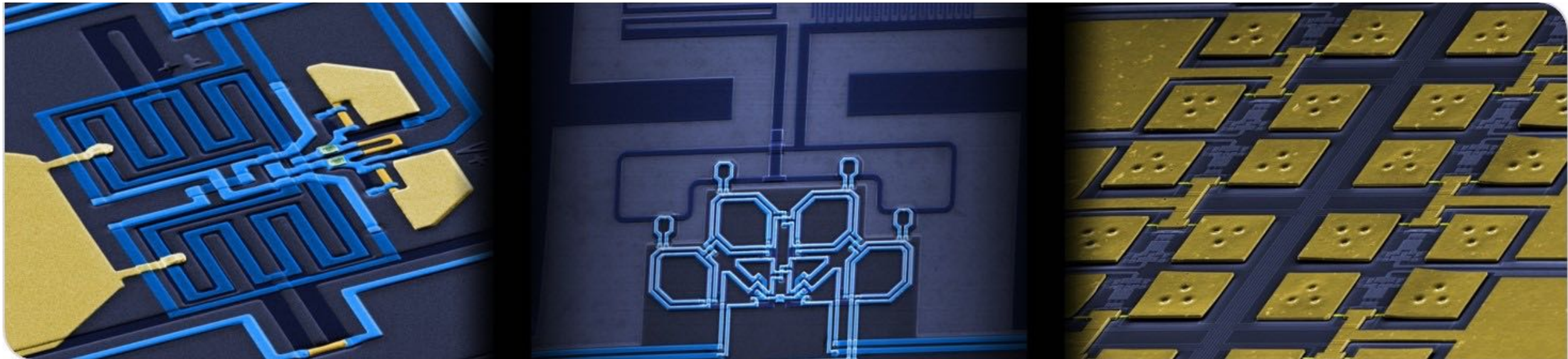


Bauelemente der Elektrotechnik

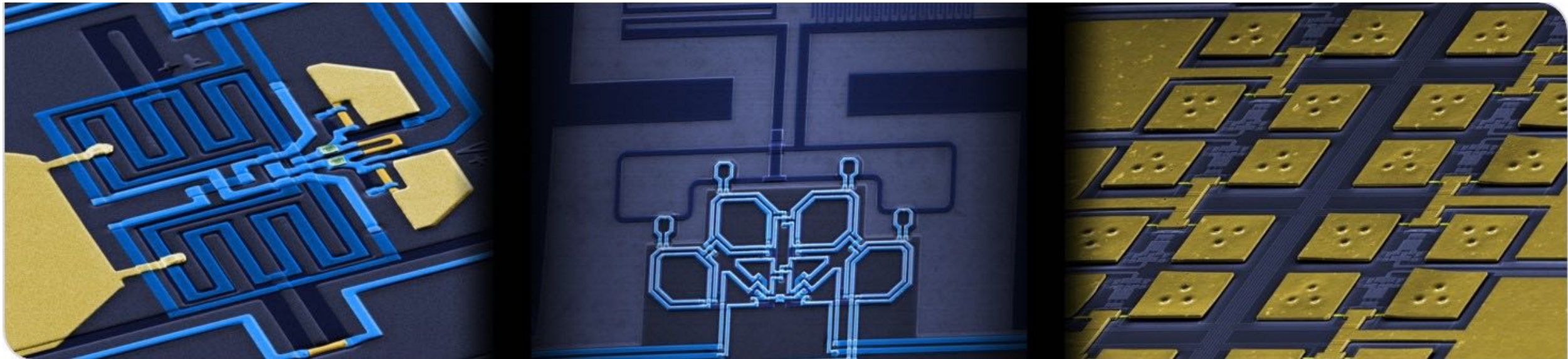
Prof. Dr. rer. nat. Sebastian Kempf
Wintersemester 2021/22



Bauelemente der Elektrotechnik

Organisatorisches, Einführung

Wintersemester 2021/22



Team

Vorlesung



Prof. Dr. rer. nat. Sebastian Kempf

Universitätsprofessor, Institutsleiter
Institut für Mikro- und Nanoelektronische
Systeme (IMS)
Hertzstraße 16, Gebäude: 06.41, Raum 122
D-76187 Karlsruhe
E-Mail: sebastian.kempf@kit.edu
URL: www.ims.kit.edu

Übung /
Organisation



Dr.-Ing. Stefan Wunsch

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Mikro- und Nanoelektronische
Systeme (IMS)
Hertzstraße 16, Gebäude: 06.41, Raum 109
D-76187 Karlsruhe
E-Mail: stefan.wunsch@kit.edu
URL: www.ims.kit.edu

Regelungen bzgl. COVID-19-Pandemie

Wie läuft der Studienbetrieb im Wintersemester 2021/22?

Das Wintersemester 2021/2022 wird durch viele Präsenzveranstaltungen auf dem Campus geprägt sein und das Studium am KIT wird sich nach drei „Online-Semestern“ wieder dem normalen Studienbetrieb annähern. Das heißt auch, dass es im kommenden Wintersemester 2021/22 keine „Online-Garantie“ mehr gibt. Lehrveranstaltungen, die online begonnen werden, können also im Laufe des Wintersemesters ganz oder teilweise in Präsenz übergehen.

Präsenzlehre: 3G und Stichprobenkontrolle

Basierend auf der aktuellen [Corona-Verordnung Studienbetrieb](#) der Landesregierung werden Präsenzveranstaltungen im kommenden Wintersemester unter Einhaltung der „3G-Regelung“ stattfinden können. Das heißt: Wer nicht als genesen gilt oder vollständig geimpft ist, muss regelmäßig einen tagesaktuellen negativen Corona-Test vorweisen, um an Präsenzveranstaltungen teilnehmen zu können.

Bitte beachten Sie, dass die Vorlage eines negativen Corona-Tests in der Verantwortung der oder des Studierenden selbst liegt. Die Teststellen in der Stadt und im Landkreis Karlsruhe [finden Sie hier](#).

Die Überprüfung der 3G-Regelung liegt in der Verantwortung der Lehrenden. Ausnahme: In bestimmten Räumen wird nur stichprobenartig kontrolliert. Dies betrifft Lehrveranstaltungen, die im Wintersemester 2021/22 in einem zentral verwalteten Veranstaltungsraum mit mehr als 35 Sitzplätzen als Präsenz- oder Teilpräsenzveranstaltung (Hybrid-Veranstaltung) und in einem der Vorlesungsblöcke (montags bis freitags, Beginn jeweils um 08:00 Uhr, 10:00 Uhr, 12:00 Uhr, 14:00 Uhr, 16:00 Uhr oder 18:00 Uhr) stattfinden.

Bei allen Präsenzveranstaltungen des Studienbetriebs in Innenräumen besteht Maskenpflicht, wenn der Mindestabstand von 1,5 Metern nicht sicher eingehalten werden kann. Lehrveranstaltungen im Freien können bei Einhaltung des Mindestabstands ohne 3G-Kontrolle und Maske durchgeführt werden.

Lernplätze können unter Einhaltung der 3G-Regelung auch außerhalb der KIT-Bibliothek genutzt werden. Hierbei besteht eine Pflicht zur Voranmeldung.

Weitere Informationen:
ILIAS oder www.kit.edu

Organisation der Vorlesung und Übung

Bauelemente der Elektrotechnik [M-ETIT-104538]

■ Vorlesung:

- 3 SWS, hybride Vorlesung (Präsenzunterricht mit Live-Übertragung via ZOOM)

Link: <https://kit-lecture.zoom.us/j/67373442187?pwd=YS9sN1JUd3AzWFJyNlcxeFI1cGJYZz09>

Meeting-ID: 673 7344 2187

Passwort: BdE

(Die ZOOM-Informationen dürfen nicht mit Personen geteilt werden, die nicht an der Vorlesung teilnehmen)

- 23 Vorlesungen insgesamt.
- Mischung aus Tafelvorlesung mit Folienvorträgen
- Manuskript, Folien etc. können über ILIAS (<https://ilias.studium.kit.edu>) heruntergeladen werden.

Alle Dokument sind passwortgeschützt; das Passwort wird während der ersten Vorlesung oder auf Nachfrage per E-Mail bekanntgegeben.

Wichtig: Abhängig von der Entwicklung der pandemischen Situation, wird die Vorlesung im Laufe des Semester vollständig auf Präsenzbetrieb umgestellt.

Organisation der Vorlesung und Übung

Bauelemente der Elektrotechnik [M-ETIT-104538]

■ Übung:

- 2 SWS alle zwei Wochen, hybride Übung (Präsenzunterricht mit Live-Übertragung via ZOOM)
ZOOM-Informationen analog zur Vorlesung (siehe vorherige Folie)
- 7 Übungen insgesamt, eine Zusatzübung als Fragestunde vor der Klausur.
- Mischung aus Tafelübung mit gegebenenfalls Folienvorträgen
- Manuskript, Folien etc. können über ILIAS (<https://ilias.studium.kit.edu>) heruntergeladen werden.
Alle Dokument sind passwortgeschützt; das Passwort wird während der ersten Vorlesung oder auf Nachfrage per E-Mail bekanntgegeben.
- Es wird keine „gesetzte“ Musterlösung der Übungsaufgaben herausgegeben, ebenfalls gibt es keine Alt- oder Musterklausuren.

Wichtig: Abhängig von der Entwicklung der pandemischen Situation, wird die Übung im Laufe des Semester vollständig auf Präsenzbetrieb umgestellt.

Organisation der Vorlesung und Übung

Bauelemente der Elektrotechnik [M-ETIT-104538]

■ Klausur:

- Termin: Steht noch nicht fest; wird im Laufe des Semesters angekündigt.
- Mischung aus Verständnisfragen, Rechenaufgaben sowie Abfragen von Inhalten aus der Vorlesung
- Keine bis sehr wenige Multiple-Choice-Aufgaben
- Klausur wird nicht veröffentlicht, daher kein Vorteil, auf die Nachklausur zu spekulieren.
- Formelsammlung wird bereitgestellt.
- Weitere Informationen im Laufe des Semesters.

Terminliste

Woche	Termin	Dienstag (10:00 - 11:30)	Termin	Freitag (10:00 - 11:30)
1	19.10.21	Vorlesung 01	22.10.21	Vorlesung 02
2	26.10.21	Vorlesung 03	29.10.21	Vorlesung 04
3	02.11.21	Vorlesung 05	05.11.21	Übung 01
4	09.11.21	Vorlesung 06	12.11.21	Vorlesung 07
5	16.11.21	Vorlesung 08	19.11.21	Übung 02
6	23.11.21	Vorlesung 09	26.11.21	Vorlesung 10
7	30.11.21	Vorlesung 11	03.12.21	Übung 03
8	07.12.21	Vorlesung 12	10.12.21	Vorlesung 13
9	14.12.21	Vorlesung 14	17.12.21	Übung 04
10	21.12.21	Vorlesung 15	24.12.21	vorlesungsfrei
11	28.12.21	vorlesungsfrei	31.12.21	vorlesungsfrei
12	04.01.22	vorlesungsfrei	07.01.22	Vorlesung 16
13	11.01.22	Vorlesung 17	14.01.22	Übung 05
14	18.01.22	Vorlesung 18	21.01.22	Vorlesung 19
15	25.01.22	Vorlesung 20	28.01.22	Übung 06
16	01.02.22	Vorlesung 21	04.02.22	Vorlesung 22
17	08.02.22	Vorlesung 23	11.02.22	Übung 07

Übung 08: Frage- und Antwortstunde vor der Klausur

Literaturempfehlungen

Kein Buch deckt den gesamten Inhalt der Vorlesung ab

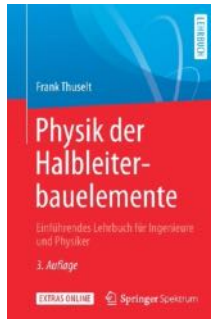


Literaturempfehlungen
für jedes Kapitel!
(fortlaufend aktualisiert
auf ILIAS)

Literaturempfehlungen



S. Sze, Y. Li und K. Ng
Physik der Halbleiterbauelemente
Wiley-VCH, 2021
ISBN: 978-3-527-41389-8



F. Thuselt
Physik der Halbleiterbauelemente
Springer Spektrum, 2018
ISBN: 978-3-662-57637-3



L. Stiny
Aktive elektronische Bauelemente
Springer Spektrum, 2019
ISBN: 978-3-658-24751-5

L. Stiny
Passive elektronische Bauelemente
Wiley-Interscience, 2019
ISBN: 978-3-658-24732-4



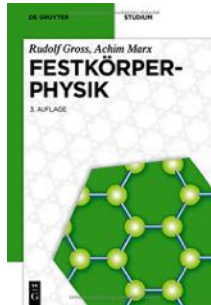
E. Ivers-Tiffée
Werkstoffe der Elektrotechnik
Vieweg+Teubner Verlag, 2004
ISBN: 978-3-519-30115-8



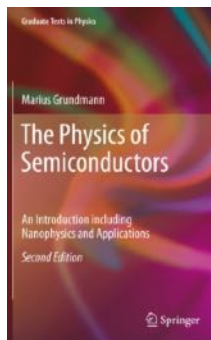
Ergänzende Literaturempfehlungen



S. Hunklinger
Festkörperphysik
De Gruyter Oldenburg, 2017
ISBN: 978-3-110-56774-8



R. Gross, A. Marx
Festkörperphysik
De Gruyter, 2018
ISBN: 978-3-110-55822-7

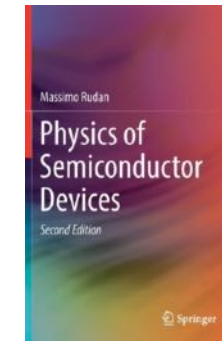


M. Grundmann
The Physics of Semiconductors
Springer International Publishing, 2016
ISBN: 978-3-319-79543-0

K. Müller
Bauelemente der Halbleiterelektronik
Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1991
ISBN: 978-3-540-54489-0



M. Rudan
Physics of Semiconductor Devices
Springer International Publishing, 2018
ISBN: 978-3-319-87486-9



Legal disclaimer

Hinweis: Wenn nicht anders angegeben, sind alle Abbildungen, die in der Vorlesung gezeigt werden, entweder selbst erstellt, nachgezeichnet oder aus den zitierten Büchern entnommen.

Ihr Dozent

Beruflicher Werdegang

- Diplom in Physik (Heidelberg)
- Promotion in Physik (Heidelberg),
- PostDoc, Gastwissenschaftler (Heidelberg, PTB Berlin)
- Forschungsgruppenleiter: Supraleitende Elektronik (Heidelberg)
- Senior Scientist, Leiter Service-Bereich „Reinraum und Probenpräparation“ (Heidelberg)
- Seit 10/2020: Leiter und Professor am Institut für Mikro- und Nanoelektronische Systeme (IMS), ETIT, KIT

Forschungs- interessen

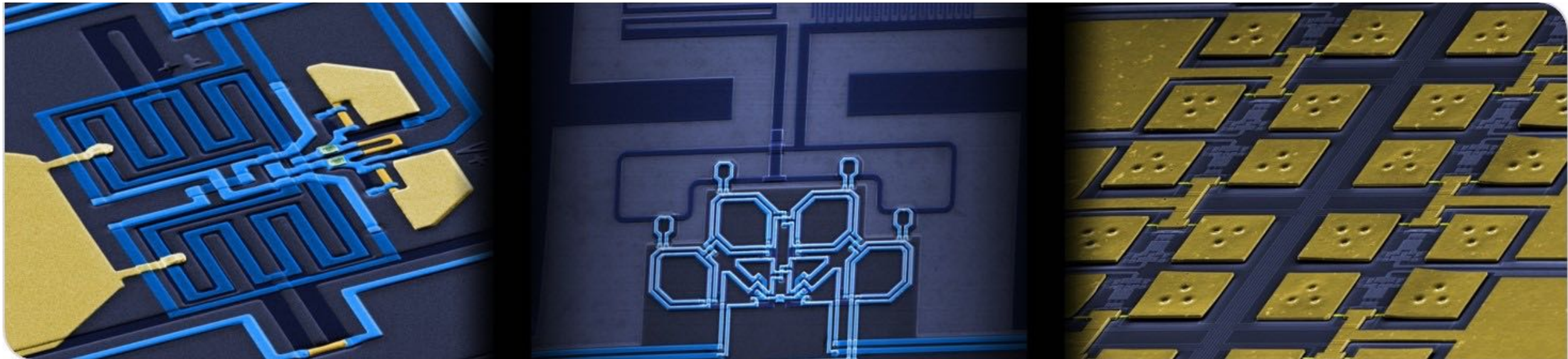
- Quantentechnologische Sensoren und Detektoren für Wissenschaft, Gesellschaft und Industrie (Tiefemperatur-Teilchendetektoren)
- Supraleitende (Analog-)Elektronik
- Fertigungstechnologie für Supraleiter-basierte Quantenbauelemente
- Grundlagen: Rauschmechanismen, Bauelement-Entwicklung, etc.
- (Ambitioniertes) Ziel: Etablierung der Quantentechnologie in der ETIT zur Realisierung von Anwendungen, die mit konventioneller (Halbleiter-basierter) Elektronik nicht realisierbar sind.

Forschungsaktivitäten am IMS



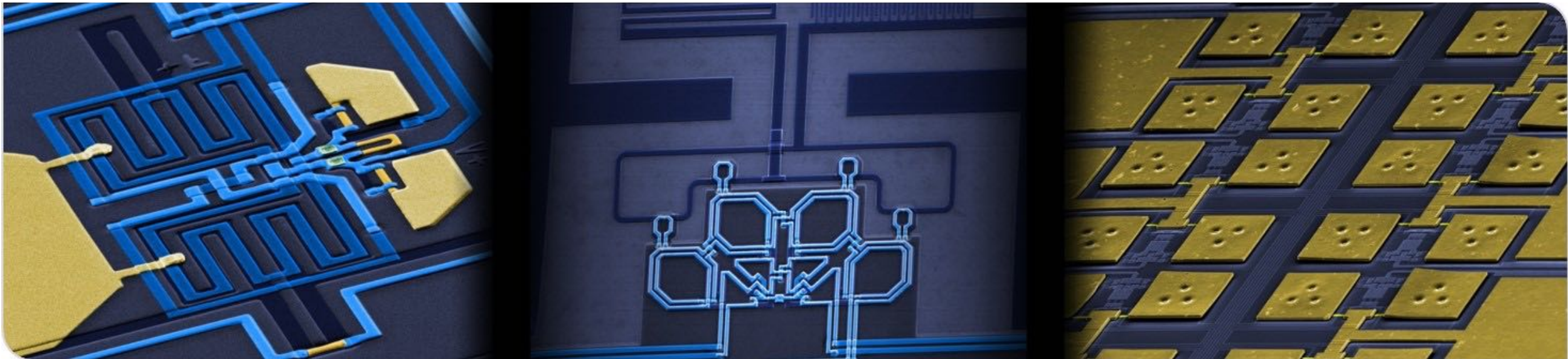
Bauelemente der Elektrotechnik

Prof. Dr. rer. nat. Sebastian Kempf
Wintersemester 2021/22

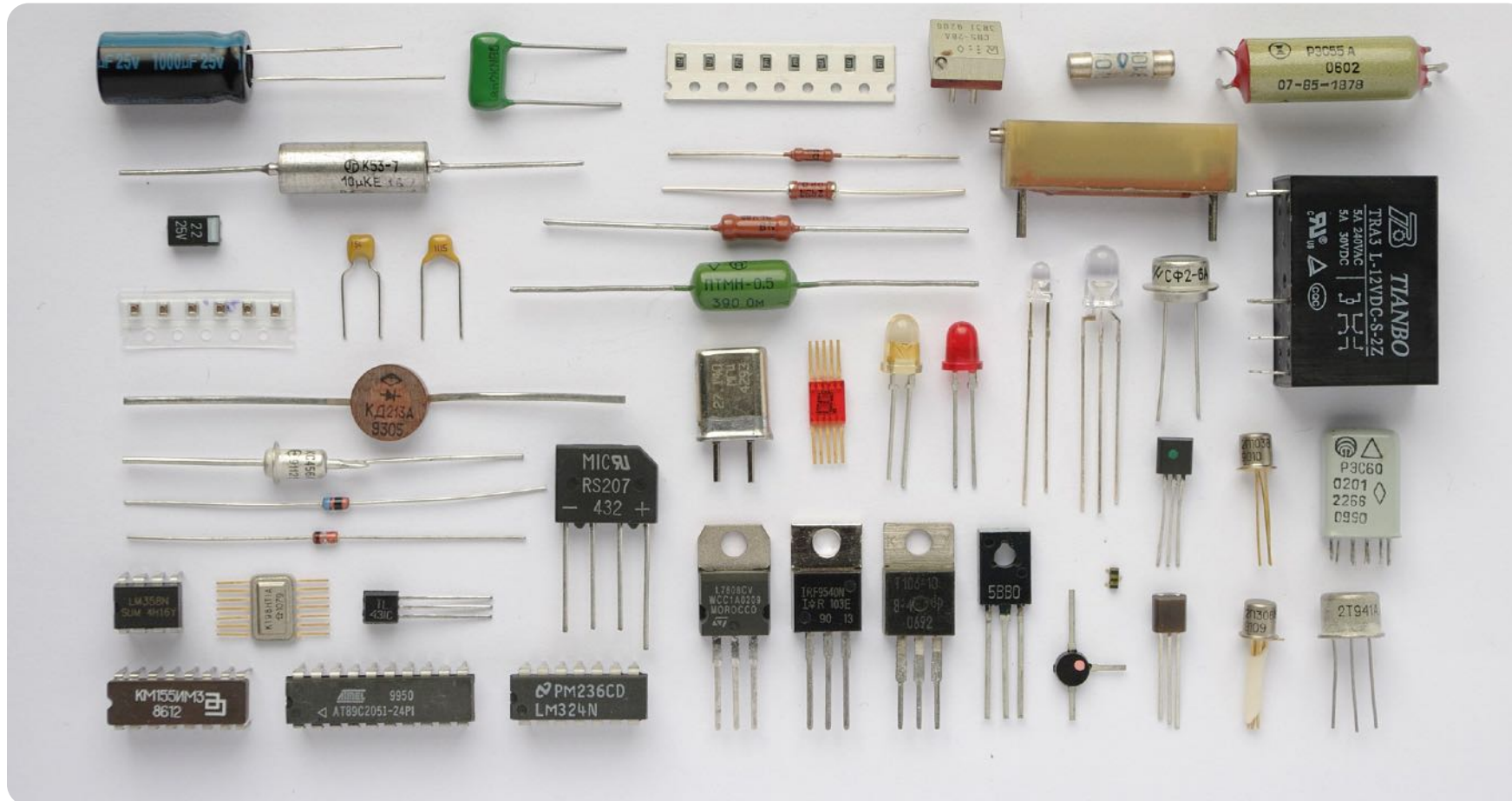


Bauelemente der Elektrotechnik

Einführung



Bauelemente



Definition „Bauelement“

- Ein Bauelement ist ein **wesentlicher Bestandteil** einer elektrischen Schaltung, das physisch **nicht weiter unterteilt** werden kann, ohne dass es hierbei seine Funktion verliert.

Definition „Bauelement“

- Ein Bauelement ist ein **wesentlicher Bestandteil** einer elektrischen Schaltung, das physisch **nicht weiter unterteilt** werden kann, ohne dass es hierbei seine Funktion verliert.
- Bauelemente sind die **kleinsten funktionalen Einheiten** einer elektronischen bzw. elektrischen Schaltung. Die mit elektrischen Leitungen verbundenen Bauelemente bilden in **ihrer Zusammenschaltung** ganz oder teilweise den Aufbau einer Baugruppe oder eines Geräts mit einer bestimmten Funktion.

Definition „Bauelement“

- Ein Bauelement ist ein **wesentlicher Bestandteil** einer elektrischen Schaltung, das physisch **nicht weiter unterteilt** werden kann, ohne dass es hierbei seine Funktion verliert.
- Bauelemente sind die **kleinsten funktionalen Einheiten** einer elektronischen bzw. elektrischen Schaltung. Die mit elektrischen Leitungen verbundenen Bauelemente bilden in **ihrer Zusammenschaltung** ganz oder teilweise den Aufbau einer Baugruppe oder eines Geräts mit einer bestimmten Funktion.
- Ein Bauelement kann aus **Bauteilen** zusammengesetzt sein.

Beispiele:

Spule	=	Spulenkörper	+	Draht	+	Spulenkern	+	Anschlüsse
Kondensator	=	Metallplatten	+	Dielektrikum	+	Anschlüsse	+	
Diode	=	<i>p</i> -Halbleiter	+	<i>n</i> -Halbleiter	+	Anschlüsse	+	

Definition „Bauelement“

- Ein Bauelement ist ein **wesentlicher Bestandteil** einer elektrischen Schaltung, das physisch **nicht weiter unterteilt** werden kann, ohne dass es hierbei seine Funktion verliert.
- Bauelemente sind die **kleinsten funktionalen Einheiten** einer elektronischen bzw. elektrischen Schaltung. Die mit elektrischen Leitungen verbundenen Bauelemente bilden in **ihrer Zusammenschaltung** ganz oder teilweise den Aufbau einer Baugruppe oder eines Geräts mit einer bestimmten Funktion.

- Ein Bauelement kann aus **Bauteilen** zusammengesetzt sein.

Beispiele:

Spule	=	Spulenkörper	+	Draht	+	Spulenkern	+	Anschlüsse
Kondensator	=	Metallplatten	+	Dielektrikum	+	Anschlüsse	+	
Diode	=	p-Halbleiter	+	n-Halbleiter	+	Anschlüsse	+	

- Sonderfall: **Integrierte Schaltkreise** (ICs) zählen als Bauelement, obwohl sie aus verschiedenen Bauelementen (Transistoren, Dioden, Widerständen, Spulen etc.) aufgebaut sind.

Funktionsprinzipien von Bauelementen

■ Bauelemente nutzen

- durch **elektrische** oder **magnetische** Felder ausgelöste Effekte (z.B. Kondensator oder Spule)
- **thermische Effekte** (z.B. Heiß- oder Kaltleiter)
- **photoelektrische Effekte** (z.B. Fotodiode oder Solarzelle)
- **festkörperphysikalische Eigenschaften** (z.B. Diode oder Transistor)
- **mechanische Bewegungen und Kräfte** (z.B. Gyroskop)
- etc.

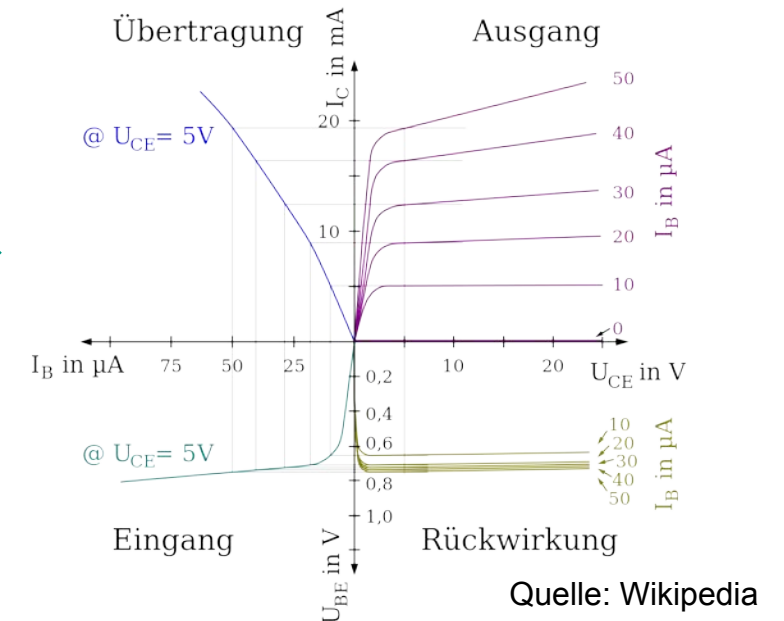
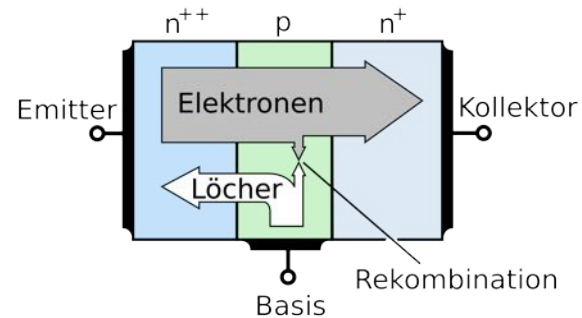
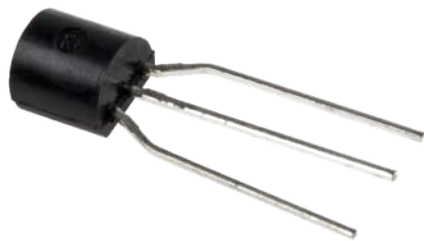
um einen gewünschten **funktionalen Zusammenhang** (Kennlinie) herzustellen bzw. zu erreichen.

- Bauelemente können elektrische Messgrößen ineinander **umformen**, z.B. Strom in Spannung, Licht in Strom, magnetische Flussdichte in Spannung.

Ziele der Vorlesung

Überblick über den **physikalischen Hintergrund**, den **Aufbau** und die **Funktionsweise** von Bauelemente der Elektrotechnik

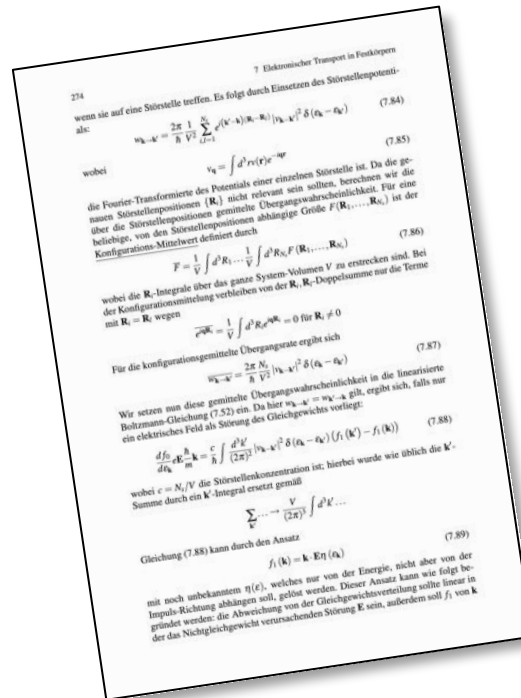
Beispiel: Bipolartransistor



Aufbau und Funktionsweise teilweise in vorherigen Vorlesungen
(z.B. Elektronische Schaltungen) bereits diskutiert

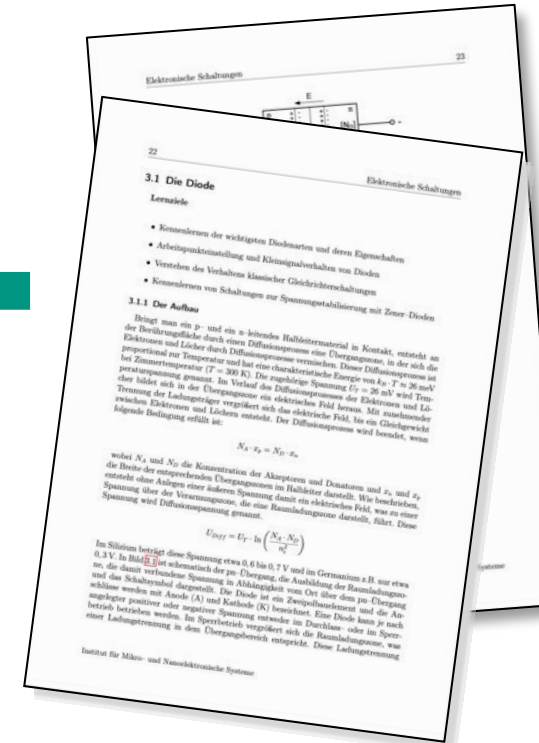
Ansatz und Konzept der Vorlesung

Theoretischer Ansatz



Vorlesung „Bauelemente der Elektrotechnik“

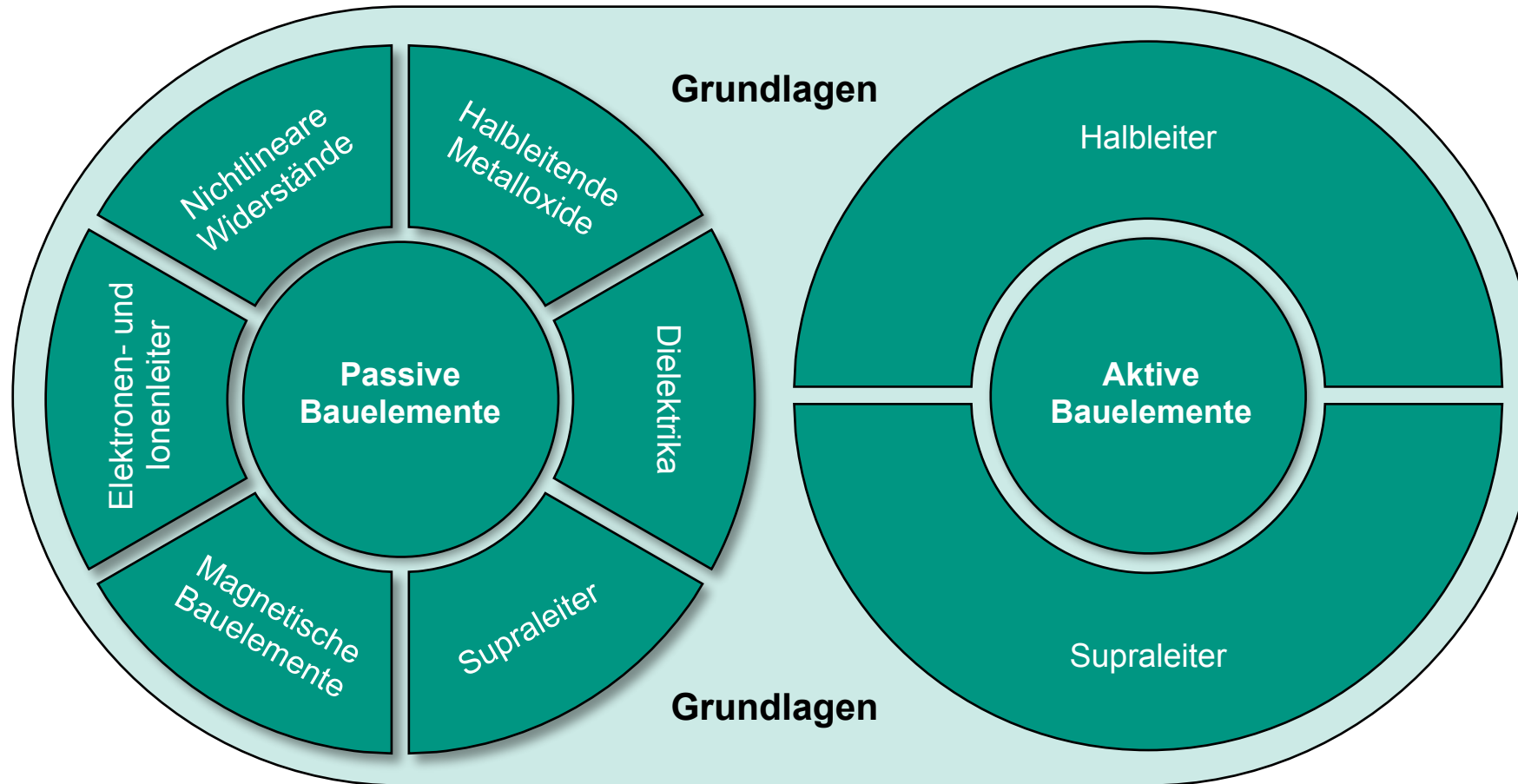
Praktischer Ansatz



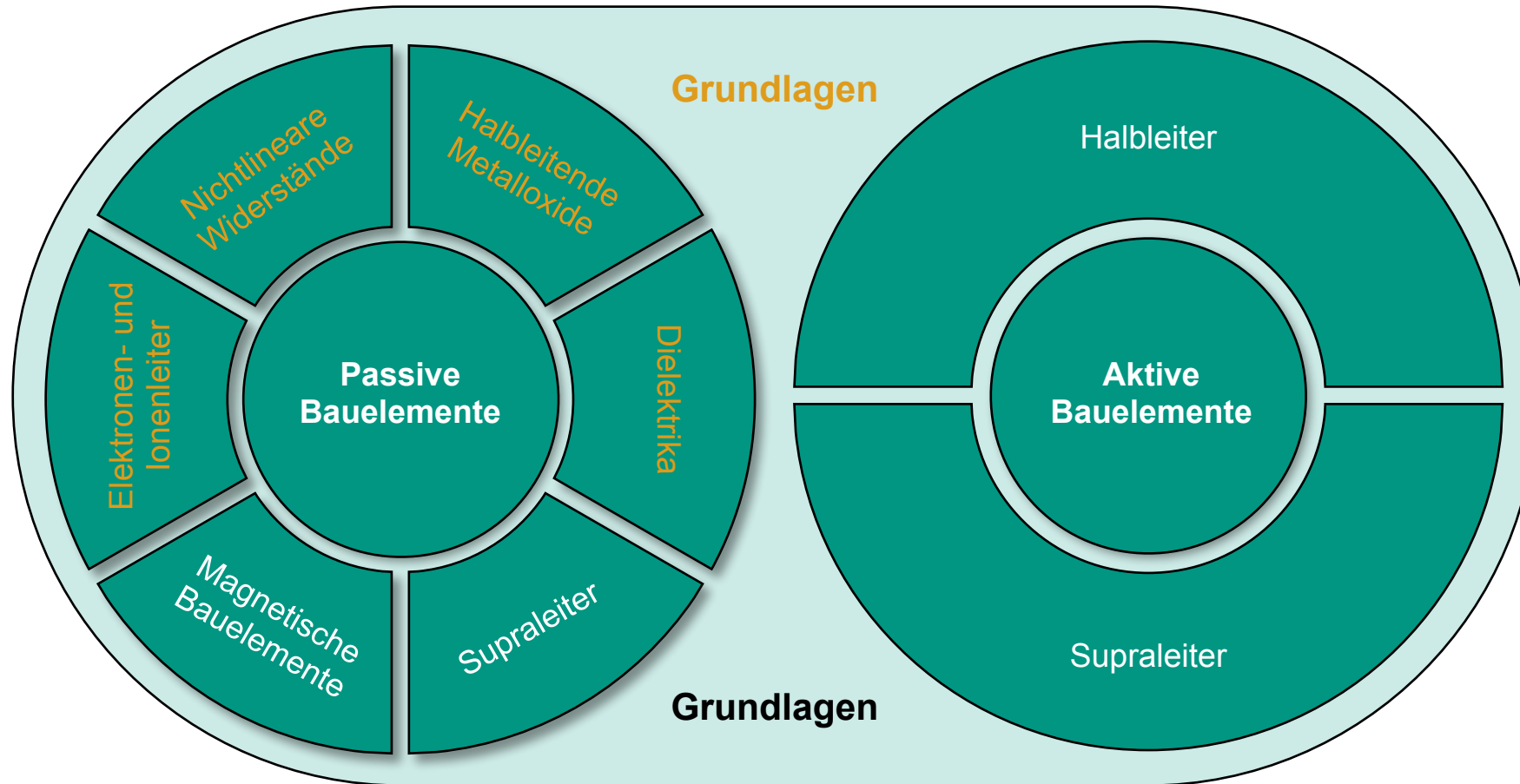
Erklärung der Funktionsweise auf **abstraktem Niveau** (Quantenmechanik, Theoretische Festkörperphysik, Feldtheorie etc.)

Heuristische und empirische ad-hoc Einführung der Funktionsweise und Kennlinien, wenige bis keine physikalischen Hintergründe

Inhalt der Vorlesung



Inhalt der Vorlesung



Inhalt der Vorlesung

- Atome, Moleküle und Festkörper
- Magnetismus und magnetische Werkstoffe
- Grundlagen der Halbleiterphysik
 - Intrinsische und dotierte Halbleiter, Ladungsträgerdichte, Drift- und Diffusionsstrom, thermionische Emission, Tunneleffekt
- pn-Übergang und abgeleitete Bauelemente
 - Physik des pn-Übergangs, Diode, Bipolartransistor, Thyristor, pin-Diode, JFET, ...
- Metall-Halbleiter-Übergang und abgeleitete Bauelemente
 - Physik des Metall-Halbleiter-Übergangs, Ohmsche Kontakte, Schottky-Diode, MESFET
- Metall-Oxid-Halbleiter-Kontakte
 - MOS-Diode, MOSFET, Kurzkanaleffekte, CMOS, ...
- Heterokontakte und abgeleitete Bauelemente
 - Physik der Heterokontakte, HBT, HEMT, ...
- Optoelektronik und abgeleitete Bauelemente
- Supraleitung

Einige Themen kennen Sie in Grundzügen bereits aus der Vorlesung „Optik und Festkörperelektronik“. Wir gehen hier aber weit über die dortigen Ausführungen hinaus, wiederholen aber zuvor die Grundlagen.

Bauelemente der Elektrotechnik

Prof. Dr. rer. nat. Sebastian Kempf
Wintersemester 2021/22

