cable, coaxial cable, fibre optic cable) - ISO OSI reference model - Physical interface standards (RS-232C, RS-422, RS-485) - Fieldbus systems, GPIB (IEC-625 bus) , Measuring device buses

- **USB Universal Serial Bus:** Bus structure - Connection of the devices, transceiver, speed detection, signal coding - Transfer types (control transfer, bulk transfer, isochronous transfer, interrupt transfer, data transfer with packages) - Frames and micro-frames, speeds, speed conversion with hubs - Descriptors and software - Layer development tools - Compliance test - USB 3.0
- **Digital filters:** Analogue filter - Properties and characterization of digital filters - Digital Filter (implementation, topologies, IIR filters and FIR filters) and forms - Measurement value decimator, digital averaging filter, Gaussian filter - Window functions, Gibbs phenomenon - Realisation with MATLAB - Advantages and disadvantages of digital filters
- **Data analysis:** Absolute, relative, random and systematic errors, handling of measurement errors, calibration - Correlation analysis - Characteristic curve deviations and methods for their determination - Regression analysis - Characteristic curve correction - Approximation, interpolation, extrapolation - Kinds of characteristic curve correction - Measurement precision, measurement accuracy, measurement trueness, error propagation law (old concept), uncertainty and their estimation - Procedure for determining the uncertainty, Monte Carlo method
- **Circuit and PCB design:** Printed circuit boards (PCB) - PCB material - PCB types - Vias - PCB design and deconcentration - Software - PCB production

### Lernziele und Kompetenzen:

#### *Fachkompetenz*

##### *Wissen*

- Die Studierenden können einen Überblick zur rechnergestützten Messtechnik sowie deren Einsatzgebiete wiedergeben.
- Die Studierenden können Wissen zur rechnergestützten Messdatenerfassung, -auswertung, -analyse und -visualisierung als Grundlage für zielorientierte, effiziente Entwicklung und für kontinuierliche Produkt- und Prozessverbesserung abrufen

##### *Verstehen*

- Die Studierenden können Konzepte zur Sensorintegration und Datenfusion beschreiben

##### *Evaluieren (Beurteilen)*

- Die Studierenden können rechnergestützte Werkzeuge für die Messdatenerfassung, -auswertung, -analyse und -visualisierung auswählen und bewerten.

### Literatur:

- International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms, VIM, 3rd edition, JCGM 200:2008, <http://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>
- DIN e.V. (Hrsg.): Internationales Wörterbuch der Metrologie - Grundlegende und allgemeine Begriffe und zugeordnete Benennungen (VIM) ISO/IEC-Leitfaden 99:2007. Korrigierte Fassung 2012, Beuth Verlag GmbH, 4. Auflage 2012
- Hoffmann, Jörg: Handbuch der Messtechnik. 4. Auflage, Carl Hanser Verlag München, 2012 - ISBN 978-3-446-42736-5
- Lerch, Reinhard: Elektrische Messtechnik. 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012 - ISBN 978-3-642-22608-3
- Richter, Werner: Elektrische Meßtechnik. 3. Auflage, Verlag Technik Berlin, 1994 - ISBN 3-341-01106-4
- H. Czichos (Hrsg.): Das Ingenieurwissen Gebundene. 7. Auflage, Springer Verlag, 2012, ISBN 978-3-642-22849-0.
- Best, Roland: Digitale Meßwertverarbeitung. Oldenbourg München, 1991 - ISBN 3-486-21573-6.
- E DIN IEC 60050-351:2013-07 International Electrotechnical Vocabulary - Part 351: Control technology / Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 351: Leittechnik.
- DIN 44300:1982-03 Informationsverarbeitung; Begriffe.
- DIN 44300-1:1995-03 Informationsverarbeitung - Begriffe - Teil 1: Allgemeine Begriffe.
- DIN 40900-12:1992-09 Graphische Symbole für Schaltungsunterlagen; Binäre Elemente.

---

## Verwendbarkeit des Moduls / Einpassung in den Musterstudienplan:

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

### [1] Informatik (Master of Science)

(Po-Vers. 2010 | TechFak | Informatik (Master of Science) | Gesamtkonto | Nebenfach | Nebenfach Maschinenbau | Qualitätsmanagement und Messtechnik | Wahlpflichtmodule Qualitätsmanagement und Messtechnik für Nebenfach Informatik | Rechnergestützte Messtechnik)

Dieses Modul ist daneben auch in den Studienfächern "Berufspädagogik Technik (Bachelor of Science)", "Berufspädagogik Technik (Master of Education)", "International Production Engineering and Management (Bachelor of Science)", "Maschinenbau (Bachelor of Science)", "Maschinenbau (Master of Science)", "Mechatronik (Bachelor of Science)", "Mechatronik (Master of Science)", "Medizintechnik (Master of Science)", "Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor of Science)", "Wirtschaftsingenieurwesen (Master of Science)" verwendbar.

---

## Studien-/Prüfungsleistungen:

Rechnergestützte Messtechnik (Prüfungsnummer: 69301)

(englische Bezeichnung: Computer-Aided Metrology)

Prüfungsleistung, Klausur mit MultipleChoice, Dauer (in Minuten): 60

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

weitere Erläuterungen:

gemäß Corona-Satzung wird als alternative Prüfungsform festgelegt: mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer

**Prüfungstermine**, eine **allgemeine Regel der Prüfungstagvergabe** und **Termine der Klausureinsicht** finden Sie auf StudOn: Prüfungstermine und Termine der Klausureinsicht

Prüfungssprache: Deutsch

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

1. Prüfer: Tino Hausotte

---