

LEHRBUCH

Martin Poppe

# Prüfungstrainer Elektrotechnik

Erst verstehen, dann bestehen

 Springer Vieweg

---

# Prüfungstrainer Elektrotechnik

---

Martin Poppe

# Prüfungstrainer Elektrotechnik

Erst verstehen, dann bestehen

Martin Poppe  
Fachhochschule Münster  
Steinfurt, Deutschland

ISBN 978-3-642-33494-8  
DOI 10.1007/978-3-642-33495-5

ISBN 978-3-642-33495-5 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

[www.springer-vieweg.de](http://www.springer-vieweg.de)

*Dieses Buch ist jenen gewidmet, die daran  
arbeiten, gute Kenntnisse der Elektrotechnik  
zu erwerben.*

*Es ist Ihnen gewidmet.*

# Vorwort

*Courage ist gut, aber Ausdauer ist besser (Theodor Fontane)*

Dies soll nicht Ihr erstes Buch der Elektrotechnik sein, sondern ein nützlicher Helfer zum Bestehen der nächsten Prüfung.

*...die Frage kenne ich doch...*

Stellen Sie sich vor: Eine Prüfung beginnt mit einer Frage oder einer Aufgabe, die Sie schon kennen und deren Antwort Sie verstanden haben. Wir haben Skripte und Prüfungsunterlagen der ersten sechs Semester von 34 Hochschulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz analysiert. Dabei hat sich gezeigt, dass es einen gemeinsamen Kern von Kenntnissen und Fähigkeiten gibt. Genau dieser Kern wird auf den folgenden Seiten behandelt. Sie finden in diesem Buch Fragen, Aufgaben und Antworten, die denen in tatsächlichen Prüfungen zwar nicht genau gleichen, aber ähnlich sind. Dieses Buch soll die Teilnahme an Vorlesungen und Übungen Ihrer Hochschule ergänzen. Ein aktives Studium vor Ort kann aber durch nichts ersetzt werden auch nicht durch die Lektüre dieses Buches.

*Stellen Sie sich vor, es ist Prüfung und keiner hat Angst.*

Auf Dauer behalten wir nur, was wir auch verstanden haben, was also auf einen kleinen Kern von Annahmen zurückgeführt werden kann. Deshalb stehen die vier Gesetze der Elektrodynamik ganz am Anfang dieses Buches. Wo immer möglich, werden elektrotechnische Sachverhalte auf deren physikalische Begründung zurückgeführt. Sie werden feststellen: Die Anzahl von  $k - 1$  Knotengleichungen der Netzwerktheorie sind leichter zu merken, wenn Sie verstehen, wie die Ladungserhaltung die  $k$ -te Gleichung verschwinden lässt; die Nicht-Messbarkeit der Halbleiter-Temperaturspannung wird zur Selbstverständlichkeit, wenn sie als Aspekt der Energieerhaltung erkannt wird, die... sehen Sie selbst! Wenn Sie den Mut haben, vom sturen Auswendiglernen Abschied zu nehmen und sich auf eine analytische Herangehensweise einlassen, werden Sie belohnt werden. Ihr Wissen wird Ihnen dauerhaft erhalten bleiben, und Sie werden die Souveränität erlangen, die man braucht, um bei unerwarteten Aufgabenstellungen Lösungswege zu finden. Letztlich werden

Sie Arbeit sparen. Und wenn Sie die im Anhang aufgeführten Tipps beherzigen, dann lernen Sie so effektiv, dass auch noch etwas Freizeit übrig bleibt.

*So geht's:*

Der erste Schritt zum Erfolg ist die von keiner Illusion getrübe Selbsterkenntnis. Zu jedem Kapitel dieses Buches gibt es daher einen Satz von Fragen und Antworten, mit deren Hilfe Sie Ihr Vorwissen testen können. Die Fragen sind in drei Schwierigkeitsgrade aufgeteilt. Wenn Sie die leichten Fragen beantworten können, kennen Sie die wichtigsten Begriffe, und Sie wissen, worum es geht. Die mittelschweren Fragen und Aufgaben wenden sich an die Studierenden von Fachhochschulen. Die schweren Fragen sind für Studierende an Universitäten und all diejenigen gedacht, die ein weiterführendes Studium (in der Regel das Masterstudium) anstreben.

Versuchen Sie bitte zunächst, alle Fragen zu beantworten und alle Aufgaben zu lösen. Können Sie alles, brauchen Sie den folgenden Theorieteil nicht zu lesen. Vergleichen Sie Ihren Lösungsweg mit dem hier gezeigten: Welcher ist kürzer, welcher ist geradliniger? Nichts ist lehrreicher als das Vergleichen eigener Lösungswege mit anderen. Wer aber in eine Klausur nicht nur mit Fachwissen, sondern auch mit selbst erprobten Lösungsstrategien hineingeht, der weiß, dass er rechtzeitig fertig werden wird.

Viel Erfolg wünscht Ihnen

*Martin Poppe*

*Steinfurt, den 9. 8. 2012*

# Dank

Es ist nicht möglich, alle, die geholfen haben, zu erwähnen. Dies beginnt bei den Verantwortlichen der Fachhochschule Münster, die mir die Freiräume für das Schreiben dieses Buches gaben. Besonders herausheben möchte ich diejenigen, die sich die Mühe gemacht haben, einzelne Kapitel zu lesen, Fehler zu finden und wertvolle Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten. Für all dies danke ich den Kollegen Dirk Fischer, Peter Glösekötter, Reinhard Job, Rüdiger Kays, Robert Nietzsche und Hans Christoph Mertins, der als Autor eines Physik-Prüfungstrainers auch die Anregung zu diesem Buch gegeben hat.

Mein Dank gilt auch denjenigen Mitgliedern des VDE Rhein Ruhr, die mir viele Anwendungsgebiete der Elektrotechnik vor Ort gezeigt und erklärt haben. Andere haben mir das Schreiben dieses Buches sehr erleichtert, indem sie freimütig Einblick in ihre Unterlagen gewährt haben. Dem Springer-Verlag danke ich für die spontane Bereitschaft, sich auf dieses Projekt einzulassen, für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und für wertvolle Korrekturhinweise.

Dieses Buch wäre nicht geschrieben worden, hätte mich meine Frau in der Zeit des Schreibens nicht so bedingungslos unterstützt. Ihr gilt mein ganz besonderer Dank.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Physikalische Grundlagen: Elektrodynamik</b>	1
1.1	Fragen zur Elektrodynamik	1
1.1.1	Einfache Fragen	1
1.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben	2
1.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben	4
1.2	Grundlagen der Elektrodynamik	5
1.2.1	Elektrische Wechselwirkung	7
1.2.2	Magnetische Wechselwirkung	12
1.2.3	Zeitlich veränderliche Felder	14
1.2.4	Die Maxwell'schen Gleichungen	17
1.3	Antworten zu Kapitel 1	20
	Literaturverzeichnis	31
<b>2</b>	<b>Passive Bauelemente</b>	33
2.1	Fragen zu den passiven Bauelementen	33
2.1.1	Einfache Fragen	33
2.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben	34
2.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben	36
2.2	Theoretische Grundlagen der passiven Bauelemente	37
2.2.1	Felder und Materie	37
2.2.2	Kondensatoren	43
2.2.3	Spulen	47
2.2.4	Widerstände	50
2.2.5	Impedanzen und Parasitärelemente	52
2.3	Antworten zu Kapitel 2	55
	Literaturverzeichnis	64
<b>3</b>	<b>Halbleiter-Bauelemente</b>	65
3.1	Fragen zu Halbleiter-Bauelementen	65
3.1.1	Einfache Fragen	65
3.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben	67

3.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben . . . . .	69
3.2	Theoretische Grundlagen der Halbleiter-Bauelemente . . . . .	69
3.2.1	Halbleiter . . . . .	70
3.2.2	Dotierung und PN-Übergang . . . . .	74
3.2.3	Dioden . . . . .	78
3.2.4	Bipolar-Transistoren . . . . .	81
3.2.5	MOS-Transistoren . . . . .	84
3.2.6	Ersatzschaltbilder . . . . .	89
3.3	Antworten zu Kapitel 3 . . . . .	94
	Literaturverzeichnis . . . . .	103
<b>4</b>	<b>Lineare elektrische Netze . . . . .</b>	<b>105</b>
4.1	Fragen zu linearen elektrischen Netzen . . . . .	105
4.1.1	Einfache Fragen . . . . .	105
4.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben . . . . .	107
4.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben . . . . .	108
4.2	Theoretische Grundlagen linearer elektrischer Netze . . . . .	109
4.2.1	Vorzeichen, Richtungen und Topologien . . . . .	109
4.2.2	Kirchhoffsche Regeln . . . . .	112
4.2.3	Ersatzschaltungen . . . . .	114
4.2.4	Analyseverfahren . . . . .	117
4.3	Antworten zu Kapitel 4 . . . . .	123
	Literaturverzeichnis . . . . .	134
<b>5</b>	<b>Wechselstromnetze . . . . .</b>	<b>135</b>
5.1	Fragen zu Wechselstromnetzen . . . . .	135
5.1.1	Einfache Fragen . . . . .	135
5.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben . . . . .	137
5.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben . . . . .	139
5.2	Theoretische Grundlagen der Wechselstromnetze . . . . .	141
5.2.1	Begriffe und Bilder . . . . .	141
5.2.2	Ersatzimpedanzen . . . . .	144
5.2.3	Leistung und Energie . . . . .	145
5.2.4	Übertrager . . . . .	149
5.2.5	Drei-Phasen-Wechselstrom . . . . .	153
5.3	Antworten zu Kapitel 5 . . . . .	156
	Literaturverzeichnis . . . . .	167
<b>6</b>	<b>Frequenzselektion durch Zwei- und Vierpole . . . . .</b>	<b>169</b>
6.1	Fragen und Aufgaben zu Zwei- und Vierpolen . . . . .	169
6.1.1	Einfache Fragen . . . . .	169
6.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben . . . . .	171
6.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben . . . . .	173
6.2	Theoretische Grundlagen der Zwei- und Vierpole . . . . .	174

6.2.1	Frequenzselektion durch Widerstandsänderung: Schwingkreise . . . . .	175
6.2.2	Frequenzselektion durch Spannungsänderung: Übertragungsfunktionen . . . . .	180
6.2.3	Frequenzselektion durch Spannung und Strom: Vierpoltheorie . . . . .	188
6.3	Antworten zu Kapitel 6 . . . . .	194
	Literaturverzeichnis . . . . .	206
<b>7</b>	<b>Transistorschaltungen</b> . . . . .	<b>209</b>
7.1	Fragen zu Transistorschaltungen . . . . .	209
7.1.1	Einfache Fragen . . . . .	209
7.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben . . . . .	210
7.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben . . . . .	212
7.2	Theoretische Grundlagen für die Transistorschaltungen . . . . .	214
7.2.1	Grundsaltungen des Bipolar-Transistors . . . . .	215
7.2.2	Qualitätssteigerungen von Bipolar-Schaltungen . . . . .	226
7.2.3	Grundsaltungen des MOS-Transistors . . . . .	228
7.3	Antworten zu Kapitel 7 . . . . .	234
	Literaturverzeichnis . . . . .	244
<b>8</b>	<b>Operationsverstärker</b> . . . . .	<b>245</b>
8.1	Fragen zu Operationsverstärkern . . . . .	245
8.1.1	Einfache Fragen . . . . .	245
8.1.2	Mittelschwere Fragen und Aufgaben . . . . .	247
8.1.3	Schwere Fragen und Aufgaben . . . . .	250
8.2	Theoretische Grundlagen zu Operationsverstärkern . . . . .	252
8.2.1	Eigenschaften und Aufbau von Operationsverstärkern . . . . .	252
8.2.2	Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern . . . . .	258
8.2.3	Schaltungen mit realen Operationsverstärkern . . . . .	260
8.3	Antworten zu Kapitel 8 . . . . .	263
	Literaturverzeichnis . . . . .	275
<b>A</b>	<b>Was Sie vielleicht schon immer wissen wollten</b> . . . . .	<b>277</b>
A.1	Einheiten verstehen . . . . .	277
A.2	Euler verstehen . . . . .	280
A.3	Einstein verstehen . . . . .	282
<b>B</b>	<b>Allgemeine Tipps</b> . . . . .	<b>285</b>
B.1	Effektiv lernen . . . . .	285
B.2	Prüfungen bestehen . . . . .	287
	Literaturverzeichnis . . . . .	288
	Literaturverzeichnis . . . . .	291
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>293</b>

# Kapitel 1

## Physikalische Grundlagen: Elektrodynamik

**Zusammenfassung** In diesem Kapitel wird die Verbindung von Physik und Elektrotechnik beschrieben. Es werden die grundlegenden Begriffe Ladung, Strom, elektrisches und magnetisches Feld und Spannung eingeführt. Hinzu kommen die in den vier Maxwell-Gleichungen zusammengefassten elementaren Zusammenhänge, auf denen die gesamte Elektrotechnik beruht.

### 1.1 Fragen zur Elektrodynamik

#### 1.1.1 Einfache Fragen

**1.1.** Um welchen Faktor vergrößert sich die abstoßende Kraft zwischen zwei sehr kleinen geladenen Kugeln, wenn bei beiden die Ladung verdreifacht wird. Durch welche Abstandsveränderung wird die Kraft auf den ursprünglichen Wert reduziert?

**1.2.** Sie schneiden einen Magneten in der Mitte zwischen Nord- und Südpol durch. Welche der folgenden Aussagen ist richtig: a) Die neu entstandenen Magneten stoßen sich ab. b) Die beiden neu entstandenen Magneten ziehen sich an. c) Alle Kräfte heben sich auf.

**1.3.** Stimmt die folgende Aussage? Die Berechnung des elektrischen Dipol-Moments muss im Ladungsschwerpunkt durchgeführt werden.

**1.4.** Elektrische Äquipotenziallinien schneiden elektrische Feldlinien in einem Winkel von  $90^\circ$ . Stimmt das?

**1.5.** Durch welche der folgenden Handlungen werden elektrische Spannungen induziert?

a) Im Inneren eines sehr großen Magneten stehend ein Stromkabel so aufwickeln, dass die magnetischen Feldlinien durch die Windungen hindurch gehen,

- b) in einem starken homogenen Feld eine Leiterschleife quer zu den Feldlinien verschieben,  
 c) eine Leiterschleife in Rotation um ihre Symmetrieachse (wie ein Autoreifen beim Fahren) drehen,  
 d) eine Leiterschleife um eine andere als ihre Symmetrie-Achse drehen.

**1.6.** Wie muss ein Magnet durchgeschnitten werden, damit zwei Magneten mit dem gleichen Dipol-Moment, wie es der ganze Magnet vor dem Durchschneiden hatte, entstehen?

- a) längs zur Nord-Süd-Achse,  
 b) quer zur Nord-Süd-Achse c) das geht gar nicht.

**1.7.** Elektro- und Magnetostatik beschreiben

- a) ausschließlich das Verhalten ruhender Ladungen,  
 b) ausschließlich das Verhalten zeitunabhängiger Kraftfelder,  
 c) die Elektrotechnik ohne Relativitätstheorie.

Welche dieser Ergänzungen stimmt?

**1.8.** Auf wie viele Stellen genau ist die magnetische Permeabilität des Vakuums bekannt, auf 7, 12 oder noch mehr?

### ***1.1.2 Mittelschwere Fragen und Aufgaben***

**1.9.** Welches Kraftgesetz verbirgt sich hinter dem Gaußschen Satz für die elektrische Ladung?

**1.10.** Bitte skizzieren Sie das elektrische Feld, welches durch eine große positive und eine viel kleinere negative Ladung erzeugt wird.

**1.11.** Das Wassermolekül besteht aus einem Sauerstoff- und zwei Wasserstoff-Atomen, die im Winkel von  $\phi = 104,45^\circ$  zueinander stehen. Der Abstand zwischen dem Sauerstoffkern und den Wasserstoffkernen beträgt  $d = 0,09584$  nm. Berechnen Sie das Dipol-Moment eines Wassermoleküls unter der Annahme, dass der Wasserstoff vollständig ionisiert ist, und vergleichen Sie den Wert mit dem experimentell gemessenen Wert von  $p = 0,613 \cdot 10^{-29}$  Cm.

**1.12.** In den Gaußschen Sätzen wird über infinitesimale Flächenvektoren  $d\mathbf{A}$  integriert. Was muss man sich unter einem Flächenvektor vorstellen?

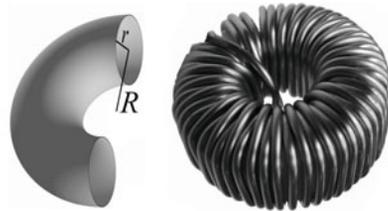
**1.13.** Das Biot-Savartsche Gesetz wird meistens in Form eines Linienintegrals angegeben:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \oint_{\text{Leitung}} \frac{d\ell \times \mathbf{r}}{r^3}. \quad (1.1)$$

Bitte zeigen Sie, dass dieses Gesetz aus der Lorentz-Kraft, Gl. (1.14) folgt.

**1.14.** Was sagt der Gaußsche Satz für das elektrische Feld über die Topologie des Feldes aus? Bitte begründen Sie Ihre Aussage!

**1.15.** Bitte bestimmen Sie das Magnetfeld innerhalb einer als Torus gewickelten Spule, wie sie in Abb. 1.1 gezeigt ist. Die  $N$  Windungen haben eine Radius  $r$ . Der



**Abb. 1.1** zur Aufgabe 1.15:  
Als Torus gewickelte Spule  
und die Definition ihrer zwei  
Radien  $r$  und  $R$

Abstand zwischen den Windungen ist vernachlässigbar klein. Der Torus hat einen mittleren Radius  $R$ , das heißt, die Zentren der Windungen bilden einen Kreis mit dem Radius  $R$ . Betrachten Sie dann den Grenzfall eines sehr großen Radius  $R$ : Was folgt aus dieser Betrachtung für das Magnetfeld einer langen geraden Spule?

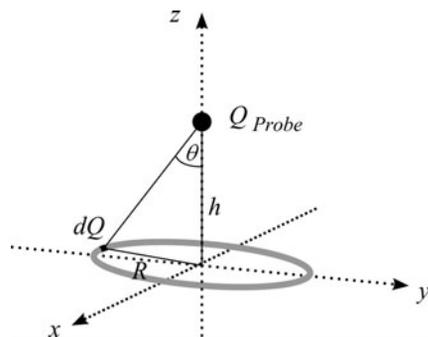
**1.16.** Bestimmen Sie mit Hilfe des Ampèreschen Gesetzes das Magnetfeld in einer sehr langen zylinderförmigen Spule (siehe Abb. 1.2) als Funktion des Stromes  $I$ , der



**Abb. 1.2** zur Aufgabe 1.16:  
Spule mit der Länge  $l$  und  
dem Radius  $r$

Windungszahl  $N$ , der Länge  $l$  und des Radius'  $r$ .

**1.17.** Ein dünner Metallring mit dem Radius  $R$  trägt, wie in Abb. 1.3 gezeigt, eine Ladung  $Q$ . Diese sei gleichmäßig verteilt, so dass auf jedem kleinen Abschnitt  $d\ell$



**Abb. 1.3** zur Aufgabe 1.17:  
Probeladung  $Q_{Probe}$ , schwebend in der Höhe  $h$  über einem homogen geladenen Ring mit dem Radius  $r$

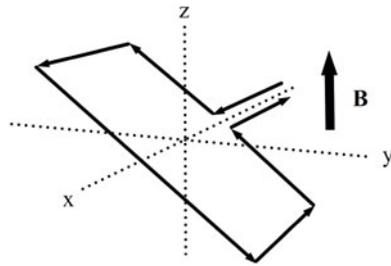
des Ringes die gleiche Ladung  $dQ = [Q/(2\pi R)] d\ell$  liegt.

a) Wie groß ist die durch ein kleines Ladungselement  $dQ$  hervorgerufene Feldstärke  $d\mathbf{E}$  an einem beliebigen Punkt auf der Achse durch den Ring, wenn sich der Punkt in einer Höhe  $h$  über dem Ring befindet?

b) Wie groß ist die Komponente  $E_z$  des Gesamtfeldes entlang der Ringachse als Funktion der Höhe?

c) Wie groß muss eine Probeladung  $Q_{Probe}$  mit dem Gewicht  $m_{Probe}$  sein, damit sie in der Höhe  $h$  schwebt?

**1.18.** Durch eine quadratische Leiterschleife fließt, wie in Abb. 1.4 gezeigt, ein Strom  $\mathbf{I}$ . Die Schleife habe eine Seitenlänge  $L$  und befinde sich in einem homo-



**Abb. 1.4** zur Aufgabe 1.18:  
Leiterschleife im homogenen  
Magnetfeld  $\mathbf{B} = (0, 0, B)$ .  
Durch die Schleife fließt ein  
Strom in der durch die Pfeile  
angegebenen Richtung

genen Magnetfeld  $\mathbf{B}$ . Bitte berechnen Sie das Drehmoment auf die Leiterschleife und zeigen Sie so, dass gemäß Definition 1.6 der Leiterschleife ein magnetisches Dipol-Moment zuzuordnen ist. Bitte bestimmen Sie dessen Größe und vergleichen Sie das Ergebnis mit Gl. 1.18.

### 1.1.3 Schwere Fragen und Aufgaben

**1.19.** Ein Hydrodynamiker ist von der theoretischen Elektrotechnik so begeistert, dass er für den an seinem Haus vorbeifließenden Bach ein Untereasser-Vektorfeld  $\mathbf{v}$  definiert, das für jeden Punkt im Wasser die jeweilige Fließgeschwindigkeit angibt. Dabei stellt er erstaunt fest, dass er ein Gesetz findet, welches er schon als eine der Maxwellschen Gleichungen kennengelernt hatte. Welche Gleichung wurde wiederentdeckt und welche Bedeutung hat sie?

**1.20.** Zeigen Sie, dass aus den Maxwellschen Gleichungen im Vakuum die Ausbreitung von elektrischen Wellen mit der Geschwindigkeit  $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$  folgt!

**1.21.** Bei der so genannten DAWN-Mission der NASA wurde erstmalig ein Ionentriebwerk eingesetzt. Ein solches Triebwerk produziert kleine Kräfte über einen langen Zeitraum bei geringem Materialverbrauch. Bei diesem Triebwerk werden Xenon-Atome ionisiert und elektrisch beschleunigt. So entsteht eine Schubkraft von