

---

## Vorwort zur 1. Auflage

Das vorliegende Übungsbuch wurde als studienbegleitendes Material für Studierende aller technischen Studienrichtungen an Hochschulen/Fachhochschulen konzipiert. Es ist nach Vorbild des Lehrbuchs [14] aufgebaut und gliedert sich in die drei klassischen Grundlagenbereiche: Gleichstromtechnik – Wechselstromtechnik – Elektrische und magnetische Felder.

Im Vordergrund stehen Betrachtungen zu Vorgängen in elektrischen Stromkreisen aus der Sicht der Schaltungstechnik. Damit soll das Ziel verfolgt werden, das in den Vorlesungen „Grundlagen der Elektrotechnik“ und im Lehrbuch vermittelte Grundlagenwissen in anwendungsbereiter Form für die nachfolgenden Lehrveranstaltungen bereitzustellen.

In jedem Kapitel befinden sich Beispiele zur Erklärung typischer Erscheinungen der Elektrotechnik sowie zur Demonstration von Berechnungsmethoden und -verfahren. Sie werden in allgemeiner Form vorgerechnet und in vielen Fällen mit Zahlenwerten und einer Probe erweitert. Damit gelingt es dem Anwender, den Lösungsweg nachzuvollziehen und den Aufgabentyp auch selbstständig zu bearbeiten.

Zur Unterstützung der selbstständigen Bearbeitung dienen Modelle und Analogien, die komplizierte Sachverhalte in möglichst einfacher und leicht verständlicher Form darlegen. Ausgewählte Funktionsverläufe, Prinzipskizzen und Ersatzschaltungen sollen zur Erhöhung der Anschaulichkeit beitragen.

Die 1. Auflage des Übungsbuchs entstand infolge der vollständigen Überarbeitung und Erweiterung der 5. Auflage des Lehrbuchs. Alle Berechnungsbeispiele befinden sich jetzt in erweiterter Form im vorliegenden Übungsbuch und wurden durch viele neue Beispiele ergänzt. Das Übungsbuch enthält zusätzlich einen Anhang mit Übungsaufgaben. Die Lösungen sind über das Internet zugänglich.

Wolfenbüttel, im August 2020

Rainer Ose  
e-mail: [r.ose@ostfalia.de](mailto:r.ose@ostfalia.de)

## Hinweise zur Arbeit mit diesem Buch

Das vorliegende Übungsbuch sollte in Kombination mit dem Lehrbuch bearbeitet werden. Aus diesem Grund wurde am Anfang jedes Kapitels eine kurze Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen dargestellt. Es folgen Fragen, die sich der Bearbeiter selbst beantworten sollte. Machen Sie sich zunächst mit den theoretischen Grundlagen vertraut. Dann können Sie die Beispiele des Übungsbuchs durcharbeiten. Diese Beispiele tragen zur Erhöhung des Verständnisses für die betrachteten Stoffgebiete bei. Das gilt auch für die selbstständige Bearbeitung der Übungsaufgaben im Anhang.

### • Berechnungsbeispiele:

Die Berechnungsbeispiele dienen dazu, ein grundlegendes Verständnis für den im Lehrbuch behandelten Sachverhalt mit einem praxisnahen und überschaubaren Beispiel bzw. mit einer Verständnis-aufgabe zu entwickeln. Sie wurden für jedes Kapitel des Lehrbuchs erstellt und behandeln ausgewählte Themen, zu denen es eventuell zusätzlichen Erklärungsbedarf geben könnte. Dazu zählen das Aufstellen allgemeiner Lösungsansätze und die Durchführung einfacher Berechnungen sowie die Vermittlung von Vorstellungen über ausgewählte Erscheinungen der Elektrotechnik.

### • Übungsaufgaben: (Lösungen: [https://www.ostfalia.de/cms/de/pws/ose/Buch\\_ET\\_6A/](https://www.ostfalia.de/cms/de/pws/ose/Buch_ET_6A/))

Im Anhang des Buches befinden sich Übungsaufgaben. Sie sollen von dem Studierenden möglichst selbstständig abgearbeitet werden. Übungsaufgaben werden im Sinne einer zielgerichteten Prüfungsvorbereitung mit der folgenden Kennzeichnung dem jeweiligen Grundlagenbereich zugeordnet:

ÜA\_1 = Gleichstromtechnik, ÜA\_2 = Wechselstromtechnik und ÜA\_3 = Felder.

Die meisten Beispiele und Übungsaufgaben können mit Simulationsprogrammen nachvollzogen werden. Entsprechende Hinweise zur Arbeit mit PSpice findet man bei Bedarf in [11] – Kap. 1.

---

# Inhaltsverzeichnis (Übungsbuch)

## I Gleichstromlehre

<b>1</b>	<b>Elektrische Grundgrößen</b>	<b>12</b>
1.1	Berechnung Leitungsquerschnitt	13
1.2	Vergleich Leiterwerkstoffe	13
1.3	Quellen- und Verbraucher-Charakteristik	14
1.4	Belastete Spannungsquelle	15
1.5	Temperaturabhängigkeit von Leiterwerkstoffen	16
<b>2</b>	<b>Gesetze zur Berechnung elektrischer Stromkreise</b>	<b>18</b>
2.1	Lastfälle im Grundstromkreis	19
2.2	Unabhängigkeit von Knotengleichungen	20
2.3	Vollständige Leistungsbilanz	21
<b>3</b>	<b>Lineare elektrische Gleichstromkreise</b>	<b>22</b>
3.1	Abgleich eines Widerstandswertes	23
3.2	Einstellung Spannungsverhältnis	23
3.3	Berechnung einer gemischten Schaltung A	24
3.4	Berechnung einer gemischten Schaltung B	25
3.5	Einstellung Spannungsabfall	25
3.6	Gleicher Leistungsumsatz	27
3.7	Überlastung von Widerständen	27
3.8	Leistungsaufnahme eines Lastwiderstandes	28
3.9	Leistung und Wirkungsgrad	29
3.10	Lampe im Nennbetrieb	30
3.11	Funktionsverläufe im Grundstromkreis	31
<b>4</b>	<b>Grundschaltungen der elektrischen Messtechnik</b>	<b>32</b>
4.1	Erweiterung des Strommessbereichs	33
4.2	Austausch von Messinstrumenten	33
4.3	Belastungskennlinie eines Akkumulators	34
4.4	Abgleich einer Brückenschaltung	36
4.5	Gesamtwiderstand einer nicht abgeglichenen Brücke	36
4.6	Nicht abgeglichene Brückenkonfiguration	38
<b>5</b>	<b>Verfahren zur Berechnung linearer Netzwerke</b>	<b>41</b>
5.1	Masche eines Netzwerkes	42
5.2	Zweigströme über KIRCHHOFF	42
5.3	Gleichungssystem nach KIRCHHOFF	43
5.4	Dimensionierung Emitterschaltung	44

5.5	HELMHOLTZscher Überlagerungssatz A .....	45
5.6	HELMHOLTZscher Überlagerungssatz B .....	46
5.7	HELMHOLTZscher Überlagerungssatz C .....	46
5.8	Zweipoltheorie A .....	47
5.9	Spannungsquellen-Ersatzschaltung .....	47
5.10	Leerlaufspannung .....	48
5.11	Kettenschaltung – Zweipoltheorie .....	49
5.12	Brückenschaltung – Zweipoltheorie .....	50
5.13	Zweipoltheorie B .....	51
5.14	Zweipoltheorie C .....	52
5.15	Umlaufanalyse .....	53
5.16	Umlaufanalyse – Leistungsbilanz .....	55
5.17	Vergleich der Analyseverfahren .....	56
5.18	Knotenanalyse .....	58
5.19	Komplexbeispiel .....	59
<b>6</b>	<b>Stromkreise mit nichtlinearen Bauelementen .....</b>	<b>64</b>
6.1	Bestimmung des Arbeitspunktes .....	65
6.2	Brücke mit Dioden .....	66
6.3	Leistungsumsatz in Glühlampen .....	66
6.4	Arbeitspunkt von Glühlampe und Diode .....	67
6.5	Brückenschaltung zur Temperaturmessung .....	68
<b>II</b>	<b>Wechselstromtechnik</b>	
<b>7</b>	<b>Beschreibung von Wechselgrößen .....</b>	<b>70</b>
7.1	Symmetrische Dreieck-Impulsfolge .....	71
7.2	Sägezahn-Impulsfolge .....	72
7.3	Periodische Rechteck-Impulsfolge .....	73
<b>8</b>	<b>Widerstände im Wechselstromkreis .....</b>	<b>75</b>
8.1	Kapazitätsbestimmung .....	76
8.2	Phasenverschiebung .....	76
8.3	Güte einer realen Spule .....	77
8.4	Zeigerbilder eines realen Reihenschwingkreises .....	78
8.5	Zeigerbilder eines realen Parallelschwingkreises .....	78
8.6	Anwendung des THALES-Kreises .....	79
8.7	Zeigerbilder einer allgemeinen Wechselstromschaltung .....	80
8.8	Maßstäbliches Spannungszeigerbild .....	82
8.9	Prinzipzeigerbilder einer Freileitung .....	83
<b>9</b>	<b>Berechnung von Stromkreisen bei sinusförmiger Einspeisung .....</b>	<b>85</b>
9.1	Konstruktion eines Leitwertzeigers .....	86

---

9.2	Zeigerbild der Widerstände/Leitwerte .....	86
9.3	Berechnung einer allgemeinen Wechselstromschaltung A .....	88
9.4	Ortskurve des komplexen Widerstandes .....	89
9.5	Berechnung einer allgemeinen Wechselstromschaltung B .....	90
9.6	Berechnung eines Lastzweipols A .....	90
9.7	Berechnung eines Lastzweipols B .....	91
9.8	Anwendung der Teilerregeln .....	92
9.9	Ortskurve des Stromes .....	93
9.10	RC-Phasenschiebekette .....	94
9.11	HUMMEL-Schaltung .....	95
9.12	Wechselstrom-Paradoxon .....	96
9.13	Erzeugung einer definierten Phasenverschiebung A .....	97
9.14	Erzeugung einer definierten Phasenverschiebung B .....	98
9.15	Umrechnungen .....	99
9.16	Abgleichbarkeit einer Brücke A .....	100
9.17	Induktivitätsmessbrücke .....	100
9.18	Abgleichbarkeit einer Brücke B .....	101
9.19	Maßstäbliches Spannungszeigerbild .....	102
9.20	Einstellung gleicher Spannungszeiger .....	103
9.21	Anwendung des Überlagerungssatzes .....	104
9.22	Anwendung der Zweipoltheorie .....	106
9.23	Anwendung der Analyseverfahren .....	108
9.24	RC-Phasenschiebekette mit Analyseverfahren .....	109
<b>10</b>	<b>Frequenzabhängigkeit der Wechselstromkreise .....</b>	<b>112</b>
10.1	RL-Tiefpass .....	113
10.2	RL-Hochpass .....	114
10.3	Vergleich von RC- und RL-Gliedern .....	116
10.4	RC-Tiefpass mit Parallelwiderstand .....	117
10.5	Anwendung der Zweipoltheorie .....	118
10.6	RC-Tiefpass mit Reihenwiderstand .....	118
10.7	RC-Hochpass mit Parallelwiderstand .....	120
10.8	RC-Hochpass mit Reihenwiderstand .....	121
10.9	RL-Tiefpass mit Reihenwiderstand .....	123
10.10	RC-Tiefpass 2. Ordnung .....	125
10.11	Reihenschwingkreis mit realen Bauelementen .....	128
10.12	Parallelschwingkreis mit realen Bauelementen .....	129
10.13	Spannungsüberhöhung .....	130
10.14	Elementarer Reihenschwingkreis .....	130
10.15	LC-Übertragungsvierpol .....	133
10.16	CR-RC-Übertragungsvierpol .....	135
10.17	Vergleich der Berechnungsverfahren (Komplexbeispiel) .....	137

<b>11</b>	<b>Leistungsbetrachtungen im Wechselstromkreis</b>	<b>141</b>
11.1	Zeitfunktion der Leistung	142
11.2	Blindstromkompensation	142
11.3	Blindleistungskompensation	144
11.4	Maximaler Umsatz von Wirkleistung	145
11.5	Komplexe Anpassung	145
11.6	Leistungsbilanz eines Lastzweipols	146
11.7	Vollständige Leistungsbilanz A	147
11.8	Vollständige Leistungsbilanz B	149
<b>12</b>	<b>Dreiphasensysteme</b>	<b>151</b>
12.1	Sternschaltung Elektroherd	152
12.2	Umrechnung Dreieck – Stern	153
12.3	Verbraucher-Dreieckschaltung A	155
12.4	Verbraucher-Dreieckschaltung B	156
12.5	Verbraucher-Dreieckschaltung C	158
12.6	Symmetrierung einer Verbraucher-Dreieckschaltung	159
12.7	Stromzeigerbild einer Verbraucher-Dreieckschaltung	161
12.8	Betriebskapazität eines Gürtelkabels	163
<b>III</b>	<b>Elektrische und magnetische Felder</b>	
<b>13</b>	<b>Feldbegriff</b>	<b>165</b>
13.1	Elektrisches Potential – Potentialbezugspunkt	166
13.2	Elektrisches Potential – Bezugswert	168
13.3	Wert einer Äquipotentiallinie	170
<b>14</b>	<b>Stationäres elektrisches Strömungsfeld</b>	<b>171</b>
14.1	Messtechnische Beschreibung von Feldmodellen	172
14.2	Einfache Feldstärkemessung	173
14.3	Leitfähiger Bügel	174
14.4	Bezugspunkt im zylindersymmetrischen Feld	176
14.5	Übergangswiderstand eines Halbkugelerders	177
14.6	Zusammenwirken von zwei Halbkugelerdern	178
14.7	Schrittspannung eines Vollkugelerders	180
14.8	Feldstärkeverlauf eines Vollkugelerders	181
<b>15</b>	<b>Elektrostatistisches Feld</b>	<b>183</b>
15.1	Übung zur Kapazitätsberechnung	184
15.2	Koaxialleitung	185
15.3	Zylinderkondensator mit geschichtetem Dielektrikum	186
15.4	Maximale Feldstärke	187

---

15.5	Drei Punktladungen im Raum .....	187
15.6	Gespeicherte Energie .....	188
15.7	Kapazität einer Freileitung .....	189
15.8	Kräfte auf Schichtflächen .....	191
<b>16</b>	<b>Elektrisches Verhalten des Kondensators .....</b>	<b>192</b>
16.1	Dimensionierung eines Kondensators .....	193
16.2	Gemischte Kondensatorschaltung .....	193
16.3	Laden eines Kondensators .....	194
16.4	Laden und Entladen .....	195
16.5	Ausgleichsvorgänge in einer Reihenschaltung .....	196
16.6	Kapazitives Netz A .....	198
16.7	Kapazitives Netz B .....	200
16.8	Kapazitives Netz C .....	201
16.9	Kapazitives Netz D .....	202
16.10	Brückenähnliches kapazitives Netz .....	203
16.11	Kapazitives Netz mit zwei Quellen .....	205
<b>17</b>	<b>Stationäres magnetisches Feld .....</b>	<b>207</b>
17.1	Permeabilität nichtferromagnetischer Stoffe .....	208
17.2	Induktivität einer Zylinderspule .....	208
17.3	Vergleich unterschiedlicher Kernmaterialien .....	209
17.4	Ringspule mit Kunststoffkern .....	210
17.5	Ringspule aus Dynamoblech .....	212
17.6	Geteilter ferromagnetischer Ring .....	213
17.7	Berechnung eines Rechteckkerns .....	214
17.8	Verzweigter magnetischer Kreis A .....	217
17.9	Verzweigter magnetischer Kreis B .....	218
17.10	Verzweigter magnetischer Kreis C .....	219
17.11	Feldstärke eines stromdurchflossenen Rohrs .....	221
17.12	Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern .....	222
17.13	Messung mit einer HALL-Sonde .....	223
17.14	Berechnung der Magnetisierungskennlinie .....	225
17.15	Induktivität einer Doppelleitung .....	226
17.16	Dimensionierung eines Ferritropfkerns .....	227
<b>18</b>	<b>Zeitlich veränderliches magnetisches Feld .....</b>	<b>229</b>
18.1	Bewegungsinduktion – Radialfeld .....	230
18.2	Bewegungsinduktion – induzierte Spannung .....	231
18.3	Ruheinduktion .....	233
18.4	Leiter im Magnetfeld .....	235
18.5	Selbst- und Gegeninduktivität .....	235
18.6	Wicklungssinn .....	237

---

18.7	Induktivität einer Freileitung .....	237
18.8	Speicherung magnetischer Energie .....	240
18.9	Hystereseschleife – Oszilloskop .....	240
18.10	Hystereseschleife – Simulation .....	242
<b>19</b>	<b>Elektrisches Verhalten der Spule .....</b>	<b>243</b>
19.1	Verkoppelte Induktivitäten .....	244
19.2	Reihen- und Parallelschaltung .....	246
19.3	Induktivitätsberechnung .....	246
19.4	Schaltvorgänge in einer RL-Kombination .....	248
19.5	Umschalten bei Vormagnetisierung .....	249
19.6	Leerlauf- und Kurzschluss-Eingangswiderstand .....	252
19.7	Leerlauf und Kurzschluss beim Trafo .....	253
19.8	Lastfälle beim Transformator .....	254
19.9	Zeigerbild des Transformators .....	256
<b>20</b>	<b>Wechselwirkungen .....</b>	<b>257</b>
20.1	Ladungsbewegungen im pn-Übergang .....	258
20.2	Plattenkondensator – Verschiebungsstrom .....	260
20.3	Wirbelströme .....	262
20.4	Grundbeziehungen .....	265
	<b>Übungsaufgaben .....</b>	<b>266</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>289</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>290</b>
	<b>Formelzeichenverzeichnis</b>	