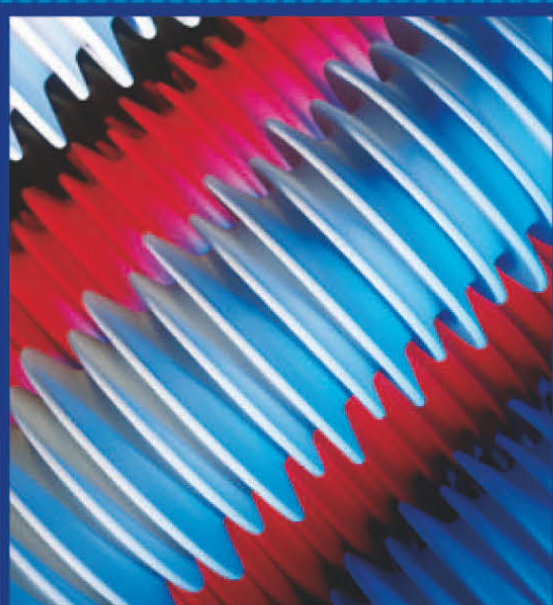




ing
elektrotechnik

Christian H. Kautz

Tutorien zur Elektrotechnik

Tutorien zur Elektrotechnik

Unser Online-Tipp
für noch mehr Wissen ...

informit.de

Aktuelles Fachwissen rund um die Uhr
– zum Probelesen, Downloaden oder
auch auf Papier.

www.informit.de 

Christian H. Kautz

Tutorien zur Elektrotechnik



ein Imprint von Pearson Education
München · Boston · San Francisco · Harlow, England
Don Mills, Ontario · Sydney · Mexico City
Madrid · Amsterdam

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Die Informationen in diesem Produkt werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt.

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen.

Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Herausgeber dankbar.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Die gewerbliche Nutzung der in diesem Produkt gezeigten Modelle und Arbeiten ist nicht zulässig.

Fast alle Hardware- und Softwarebezeichnungen und weitere Stichworte und sonstige Angaben, die in diesem Buch verwendet werden, sind als eingetragene Marken geschützt.

Da es nicht möglich ist, in allen Fällen zeitnah zu ermitteln, ob ein Markenschutz besteht, wird das ®-Symbol in diesem Buch nicht verwendet.

Umwelthinweis:

Dieses Buch wurde auf chlor- und säurefreiem PEFC-zertifiziertem Papier gedruckt.

Die Einschrumpffolie – zum Schutz vor Verschmutzung – ist aus umweltverträglichem und recyclingfähigem PE-Material.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
12 11 10

ISBN 978-3-8273-7323-6

© 2010 by Pearson Studium,
ein Imprint der Pearson Education Deutschland GmbH,
Martin-Kollar-Straße 10–12, D-81829 München
Alle Rechte vorbehalten
www.pearson-studium.de
Lektorat: Birger Peil, bpeil@pearson.de
Korrektorat: Brigitta Keul
Einbandgestaltung: Thomas Arlt, tarlt@adesso21.net
Coverabbildung: Kurt Fuchs
Herstellung: Philipp Burkart, pburkart@pearson.de
Satz: Kösel, Krugzell
Druck und Verarbeitung: Bercker Graphischer Betrieb, Kevelaer

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

I Ein Modell für Stromkreise

(aus: McDermott/Shaffer, *Tutorien zur Physik*)

Strom und Widerstand

Tutorial 17

Übung 21

Spannung

Tutorial 25

Übung 33

Mehrere Batterien

Tutorial 39

Übung 43

Laden und Entladen von Kondensatoren

Tutorial 47

Übung 53

II Gleichstromnetzwerke

Modelleigenschaften

Tutorial 57

Übung 61

Quellen und Arbeitsgeraden

Tutorial 65

Übung 69

Ersatzquellen

Tutorial 71

Übung 75

Leistung

Tutorial 77

Übung 81

III Grundlagen der Wechselstromtechnik

Schaltungselemente R , L und C im Zeitbereich

Tutorial	85
Übung	89

Zeigerformalismus und komplexwertige Signale

Tutorial	91
Übung	95

Phasenbeziehungen

Tutorial	97
Übung	101

Zeiger und Effektivwerte

Tutorial	103
Übung	107

Impedanz und Admittanz

Tutorial	109
Übung	113

Ortskurven

Tutorial	115
Übung	119

Leistung in Wechselstromnetzwerken

Tutorial	121
Übung	125

IV Anwendungen der Wechselstromtechnik

Blindleistungskompensation

Tutorial	129
Übung	133

Schwingkreise

Tutorial	135
Übung	139

Bode-Diagramme

Tutorial	141
Übung	145

Dreiphasensysteme

Tutorial	147
Übung	153

Transformatoren und Übertrager

Tutorial	153
Übung	161

V Nicht-lineare und aktive Bauelemente**Transistorschaltungen**

Tutorial	165
Übung	169

Operationsverstärker

Tutorial	171
Übung	175

Vorwort

Die *Tutorien zur Elektrotechnik* sind als ergänzende Lehrmaterialien zu einer zweisemestrigen Lehrveranstaltung *Grundlagen der Elektrotechnik* in verschiedenen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen entwickelt worden. Die Materialien betonen in erster Linie das Verständnis der grundlegenden Begriffe und Modellvorstellungen sowie der wichtigsten Zusammenhänge, die sich zwischen diesen ergeben. Durch eine aktive Auseinandersetzung mit überwiegend qualitativen Fragen sollen ein tieferes Verständnis des Stoffes erreicht und typische Fehlvorstellungen überwunden werden. Dementsprechend sollen die *Tutorien* die traditionellen Komponenten ingenieurwissenschaftlicher Lehre, also Vorlesung, Lehrbuch oder Skript und herkömmliche Übungsaufgaben, nicht ersetzen, sondern um eine zusätzliche Aktivität erweitern.

Die *Tutorien* bieten sich dafür an, in einer neuen Lernumgebung – einem nach Möglichkeit wöchentlich stattfindenden Tutorium mit mehreren Arbeitsgruppen aus je etwa vier Studierenden – eingesetzt zu werden. Für diese Veranstaltungskomponente ist eine Betreuung durch erfahrene Dozent(inn)en oder Tutor(inn)en notwendig, um die Studierenden bei Fragen zu den Materialien zeitnah zu unterstützen.

Die Entwicklung der *Tutorien zur Elektrotechnik* wurde in entscheidender Weise durch die *Tutorien zur Physik* von L. C. McDermott und P. S. Shaffer angeregt. Die vier in Teil I des vorliegenden Werkes enthaltenen Tutorien zum Modell des Gleichstromkreises sind in sehr enger Anlehnung an die entsprechenden Original-Tutorien gehalten. Darüber hinaus dienten die *Tutorien zur Physik* auch als Vorbild für das gesamte Werk.

Letzteres gilt nicht nur für den Stil der hier enthaltenen Arbeitsblätter, sondern auch für den Prozess ihrer Entstehung. Wie bei den *Tutorien zur Physik* wurde versucht, konkrete Ergebnisse fachdidaktischer Untersuchungen zum jeweiligen Themengebiet direkt in die Materialien einfließen zu lassen und den Erfolg einzelner Tutorien anhand der Ergebnisse von Nachtests und Klausuren zu evaluieren. Im Unterschied zur Physik sind auf dem Gebiet der Elektrotechnik jedoch bislang nur sehr wenige fachdidaktische Forschungsarbeiten in der Literatur zu finden (wenn man von einer recht großen Zahl von Untersuchungen zum Verständnis einfacher Gleichstromkreise, meist auf dem Niveau der Sekundarstufe, einmal absieht). Eigene Untersuchungen auf diesem Gebiet wurden vor einigen Jahren an der TU Hamburg-Harburg begonnen und haben für viele der Tutorien entscheidende Hinweise gegeben. Alle hier enthaltenen *Tutorien* wurden in dieser oder einer früheren Form bereits mehrmals in Lehrveranstaltungen an der TU Hamburg-Harburg eingesetzt.

Zur Handhabung des Buches

Für Dozenten:

Wie oben bereits erwähnt, sollten die *Tutorien* in einer eigens hierfür vorgesehenen Veranstaltungskomponente, einem *Tutorium*, von den Studierenden selbst bearbeitet werden. Ein „Vorrechnen“ vor der Gruppe durch Teilnehmer oder Tutoren, wie es in vielen Gruppenübungen in technischen Fächern üblich ist, wird nach unserer Erfahrung nur geringe Lernfortschritte zur Folge haben. Bei einer Einteilung in Kleingruppen zu je vier Studierenden können auf diese Weise Übungsgruppen von etwa 25 Teilnehmern ohne Schwierigkeiten von einer Lehrkraft betreut werden. Bei größeren Übungsgruppen bietet sich der Einsatz mehrerer Lehrkräfte an, um den Betreuungsaufwand zu reduzieren. Dies kann z.B. durch studentische Tutoren erreicht werden, die diese Tätigkeit entweder gegen Bezahlung oder zur Erbringung einer Studienleistung, etwa eines Seminars zur Lehre, ausüben. Wie der später folgende Abschnitt „Für Tutoren“ deutlich machen soll, handelt es sich hier um keine leichte Aufgabe. Eine dieser Herausforderung entsprechende wöchentliche Vorbereitungsrunde für die Tutoren hat sich für uns als notwendige Bedingung für den Erfolg der Tutorien erwiesen.

Sollte die Einrichtung *zusätzlicher* Tutorien nicht möglich sein, erscheint es sinnvoll, die herkömmlichen Übungsgruppen durch Tutorien zu ersetzen und die Lösungen zu den dort bisher behandelten Übungsaufgaben den Studierenden auf anderem Wege zur Verfügung zu stellen. Als Alternative zum *Tutorium* hat sich jedoch auch der Einsatz der Materialien in der Vorlesung, in Form einer *Hörsaalübung*, bewährt. Dies lässt sich auch mit über 400 Studierenden in einem ausreichend großen Hörsaal erfolgreich durchführen, wenn eine entsprechende Anzahl von Tutoren zur Verfügung steht, welche die Studierenden bei auftretenden Schwierigkeiten zeitnah und individuell unterstützen können.

Hinsichtlich der Stoffauswahl wurde in der vorliegenden Ausgabe angestrebt, alle wesentlichen Begriffe der Themenbereiche Gleichstrom- und Wechselstromnetzwerke zu behandeln. Nicht enthalten ist der Themenbereich der elektrischen und magnetischen Felder. Zumindest für den Einstieg in diese Themen sind in den bereits erwähnten *Tutorien zur Physik* eine Reihe sehr empfehlenswerter Arbeitsblätter (unter anderem zum *Gauß'schen Satz* und zur *Kapazität*) enthalten.

In den meisten Fällen sind die Tutorien darauf angelegt, nach der Einführung der Begriffe in der Vorlesung eingesetzt zu werden. Viele von ihnen können jedoch auch als Einführung in ein Thema dienen. Gerade das erste Arbeitsblatt *Strom und Widerstand* bietet die Gelegenheit zu sehr elementaren Beobachtungen und Schlussfolgerungen, so dass hier ohne Voraussetzungen aus der Vorlesung mit den Tutorien begonnen werden kann. Unsere Erfahrung zeigt, dass bei vielen Studierenden bereits an dieser Stelle wesentliche Verständnisschwierigkeiten auftreten, die häufig auch ein Semester später noch nicht überwunden sind, wenn nicht gezielte Hilfestellung gegeben wurde.

Für Studierende:

Die Form der hier vorliegenden Materialien mag, zumal an der Hochschule, zunächst ungewohnt erscheinen. Sie soll es den Studierenden jedoch ermöglichen, sich auf eine Weise mit dem Lernstoff auseinanderzusetzen, die wesentlich nachhaltigeres Lernen ermöglicht als die häufig eher passive Teilnahme an Vorlesungen und herkömmlichen Übungen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Studierenden die Materialien nicht nur lesen, sondern sie Schritt für Schritt durcharbeiten und ihre Antworten in einer Arbeitsgruppe gemeinsam diskutieren. Die in diesem Zusammenhang auftretenden Wendungen wie „Begründen Sie“ oder „Diskutieren Sie Ihre Antworten mit einem Tutor“ sollen in der Tat beachtet werden. Zudem wird aus dem hier Gesagten deutlich, dass das Fehlen von Musterlösungen didaktisch motiviert ist und als Chance verstanden werden soll. Die Betonung einer *einzigsten* richtigen Antwort würde vielen der in den *Tutorien* gestellten Fragen ohnehin nicht gerecht werden und dem hier vertretenen Lernansatz deutlich widersprechen.

Generell wurde beim Satz darauf geachtet, dass der Zwischenraum zwischen den Fragen dazu ausreicht, die Antwort (in der Regel stichwortartig) dort festzuhalten. Abbildungen, Zeichenfelder und Tabellen, um die ein dicker blauer Rahmen gesetzt ist, sollen von den Studierenden selbst um Skizzen oder Eintragungen ergänzt werden. Textabschnitte, die gerade erarbeitete Ergebnisse zusammenfassen und verallgemeinern oder neue Begriffe einführen, sind durch eine dünne Umrahmung vom übrigen Text abgesetzt.

Für Tutoren:

Den Tutoren fällt beim Einsatz der *Tutorien* möglicherweise die schwierigste Rolle zu. Ihre Aufgabe ist es, den Studiengruppen durch geringst mögliche Hilfestellung zur erfolgreichen Eigenarbeit zu verhelfen. Dabei erfordert jede Interaktion mit einer Studiengruppe gleichzeitig die Konzentration auf mehrere Fragen: Wie weit ist die Gruppe fortgeschritten? Wo könnten in dem bereits bearbeiteten Material noch Missverständnisse oder Fehler liegen? An welcher Problemstellung arbeitet die Gruppe momentan, und welche Erkenntnis fehlt der Gruppe (oder einzelnen Teilnehmern) noch zur erfolgreichen Bearbeitung dieser Teilaufgabe? Arbeiten die Teilnehmer effektiv als Gruppe miteinander? Gibt es möglicherweise einzelne Mitglieder, die eine eher passive Rolle eingenommen haben, z. B. nur Ergebnisse der anderen mitschreiben?

Die Beachtung aller dieser Aspekte wird zudem noch durch die Notwendigkeit erschwert, sich die richtige Antwort der betreffenden Teilaufgabe sowie eine nachvollziehbare Begründung erneut vor Augen zu führen. Darüber hinaus müssen typische „Fallen“ erkannt und umgangen werden: z.B. die Absicht, die gesuchte Antwort den Studierenden „einfach nur richtig zu erklären“, die um so verständlicher ist, wenn man sich als Studierende(r) im höheren Semester noch erinnert, wie man das entsprechende Thema nach langer Anstrengung endlich selbst richtig verstanden hat, oder das Bedürfnis, einem Gruppenmitglied, das sich leise mit einer Frage direkt an den Tutor wendet, durch einen kurzen Nachhilfenvortrag den Anschluss an die Gruppe zu ermöglichen (was in der Regel daran scheitert, dass diese in der Zwischenzeit ihren „Vorsprung“ noch ausgebaut hat). All dies im Auge zu behalten, stellt auch für erfahrene Dozenten noch eine Herausforderung dar. Ziel sollte also sein, mit offenen Augen und Ohren an diese Aufgabe heranzugehen und durch ein gewisses Maß an Selbstreflexion aus jedem Tutorium Erfahrungen mitzunehmen, mit denen sich die eigenen didaktischen Fähigkeiten weiterentwickeln lassen.

Hinweise zum Experimentiermaterial:

In den vier Tutorien in Teil I sowie in den Tutorien *Modelleigenschaften* und *Leistung* werden wesentliche Ergebnisse anhand einfacher Experimente erarbeitet. Die hierfür notwendigen Materialien sind im Elektronik-Fachhandel leicht zu beziehen.

Als gute und kostengünstige Lösung haben sich für uns Bauteile mit folgenden Daten erwiesen: Glühlampen (3,7 V, 0,3 A), Batterien (2 Babyzellen, R14, in einer Halterung). Stecksysteme der kommerziellen Lehrmittelanbieter stellen eine recht komfortable, aber etwas teurere Lösung dar. Hinsichtlich der Voltmeter hat sich die preisgünstigste Lösung (einfache digitale Multimeter für unter 20 Euro) als ausreichend herausgestellt. Einfache, als Zeigerinstrumente ausgeführte Voltmeter sind aus didaktischen Gründen zwar vorzuziehen, aber in der Regel teurer. Zudem bieten sie dann nicht die Möglichkeit, gelegentlich auch Ströme zu messen.

Für das Tutorial *Laden und Entladen von Kondensatoren* werden zusätzlich Kondensatoren hoher Kapazität (z.B. 0,47 und 1,0 Farad) benötigt. Hierbei ist darauf zu achten, dass solche mit sehr geringem Innenwiderstand verwendet werden (z.B. NEC/Tokin FE Series Super Capacitors).

Für das Tutorial *Leistung* ist neben den bereits verwendeten Glühlampen eine weitere Sorte Glühlampen notwendig, deren Widerstand deutlich größer ist (z. B. 4,0 V, 0,1 A).

Danksagungen

Diese Materialien wären nicht entstanden ohne die Erfahrungen, die ich in den Jahren 1993 bis 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand in der *Physics Education Group* an der *University of Washington* machen konnte. Dafür möchte ich besonders der Leiterin der Arbeitsgruppe, *Prof. Lillian C. McDermott*, sowie *Prof. Paula R. L. Heron* und *Prof. Peter S. Shaffer* herzlich danken. Ausdrücklich erwähnt werden sollte jedoch auch *Dr. Karen Wosilait*, die trotz der inzwischen großen räumlichen Distanz bei einigen Abbildungen wertvolle Hilfe geleistet hat.

Weiter möchte ich den Kollegen *Prof. Günter Ackermann*, *Prof. Manfred Kasper* und *Prof. Christian Schuster* an der TU Hamburg-Harburg für ihre Unterstützung durch den Einsatz der Materialien in ihren Lehrveranstaltungen über mehrere Jahre sowie für eine Reihe sehr wertvoller inhaltlicher (und sprachlicher) Hinweise danken. *Dr. Shu Zheng*, der in den Jahren 2003 bis 2005 als Gastprofessor an der TUHH tätig war, hat in der Anfangsphase der Entwicklung ebenfalls wichtige Anregungen gegeben. Einen wichtigen Beitrag haben auch die Studierenden in den verschiedenen Lehrveranstaltungen geleistet, in denen diese Materialien erstmals angewendet und getestet wurden. Für ihre Nachsicht bei noch nicht ganz ausgereiften Formulierungen und ihre konstruktive Kritik ist an dieser Stelle ebenfalls zu danken.

Für wertvolle Hinweise zu inhaltlichen Fragen und Formulierungen und für ihre Unterstützung bei der Erstellung von Bildern und des Satzes in LaTeX möchte ich *Frau Dr. Andrea Brose*, *Herrn Tim Dietz*, *Herrn Andreas Hempel* und *Herrn Phillipp Lüssenhop* danken. In diesem Zusammenhang sei auch die Unterstützung der zugrunde liegenden wissenschaftlichen Arbeit seit Herbst 2008 durch die NORDMETALL Stiftung erwähnt, für die ich stellvertretend *Herrn Peter Golinski* danken möchte.

Schließlich danke ich dem Verlag *Pearson Studium*, besonders *Herrn Birger Peil*, für die kontinuierliche Betreuung und Geduld.

Hamburg

Christian H. Kautz, Ph.D.

TEIL I

Ein Modell für Stromkreise

(aus: McDermott/Shaffer, *Tutorien zur Physik*)

Strom und Widerstand	17
Tutorial	17
Übung	21
Spannung	25
Tutorial	25
Übung	33
Mehrere Batterien	39
Tutorial	39
Übung	43
Laden und Entladen von Kondensatoren	47
Tutorial	47
Übung	53

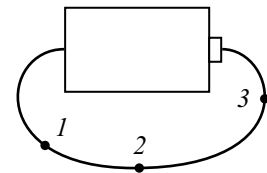
Im vorliegenden Tutorial entwickeln wir eine Modellvorstellung für den elektrischen Strom, mit der wir das Verhalten einfacher Stromkreise erklären und vorhersagen können.

1 Vollständige Stromkreise

- 1.1 Lassen Sie sich eine Batterie, eine Glühlampe und ein einzelnes Stück Draht geben. Verbinden Sie diese in unterschiedlicher Weise und beobachten Sie jeweils, ob die Lampe leuchtet oder nicht.

Formulieren Sie die Bedingungen, welche die Anordnung der Bauteile erfüllen muss, damit die Glühlampe leuchtet.

- 1.2 Ein Student hat die beiden Pole einer Batterie für kurze Zeit mit einem Stück Draht verbunden. Er beobachtet, dass sich der Draht an den Punkten 1, 2 und 3 etwa gleich stark erwärmt. Die Batterie wird ebenfalls warm.

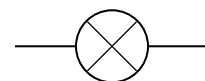


Was lässt sich aufgrund dieser Beobachtung über die Vorgänge an verschiedenen Stellen im Draht und in der Batterie folgern?

- 1.3 Bringen Sie eine Glühlampe mit einer Batterie und einem Draht zum Leuchten. Fügen Sie nun Gegenstände aus unterschiedlichen Materialien in die Schaltung ein und beobachten Sie das Verhalten (d. h. die Helligkeit) der Glühlampe. Verwenden Sie Gegenstände wie Papierstreifen, Münzen, Bleistiftminen, Stifte, Radiergummis usw.

Welche Gemeinsamkeit haben die meisten der Gegenstände, bei denen die Glühlampe leuchtet?

- 1.4 Untersuchen Sie eine Glühlampe sorgfältig. Zwei Drähte reichen vom Glühdraht bis in die Fassung. Sie können vermutlich nicht in die Fassung hineinsehen, sollten jedoch in der Lage sein, eine Vermutung darüber zu formulieren, wo diese Drähte angeschlossen sind. Erläutern Sie Ihre Vermutung mithilfe der Beobachtungen in Teil 1.1 bis 1.3.



Schaltsymbol
für Glühlampe

Auf der Grundlage der bisherigen Beobachtungen treffen wir die folgenden Annahmen für unsere Modellvorstellung des elektrischen Stromkreises:

- In einem vollständigen Stromkreis tritt ein „Fluss“ auf, der im Kreis von einem Pol der Batterie entlang der Schaltung zum anderen Pol der Batterie, dann durch die Batterie und schließlich erneut durch die Schaltung verläuft. Diesen Fluss nennen wir den *elektrischen Strom*.
- Bei identischen Glühlampen kann man die Helligkeit der Glühlampen als ein relatives Maß für die Stärke des Stroms durch die Glühlampe verwenden: Je heller eine Glühlampe leuchtet, desto größer ist der Strom, der durch sie fließt.

Ausgehend von diesen Annahmen werden wir eine Modellvorstellung entwickeln, mithilfe derer wir das Verhalten einfacher Stromkreise erklären können. Die Konstruktion eines wissenschaftlichen Modells ist ein schrittweiser Prozess, bei dem wir nur so viele Annahmen machen wie unbedingt notwendig, um die beobachteten Vorgänge zu erklären.