Volker Smyrek
Diana Kruse
Ralph Hascher

für Ausbildung und Praxis

Lichttechnik

und Energieversorgung

für Veranstaltungstechniker

HIRZEL

SMYREK • KRUSE • HASCHER

LICHTTECHNIK

Lichttechnik
und Energieversorgung

für Veranstaltungstechniker

von Volker Smyrek,
Diana Kruse und Ralph Hascher

Mit 395 Abbildungen und 42 Tabellen

S. Hirzel Verlag Stuttgart

Ergänzungen zu diesem Buch finden sich unter www.volker-smyrek.de

Die in diesem Werk aufgeführten Formeln, (technischen) Daten und Hinweise beruhen größtenteils auf Herstellerangaben und wurden sorgfältig geprüft. Dennoch können Autor und Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit der Angaben übernehmen.

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.

ISBN 978-3-7776-1689-6

Ein Markenzeichen kann warenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt. Patentrechtliche Einschränkungen sind zu beachten.

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Übersetzung, Nachdruck, Mikroverfilmung oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.

© 2010 S. Hirzel Verlag
Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart
Printed in Germany
Umschlaggestaltung: deblik, Berlin
Umschlagabbildung: Dana Bartekoske / iStockphoto
Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Vorwort

Ehrlich gesagt habe ich nicht damit gerechnet, dass meine erste Veröffentlichung „Tontechnik für Veranstaltungstechniker“ eine so gute Resonanz bei den Lesern finden würde. Und daher war ich doch etwas überrascht, als mich der S. Hirzel Verlag bat, gleich eine ganze Reihe von Lehrbüchern für Veranstaltungstechniker herauszugeben. Bei dem vorliegenden Buch handelt es sich um den zweiten Band dieser Reihe.

Die Auswahl der Inhalte beruht auf dem Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Fachkraft für Veranstaltungstechnik. Aber es sei darauf hin gewiesen, dass die Buchreihe auch für weitere Zielgruppen interessant sein dürfte, beispielsweise Schüler und Studenten der School of Audio Engineering (SAE), an Medienhochschulen oder ähnlichen Bildungseinrichtungen.

Dieses Buch unterteilt sich zunächst in zwei Themenbereiche: Die Energieversorgung von Kapitel 1 bis 7 und die Lichttechnik von Kapitel 8 bis 12. Trotz dieser Zweiteilung bauen die Kapitel und zum Teil auch die Inhalte innerhalb der Kapitel aufeinander auf.

Die Reihenfolge der Kapitel folgt einer logischen Struktur und damit nicht ganz der Reihenfolge, wie die Themen im Rahmenlehrplan aufgelistet sind. Am Anfang jedes Kapitels steht daher, zu welchem Lehrjahr die Themen gehören. Am Ende jedes Kapitels finden sich Übungsaufgaben. Die Fragen orientieren sich am Niveau schriftlicher Abschlussarbeiten von Veranstaltungstechnikern. Einige Fragen gehen darüber hinaus, und es gibt auch ein paar Aufgaben, die zur eigenen Recherche auffordern. Die Lösungen stehen im Anhang. Für ein Selbststudium ist weiterführende Fachliteratur am Ende der Kapitel aufgeführt.

Inzwischen unterrichte ich Studenten der SAE in verschiedenen Themenbereichen, und natürlich verwende ich hierzu meine Bücher. Manchmal merkt man erst während des Unterrichts, dass es „hakt“, d. h. dass der Unterrichtstoff didaktisch optimiert werden könnte, oder einzelne Aspekte ausführlicher erklärt werden sollten. Ich freue mich daher in diesem Zusammenhang auch auf Rückmeldungen von Schülern, Studenten und Auszubildenden und von deren Lehrern, Professoren und Ausbildern. Denn ein Lehrbuch kann im Grunde nie wirklich endgültig fertig gestellt werden, da es immer einzelne Aspekte gibt, auf die näher eingegangen werden kann. Oder es gibt neue technische Entwicklungen, die eine Umgestaltung bzw. Anpassung des Unterrichtsstoffes notwendig machen.

Sollte sich trotz sorgfältiger Durchsicht ein Fehlerteufel eingeschlichen haben, so verweise ich auf meine Webseite www.volker-smyrek.de – unter dem Menüpunkt „Ergänzungen“ finden sich eben solche und eventuell notwendige Korrekturhinweise.

Danksagungen

Ein großes Dankeschön möchte ich an meine Mitautoren Diana Kruse und Ralph Hascher aussprechen, die mit ihrem Sachverstand deutliche Akzente in diesem Buch setzen konnten.

Für Korrekturvorschläge danke ich Ellen Walter (Kapitel 1) und Dr. Heiko Richter (Kapitel 8 und 9).

Danke für Gastbeiträge:

Kerstin Wagner, Matthias Strobel und Rob Sayer.

Weiterhin die Prophoto GmbH und die Unfallkasse Post und Telekom.

Danke für die freundliche Unterstützung:

AB Elektronik Sachsen GmbH, ADB Lighting Technologies, Amsterdamse Hogeschool voor de kunsten, Apollo Theater Stuttgart, BB Promotion GmbH / We Will Rock You, Dedo Weigert Film GmbH, Deen Van Meer Photography, DEHA / Emil Löffelhardt GmbH & Co. KG, Dehn + Söhne GmbH & Co. KG, Dirk Weyhenmeyer Fotografie, Electronic Theatre Controls GmbH, Ferdinand Walther GmbH, Fluke Deutschland GmbH, Gerriets GmbH, GMC-I Messtechnik GmbH, Grundlicht.de (Wolfram Bernard), Hameg Instruments GmbH, HKS, Inc., Kino Flo Lighting Systems, Kinoton, LichtWerk GbR – Laser Licht & Illusionen, MA Lighting International GmbH, Martin Professional A/S, Mittronik GmbH, Pathway Connectivity Inc., Pulsar Light of Cambridge Ltd., Rosco, Sand Network Systems, Inc., Stefan's Lichtparade (Stefan Eichhorn), Strand Selecon / Philips Lighting, Theater Schweinfurt, Traffik Theater.

Volker Smyrek — Stuttgart, im Sommer 2010

Inhaltsverzeichnis

1 Stromkreise 1
1.1 Elektrische Spannung 2
1.2 Elektrischer Strom 5
1.3 Ohmsches Gesetz 8
1.4 Strom- und Spannungsarten 11
1.4.1 Gleichstrom und Gleichspannung 11
1.4.2 Wechselstrom und Wechselspannung 12
1.4.3 Drehstrom (Dreiphasenwechselstrom) 15
1.4.4 Mischspannungen 17
1.4.5 Binäre Spannungen und digitale Signale 17
1.5 Elektrische Arbeit 18
1.6 Elektrische Leistung 20
1.6.1 Leistung bei Gleichstrom 20
1.6.2 Leistung bei Wechselstrom 22
1.6.3 Leistungssteuerung durch Dimmer 25
1.7 Schaltungsarten 27
1.7.1 Reihenschaltung von Widerständen 27
1.7.2 Parallelschaltung von Widerständen 29
1.7.3 Kirchhoffsche Regeln 30
1.8 Übungsaufgaben 32

2 Widerstand, Induktivität und Kapazität 33
2.1 Widerstand 33
2.2 Induktivität (Spule) 39
2.3 Kapazität (Kondensator) 47
2.4 Induktives und kapazitives Verhalten von Kabeln und Leitungen 53
2.5 Übungsaufgaben 56

3 Leitungen und Netzsysteme 57
3.1 Kennzeichnung von Kabeln und Leitungen 58
3.2 Farbkennzeichnung der Adern bei Drehstrom 60
3.3 Leitungs- und Kabelarten 60
3.4 Verlegearten von Kabeln und Leitungen 64
3.5 Leitungsverbindungen 65

3.6 Steckverbinder 68
3.6.1 CEE-Drehstromsteckverbinder 68
3.6.2 Schutzkontaktsteckverbinder (Schuko) 69
3.6.3 Lastmulticore mit Harting-Steckverbinder 70
3.7 Spezifischer Widerstand 72
3.8 Spannungsfall 73
3.9 Strombelastbarkeit 76
3.10 Netzsysteme 79
3.10.1 Energieübertragung vom Kraftwerk bis zum Abnehmer 79
3.10.2 Netzformen für Drehstromsysteme 82
3.11 Übungsaufgaben 84

4 Sicherheit beim Umgang mit Strom 85
4.1 Wirkungen des elektrischen Stroms im Fehlerfall 85
4.2 Sicherheitsregeln beim Arbeiten mit elektrischen Anlagen 88
4.3 Hilfemaßnahmen bei Stromunfällen 90
4.4 Grundsätze der Prävention (BGV A1) 93
4.5 Brandgefahr durch elektrische Anlagen und Betriebsmittel 94
4.6 Schalthandlungen im Notfall 97
4.7 Übungsaufgaben 99

5 Schutzeinrichtungen 101
5.1 Abschaltbedingungen in Drehstromnetzen 103
5.2 Überstrom-Schutzeinrichtungen 105
5.3 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung 113
5.4 Erdungsanlagen 118
5.5 Potentialausgleich 122
5.6 Schutzklassen und Schutzarten 125
5.7 Übungsaufgaben 130

6 Mobile Energieversorgung und Messtechnik 131
6.1 Baustromverteiler 131
6.2 Stromunterverteilung 133
6.3 Ersatzstromerzeuger (Stromaggregate) 136
6.4 Geräte und Verfahren zum Messen und Prüfen von Energieversorgungsanlagen 140
6.5 Übungsaufgaben 149

7 Vorschriften zur Errichtung und Überprüfung elektrischer Anlagen 151
7.1 Errichten von Niederspannungsanlagen und Erstprüfung (DIN VDE 0100) 151
7.2 Prüfung nach Instandsetzung und Wiederholungsprüf. (DIN VDE 0701/0702) 157
7.3 Wiederholungsprüfungen im gewerblichen Bereich (BGV A3) 159
7.4 Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) 161
7.5 Notbeleuchtung (DIN VDE 0100-718) 163
7.6 Übungsaufgaben 167

8 Licht, Optik und Auge 169
8.1 Lichttechnische Grundgrößen 169
8.2 Grundlagen der Optik 181
8.2.1 Geometrische Optik 181
8.2.2 Farbmodelle 185
8.2.3 Optische Filter 189
8.2.4 Spiegel 193
8.2.5 Linsen und Blenden 195
8.3 Das Auge und der Gesichtssinn 201
8.3.1 Physiologischer Aufbau und Sehvermögen 202
8.3.2 Verarbeitung der Lichtreize im Gehirn 204
8.4 Übungsaufgaben 210

9 Leuchtmittel und Scheinwerfer 211
9.1 Leuchtmittel 211
9.1.1 Temperaturstrahler 211
9.1.2 Leuchtdiode 216
9.1.3 Laser 217
9.1.4 Entladungslampen 219
9.2 Scheinwerfer 232
9.2.1 PAR-Scheinwerfer 232
9.2.2 Plankonvexlinsen- und Stufenlinsen-Scheinwerfer 233
9.2.3 Profilscheinwerfer 235
9.2.4 Flächenleuchten 239
9.2.5 Moving Lights 240
9.2.6 Besondere Bauformen 242
9.3 Anbauteile für Scheinwerfer 246
9.4 Scheinwerferinstallation 248
9.5 Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit Leuchtmitteln und Scheinwerfern 253
9.6 Übungsaufgaben 256

10 Lichtsteuerung ... 257
10.1 Lichtstellpulte ... 257
10.2 Computergestützte Lichtsteuerung ... 262
10.3 Protokolle zur Lichtsteuerung ... 263
10.3.1 AMX ... 263
10.3.2 DMX ... 264
10.3.3 Ethernetbasierte Protokolle ... 267
10.4 Dimmer ... 274
10.5 Fehler bei der Lichtsteuerung und ihre Behebung ... 276
10.6 Übungsaufgaben ... 278

11 Künstlerischer Einsatz von Licht ... 279
11.1 Szenen mit Stimmungen assoziieren ... 280
11.2 Kombination von Lichtfarbe, Kulissen und Kostümen ... 286
11.3 Scheinwerferpositionen auswählen ... 287
11.3.1 Aktionslicht (Acting Area Lighting / Figure Lighting) ... 287
11.3.2 Grundlicht (Diffused Lighting / Background Lighting) ... 298
11.3.3 Akzentbeleuchtung (Specials) ... 299
11.3.4 Welche Scheinwerfer für welche Zwecke? ... 300
11.3.5 Lichteffekte ... 301
11.3.6 Stilkunde ... 307
11.4 Beleuchtungspläne erstellen und Lichtdesigns simulieren ... 310
11.4.1 Beleuchtungspläne erstellen ... 310
11.4.2 Simulation des Lichtdesigns ... 316
11.5 Aufhängen der Scheinwerfer und Einleuchten ... 319
11.6 Programmieren des Lichtstellpultes ... 322
11.7 Übungsaufgaben ... 326

12 Projektionstechnik ... 327
12.1 Diaprojektion ... 327
12.2 Filmprojektion ... 331
12.3 Videoprojektion ... 334
12.4 Projektionsleinwände ... 348
12.5 Projektion als szenisches Mittel ... 351
12.6 Projektion als Präsentationsmittel ... 354
12.7 Übungsaufgaben ... 359

Anhang **361**
Ausbildungsinhalte in den Bereichen Lichttechnik und Energieversorgung 361
Lösungen zu den Übungsaufgaben 365
Verschiedene Schaltzeichen (Kap. 1 bis 7) 383
Alte Kennzeichnung: Kabel und Leitungen (Kap. 3) 384
Beispiel Stromlaufplan TN-S-System (Kap. 3) 386
Auswahl verschiedener Lampensockel (Kap. 9) 387
Prüfzeichen (Kap. 9) 388
Beispiele für Symbole in Beleuchtungsplänen (Kap. 11) 389
Anzahl der Scheinwerfer berechnen (Kap. 11) 390
Englische Fachbegriffe 391
Abkürzungen 397
Literaturquellen **401**
Abbildungsquellen **405**
Sachregister **409**

PAR-Scheinwerfer mit Schutzgitter und roter Farbfolie

1 Stromkreise

Grundlagenkenntnisse der Elektrotechnik, soweit diese für die Energieversorgung und die Lichttechnik von Interesse sind, werden im ersten Lehrjahr unterrichtet.

Elektrische Vorgänge beruhen auf der freien Beweglichkeit von Ladungsträgern. Zur Veranschaulichung des Zustandekommens dieser Ladungen wird das vereinfachte Bohrsche Atommodell herangezogen (Abb. 1.1): Protonen und Neutronen bilden den Atomkern, die Elektronen bewegen sich um den Kern herum. Das Elektron ist der Träger der kleinstmöglichen negativen Ladung e^-, das Proton trägt die gleich große, positive Elementarladung e^+. Die Einheit der elektrischen Ladung Q ist das Coulomb (C). 1 Coulomb entspricht $6{,}242 \cdot 10^{18}\,e$, damit beträgt die Elementarladung $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C.

Im Normalzustand ist ein Atom nach außen hin neutral, die Anzahl der Protonen und Elektronen ist gleich, die Ladungen heben sich damit gegenseitig auf. In manchen Stoffen sind die Atome so angeordnet, dass einige Elektronen aus der äußersten Hülle in den Einflussbereich eines Nachbaratoms gelangen. Diese Elektronen werden zu *freien Elektronen*. Bei elektrisch leitenden Metallen sind die Atome in einem Raumgitter angeordnet, hier gibt es pro Atom ungefähr ein freies Elektron. Die Knotenpunkte des Gitters sind positiv geladene Restatome (auch „Atomrümpfe“ genannt); zwischen diesen bewegen sich die freien Elektronen (Abb. 1.2).

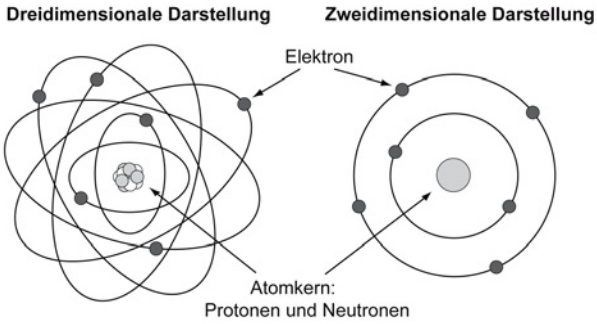

Abb. 1.1: Das Bohrsche Atommodell (Kohlenstoffatom)

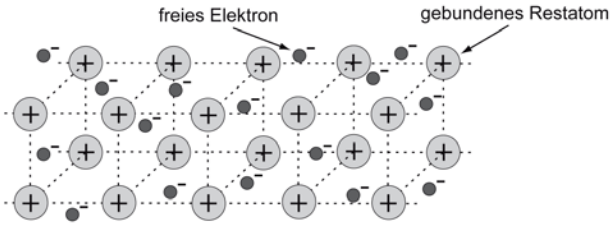

Abb. 1.2: Raumgitter in Metallen

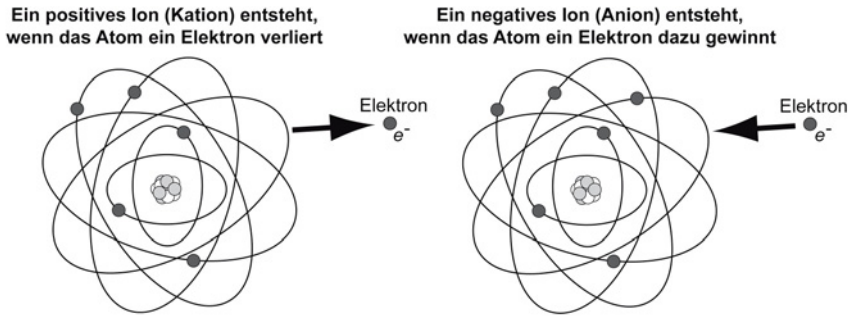

Abb. 1.3: Ionisation

Auch durch *Ionisation* können Ladungsträger zustande kommen, beispielsweise in elektrisch leitenden Flüssigkeiten (Elektrolyten). Fehlen Elektronen aus der äußersten Schale, so wird ein Atom zu einem positiv geladenen Ion. Nimmt dagegen ein Atom ein zusätzliches Elektron auf, so wird es zu einem negativen Ion (Abb. 1.3).

1.1 Elektrische Spannung

Spannungsquellen besitzen zwei Pole mit unterschiedlicher Ladung. Am Minuspol herrscht ein Elektronenüberschuss, am Pluspol ein Elektronenmangel. Dieser Potentialunterschied ist die elektrische Spannung. Durch eine elektrisch leitende Verbindung zwischen den Polen kommt es zu einer Entladung (Ladungsausgleich), dabei fließt ein elektrischer Strom. Eine Ladungstrennung und dadurch eine elektrische Spannung kann auf verschiedene Arten erzeugt werden:

- Ladungstrennung durch Induktion (Beispiel: Generator).
- Ladungstrennung durch chemische Reaktionen (Beispiel: Batterie).
- Ladungstrennung durch Wärme (Beispiel: Thermoelemente in der Mess- und Regeltechnik).
- Ladungstrennung durch die Strahlungsenergie des Lichts (Beispiel: Solarzelle).
- Ladungstrennung durch mechanischen Druck (Beispiel: Piezoelement).

Über die elektrische Spannung können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die elektrische Spannung entsteht durch den Ladungsunterschied zweier Pole.
- Die elektrische Spannung ist der „Druck“ bzw. die Kraft, welche auf die freien Elektronen im Leiter wirkt.
- Die elektrische Spannung ist die Ursache des elektrischen Stroms.

Formelzeichen

Das Formelzeichen einer elektrischen Gleichspannung ist das große U, das Formelzeichen für eine Wechselspannung ist das kleine u.