

Heinrich Hübscher, Jürgen Klaue

Elektrotechnik

Grundbildung
Schaltungstechnik

5. Auflage

Bestellnummer 221043

westermann

Diesem Buch wurden die bei Manuskriptabschluss vorliegenden neuesten Ausgaben der DIN-Normen, VDI-Richtlinien und sonstigen Bestimmungen zu Grunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die neuesten Ausgaben der DIN-Normen und VDI-Richtlinien und sonstigen Bestimmungen selbst.

Die DIN-Normen wurden wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Die in diesem Werk aufgeführten Internetadressen sind auf dem Stand zum Zeitpunkt der Drucklegung. Die ständige Aktualität der Adressen kann vonseiten des Verlages nicht gewährleistet werden. Darüber hinaus übernimmt der Verlag keine Verantwortung für die Inhalte dieser Seiten.

Druck: westermann druck GmbH, Braunschweig

service@westermann-berufsbildung.de
www.westermann-berufsbildung.de

Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Postfach 33 20, 38023 Braunschweig

ISBN 978-3-14-**221043-8**

westermann GRUPPE

© Copyright 2018: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig
Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Hinweis zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden.
Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Das vorliegende Buch soll Schülerinnen und Schülern des Berufsfeldes Elektrotechnik grundlegende Kenntnisse über

- die VDE-gerechte Installation elektrischer Geräte und Anlagen,
- die normgerechte Darstellung elektrischer Installations-schaltungen und elektronischer Bauelemente sowie
- den Umgang mit Kennlinien von Bauelementen vermitteln.

Elektrofachkräfte werden bei Installationen auch mit Zeichnungen von Metallkomponenten (Technische Zeichnungen) sowie Bauzeichnungen konfrontiert. Aus diesem Grund werden dazu im Kapitel 3 grundlegende Kenntnisse vermittelt.

Die verschiedenen Themen werden in einem überschaubaren Umfang praxis- und handlungsorientiert eingeleitet. Zahlreiche einfache und komplexe Aufgaben schließen sich unmittelbar an jedes Kapitel an, wobei einige mithilfe von Arbeitsblättern (221044) (□) bearbeitet werden können.

Bei der Lösung der Aufgaben steht häufig die Schaltungs- und Funktionsanalyse im Mittelpunkt.

Der abgestufte Schwierigkeitsgrad der Aufgaben ermöglicht die einzelnen Kapitel des Buches mit unterschiedlicher Ausführlichkeit zu bearbeiten und so den Unterricht an die jeweilige Situation anzupassen.

Als Hilfe bei der Lösung von Aufgaben sind am Schluss des Buches wichtige Regeln, Symbole und Schaltzeichen in Form von Kurzfassungen aufgeführt. Damit haben die Lernenden ein Nachschlagewerk zur Hand, das zur Festigung des Gelernten dienlich sein kann.

Um an wichtigen Stellen den Zusammenhang zwischen Text und Abbildung herzustellen, wurden die blauen Ziffern ①, ② ... eingesetzt.

An verschiedenen Stellen war es notwendig einführende Kapitel voranzustellen, um grundlegende Festlegungen und Zusammenhänge zu erläutern oder den Aufbau und die Funktion von Geräten zu erklären.

Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge sind Autoren und Verlag jederzeit aufgeschlossen und dankbar.

Autoren und Verlag

Braunschweig 2018

Inhaltsverzeichnis

Schaltpläne

1.1 Einführung	5
1.2 Schalten von einer Stelle	6
Aufgaben	10
1.3 Schalten von mehreren Stellen	13
Aufgaben	16
1.4 Schaltungen mit Relais	19
Aufgaben	24
1.5 Schutzeinrichtungen	25
Aufgaben	27

Bauelemente

2.1 Kennlinien	29
Aufgaben	32
2.2 Lineare Widerstände	33
Aufgaben	35
2.3 Spannungsabhängige Widerstände	36
Aufgaben	38
2.4 Heißleiter	40
Aufgaben	43
2.5 Kaltleiter	45
Aufgaben	47
2.6 Lichtabhängige Widerstände	48
Aufgaben	48
2.7 Dioden	50
Aufgaben	52
2.8 Logische Bausteine	55
Aufgaben	58
2.9 Gedruckte Schaltungen	61
Aufgaben	61

Technische Zeichnungen

3.1 Einführung	62	
3.2 Explosionszeichnungen	63	
Aufgaben	64	
3.3 Eine Ansicht	65	
Aufgaben	66	
3.4 Drei Ansichten	67	
Aufgaben	68	
3.5 Schnittdarstellungen	69	
Aufgaben	70	
3.6 Gewindedarstellungen	71	
Aufgaben	72	
3.7 Bauzeichnungen	73	
Aufgaben	74	
Kurzfassung Schaltpläne		75
Kurzfassung Bauelemente		79
Kurzfassung Technische Zeichnungen		82
Sachwortverzeichnis		84
Bildquellenverzeichnis		85

1.2 Schalten von einer Stelle

Helligkeitssteuerung

In einem Jugendzimmer soll eine Balkenleuchte mit drei Spots installiert werden. Die Helligkeit der Leuchte muss von einer Stelle aus gesteuert werden können. Die Installation wird mit NYM-Leitung unter Putz ausgeführt.

Aufbau der Schaltung

Die Helligkeit der Leuchte kann auf zwei Arten verändert werden. Einmal mithilfe eines Serienschalters, der unterschiedlich viele Spots einschaltet (Abb. 5), oder mit einem Dimmer (Abb. 4). Hierfür ist in der Norm (DIN 40900) kein Schaltzeichen für die mehrpolige Darstellung festgelegt, so dass das entsprechende Symbol (Abb. 6 ①) aus genormten Elementen zusammengesetzt wurde. Die meisten Firmen benutzen hingegen ein nicht genormtes Schaltzeichen (②).

Dimmer sind elektronische Steuerschalter, mit denen die Spannung an Leuchten und damit die Helligkeit stufenlos gesteuert werden kann.

Diese Steuergeräte können z. B. durch Drehen (Abb. 4a) oder durch Tippen (Abb. 4b) bedient werden. Dimmer sind normalerweise für die Steuerung von Glühlampen gebaut. Für LEDs und Leuchtstofflampen gibt es besondere Steuergeräte. Dimmer werden als Wechselschalter hergestellt. In dieser Schaltung wird Q1 aber nur als Ausschalter eingesetzt, deshalb wird das Symbol ③ (Abb. 7) benutzt.

Vorteile gegenüber Serienschaltern

- Stufenlose Helligkeitssteuerung
- Zwischen Abzweigdose X1 und Schalter Q1 sind nur zwei Adern notwendig.
- Zwischen Abzweigdose X1 und Leuchte E1 ist nur die übliche 3-adige Leitung (z.B. NYM 3x1,5) notwendig.

Nachteil gegenüber Serienschaltern

Dimmer sind teurer als Serienschalter.

Funktion der Dimmerschaltung

Stromwege

$L1 \rightarrow X1:3 \rightarrow Q1:4 \rightarrow Q1:1 \rightarrow X1:4 \rightarrow E1:1$
(drei Lampen parallel) $\rightarrow E1:2 \rightarrow X1:1 \rightarrow N$

Dimmfunktion

Wenn der Kontakt in Q1 geschlossen ist, kann die Helligkeit gesteuert werden.

Schutzmaßnahme

Das Gehäuse der Leuchte ist an den Schutzleiter PE angeschlossen.

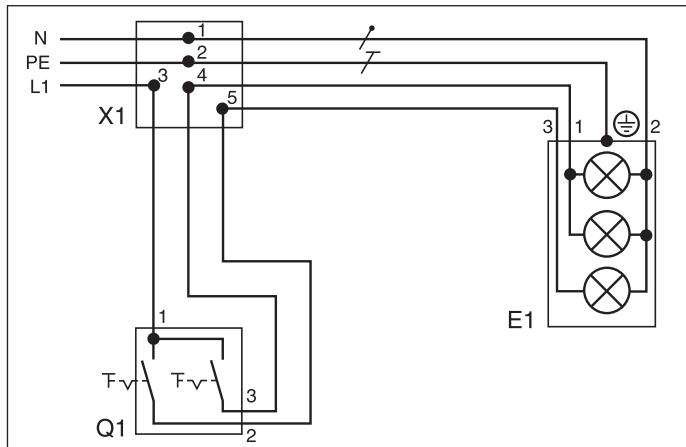


Abb. 5: Balkenleuchte mit Serienschalter

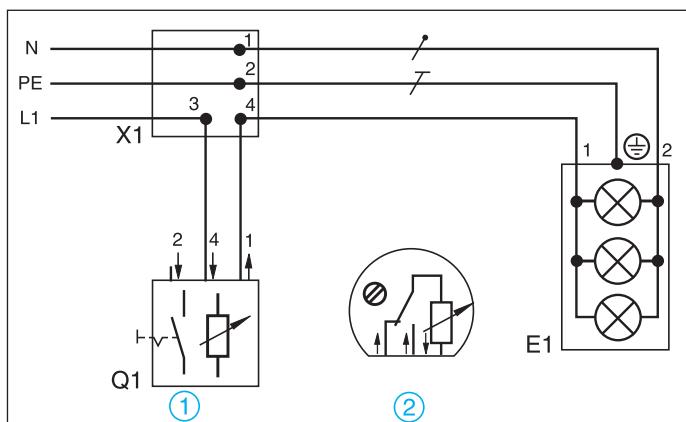


Abb. 6: Balkenleuchte mit Dimmer

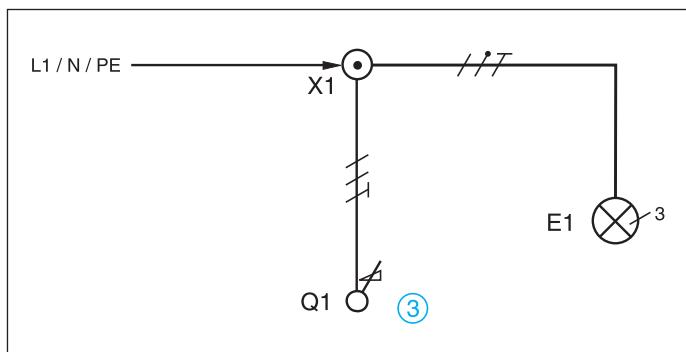
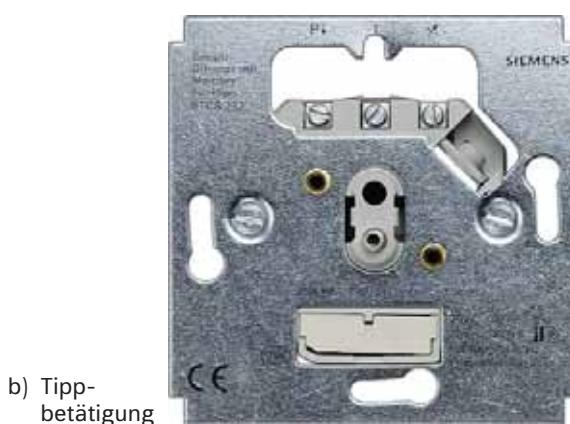


Abb. 7: Übersichtsschaltplan zu Abb. 6



a) Dreh-betätigung



b) Tipp-betätigung

Abb. 4: Dimmer-Arten

1.4 Schalten mit Relais

Schützschaltung

Wenn die Tür oder das Fenster in einer Werkstatt unbefugterweise geöffnet werden, sollen zwei außen angebrachte Scheinwerfer leuchten (Raumschutzanlage).

Aufbau der Schaltung

Die Schaltung wird mit einem Schütz (Abb. 1) und einem Schaltrelais (Abb. 2) realisiert. Beide Betriebsmittel bestehen aus einer Spule und den Kontakten (**Schaltglieder**). Fließt Strom durch die Spule, betätigt ein Anker die Schaltglieder. Diese rasten nicht ein, sondern gehen im stromlosen Zustand wieder in ihre Ruhelage zurück. Die beiden Betriebsmittel unterscheiden sich durch ihren Einsatz und damit auch in ihrer Konstruktion.

Schaltrelais werden nur zum Steuern verwendet, während **Schütze** zum Schalten in Haupt- und Steuerstromkreisen eingesetzt werden.

Man kann an den **Klemmenbezeichnungen** erkennen, ob die Schaltglieder Hilfs- oder Hauptstromkreise schalten. Hauptschaltglieder haben eine Ziffer und Steuerschaltglieder (**Hilfsschaltglieder**) zwei Ziffern.

Die Klemmen von **Hauptschaltgliedern** werden mit einzifferigen Zahlen bezeichnet ①.

Die Klemmen von **Hilfsschaltgliedern** werden mit zwei Ziffern bezeichnet ②. Die 1. Ziffer (Zehnerstelle) ist die Ordnungsziffer und die 2. Ziffer (Einerstelle) ist die Funktionsziffer.

Die **Ordnungsziffer** gibt die örtliche Reihenfolge des Kontaktes an.

Die **Funktionsziffer** gibt die Art des Kontaktes an.

Öffner: 1 und 2 ②

Schließer: 3 und 4 ③

Wechsler: 1 und 2 und 4 ④

Funktion der Schützschaltung

Betriebsbereit

L1 → Q1:1/2 → S0:21/22 → K1:21/22 → Q2:A1/A2 → N
⇒ Q2 zieht an ⇒ Q2 (Strompfad 4) schließt ⇒

L1 → Q1 → Q2:1/2 → E1/E2 → N
⇒ Scheinwerfer leuchten

Betätigen von S1 (Alarmbereit)

L1 → Q1 → S0 → S1:13/14 → S2:21/22 → S3:21/22
→ K1:A1/A2 → N
⇒ K1 zieht an ⇒ K1:21/22 (Strompfad 3) öffnet
⇒ Q2 stromlos ⇒ Q2:1/2 (Strompfad 4) öffnet
⇒ Scheinwerfer stromlos und
⇒ K1:13/14 (Strompfad 2) schließt

Da das Schaltglied K1:13/14 den Taster S1 überbrückt, kann dieser geöffnet werden, ohne dass K1 stromlos wird. Solch eine Schaltung heißt **Selbsthaltung**. Zum Ausschalten ist ein in Reihe geschalteter Öffner notwendig. In unserem Beispiel ist es der Taster S0.

Betätigen von S2 oder S3 (Alarm)

⇒ K1 stromlos → K1:13/14 (Strompfad 2) öffnet und
→ K1:21/22 (Strompfad 3) schließt ⇒

L1 → Q1 → S0 → K1:21/22 → Q2:A1/A2 → N
⇒ Q2 zieht an ⇒ Q2:1/2 (Strompfad 4) schließt ⇒

L1 → Q1 → Q2:1/2 → E1/E2 → N
⇒ Scheinwerfer leuchten

Wird der Taster (S2 bzw. S3) wieder geschlossen, bleibt der Alarm bestehen. K1 ist stromlos, weil die Selbsthaltung über K1:13/14 nicht mehr besteht. K1:21/22 ist daher noch geschlossen und damit bleibt Q2 angezogen.

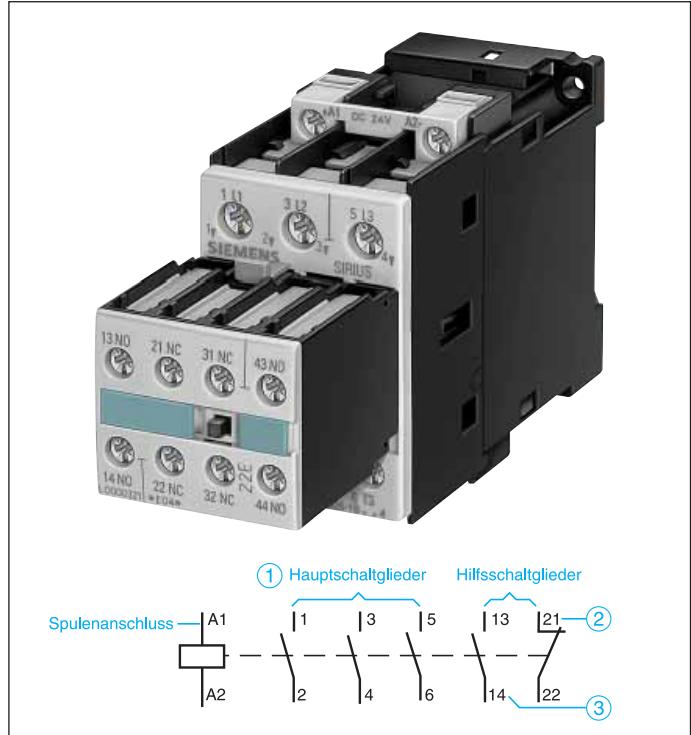


Abb. 1: Hauptschütz mit 3 Hauptschaltgliedern und 2 Hilfsschaltgliedern (1 Schließer, 1 Öffner). Kennzahl 11

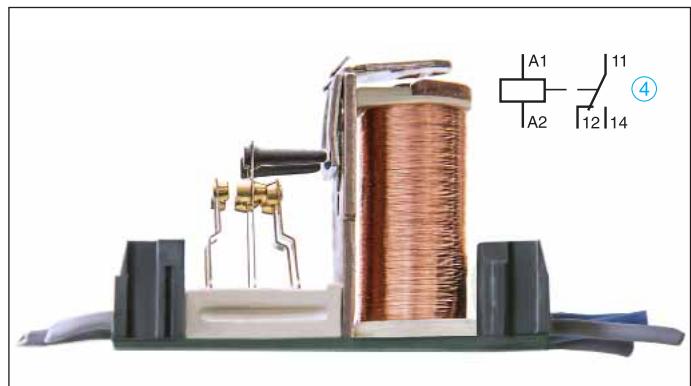


Abb. 2: Schaltrelais mit Wechsler

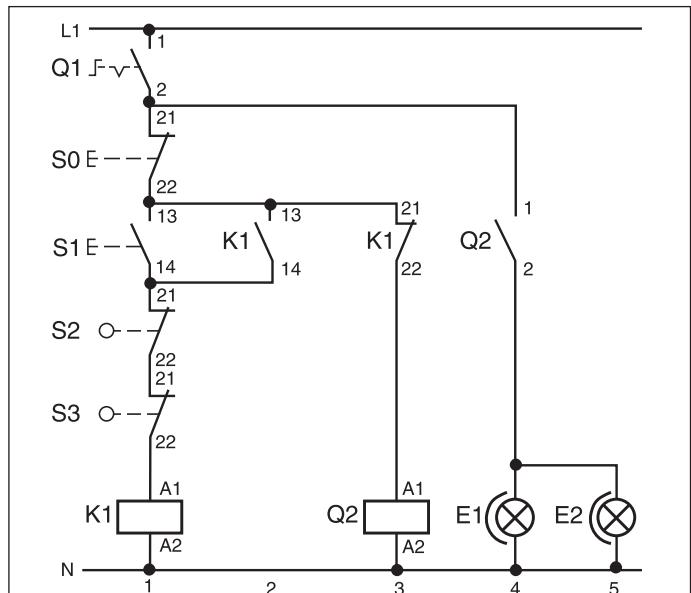


Abb. 3: Alarmschaltung

Bauelemente

2.1 Kennlinien

Über Eigenschaften und damit über typische Anwendungsbereiche elektronischer bzw. elektrischer Bauelemente lassen sich nur dann eindeutige Aussagen machen, wenn man weiß, wie die einzelnen Größen des Bauelementes zusammenhängen.

Die grafischen Darstellungen solcher Zusammenhänge bezeichnet man als **Kennlinien**. Sie werden von Herstellern veröffentlicht oder müssen durch Messungen ermittelt werden.

Schritte zur Kennlinienaufnahme

1. Messschaltung entwerfen und aufbauen,
2. Messwerte in Tabellenform aufnehmen,
3. Messwerte graphisch darstellen (Kennlinie) und
4. Kennlinie interpretieren.

Wird ein schreibendes Messgerät oder ein Oszilloskop verwendet, dann entfällt der 2. Schritt, da diese Geräte die Kennlinien unmittelbar darstellen können.

Die Abb. 1 und 2 zeigen die drei Schritte zur Ermittlung der Kennlinie eines Widerstandes.

Messschaltung

- Je nach Bauelement erfolgt zunächst die Auswahl der Spannungsquelle, Schalt- und Messgeräte (Abb. 1a).
- Danach folgt die Auswahl der Schaltung, z. B. Strom- oder Spannungsfehlerschaltung (Abb. 1b oder 1c).

In den meisten Fällen genügt es, die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung zu ermitteln. Bei anderen Abhängigkeiten sind kompliziertere Messaufbauten erforderlich, z.B. wenn man den Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur ermitteln will.

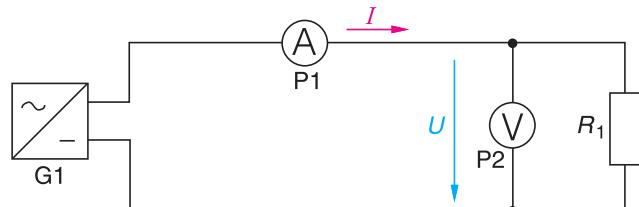
Messwerttabelle

- Die erste Zeile enthält die eingestellte (unabhängig veränderliche) Größe, die Spannung U ①. Damit bei der tabellarischen Schreibweise auf die Einheit für jeden Messwert verzichtet werden kann, gibt man an, in welcher Einheit die Größe gemessen wird. Es gibt die folgenden Schreibweisen: U in V oder $\frac{U}{V}$
- In der zweiten Zeile stehen die Messwerte der abhängig veränderlichen Größe, die Stromstärke I ②.
- Weitere Zeilen können Rechnergebnisse enthalten, z.B. den Widerstand. Sie stellen keine Messwerte dar, sondern sind bereits Auswertungen.

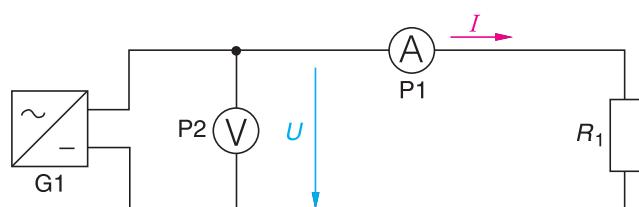
In Messwerttabellen werden die Ergebnisse von Messungen in übersichtlicher Form dargestellt. Sie verdeutlichen, welche Abhängigkeiten zwischen den Größen bestehen. In der Tabelle muss gekennzeichnet werden, in welcher Einheit die Größe gemessen wurde.

- Netzteil mit veränderbarer Spannung
- Stromstärkemessgerät
- Spannungsmessgerät
- Messleitungen
- Messobjekt

a) Benötigte Geräte



b) Stromfehlerschaltung



c) Spannungsfehlerschaltung

Abb. 1: Messschaltungen

①	U in V	2	4	6	8	10
②	I in mA	8	18	24	30	40

Abb. 2: Messwerttabelle

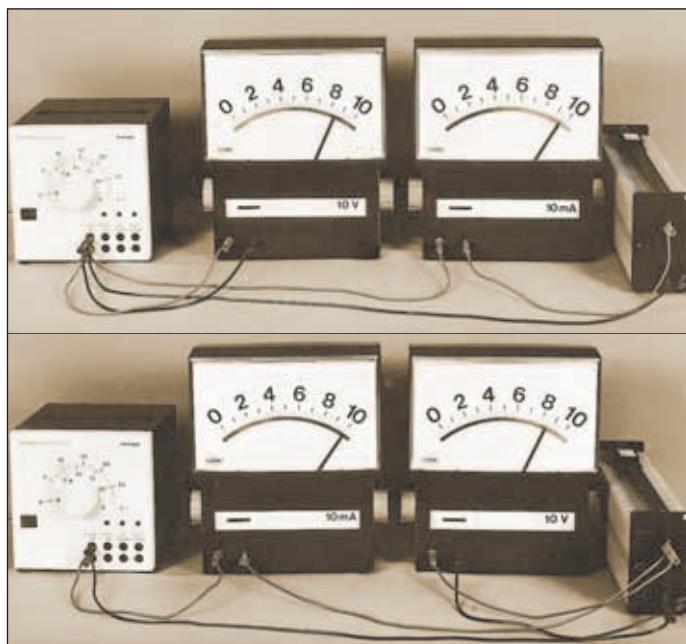


Abb. 3: Versuchsaufbau

2.3 Spannungsabhängige Widerstände

In Abb. 1 sind Bauformen von spannungsabhängigen Widerständen (**Varistoren, VDR**) und das Schaltzeichen zu sehen. Das Symbol verdeutlicht bereits das Verhalten des Bauteils im Stromkreis.

/: Veränderbarkeit /: nichtlineare Veränderbarkeit
 $U \uparrow \downarrow$: Die Widerstandsänderung ist **gegensinnig** der Spannungsänderung.

Ein spannungsabhängiger Widerstand (Varistor, VDR) ist ein Bauteil, dessen Widerstand sich bei linearer Spannungsänderung nichtlinear und gegensinnig verändert.

In Abb. 2 ist die $I-U$ -Kennlinie eines Varistors dargestellt. Aus den Achsenabschnitten erkennt man, dass sie im Gegensatz zu den bisher behandelten Diagrammen nichtlinear sind. Man nennt diese Einteilung **logarithmisch**.

Bei logarithmischen Achsenabschnitten sind die Abstände zwischen zwei Zehnerpotenzen gleich ①, ②. Im Diagramm gibt es keinen Nullpunkt ③.

Der Vorteil solcher Diagramme liegt darin, dass große Bereiche dargestellt werden können. Der Spannungsbereich in Abb. 2 geht z.B. von 10 V bis 1000 V und der Stromstärkenbereich von 1 mA bis 10 A.

Logarithmische Teilung

Eine Strecke von 10 cm soll logarithmisch geteilt werden. Wie ist dabei zu verfahren?

Als Erklärungshilfe dient Abb. 3a. Die Strecke von 10 cm wird als **Zeicheneinheit (ZE)** bezeichnet ④.

Die logarithmische Einteilung erhält man jetzt, indem man mit dem Taschenrechner den **Logarithmus** der Ziffern zwischen 1 und 10 ermittelt (Ziffer eingeben, Logarithmus-Taste drücken) und den angezeigten Wert auf der Achse abträgt.

Beispiel:

Eingabe	Anzeige
2	2
log	.301

Die Ziffer 2 entspricht dabei dem Wert 0,301 (oder 30,1 %) ⑤ von der Zeicheneinheit $ZE = 10 \text{ cm}$ usw. (Abb. 3b).

Kennlinie

Das Verhalten des spannungsabhängigen Widerstandes, dessen Kennlinie in Abb. 2 abgebildet ist, soll interpretiert werden. Dazu sollen Werte abgelesen und dann in ein Diagramm mit linearer Achsenabschaltung eingezeichnet werden.

Unproblematisch ist das Ablesen, wenn die Kennlinie durch horizontale und vertikale Linien geht (Abb. 3c).

Beispiel:

5. Linie auf der U -Achse: $5 \cdot 10^1 \text{ V} = 50 \text{ V}$ ⑥
5. Linie auf der I -Achse: $5 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 50 \text{ mA}$ ⑦

Schwierig wird das Ablesen von Werten, die zwischen den Linien liegen, da die Abstände dazwischen ebenfalls logarithmisch geteilt sind. Der Wert kann geschätzt oder wie folgt ermittelt werden.

Da in dem Diagramm von Abb. 2 die Zeicheneinheit ZE' ⑧ nicht 10 cm, sondern nur 3 cm beträgt, ist zum genauen Ablesen eine Umrechnung erforderlich. Als Beispiel soll bei 30 V ⑨ die Stromstärke abgelesen werden (Abb. 3c).



Abb. 1: Spannungsabhängige Widerstände

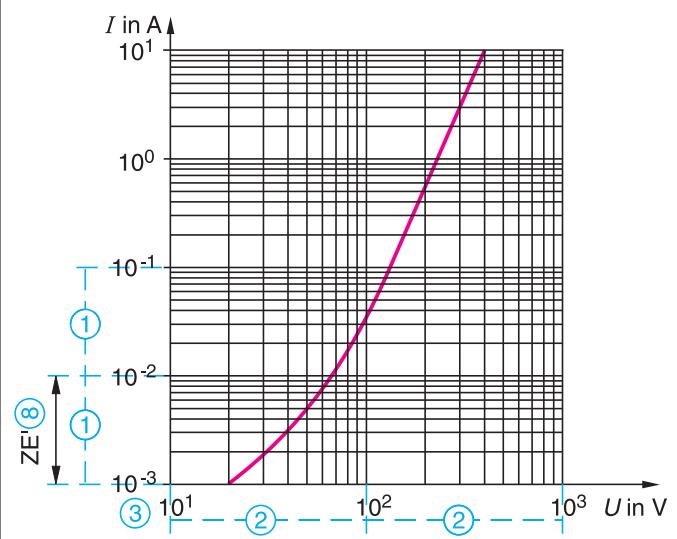


Abb. 2: Strom-Spannungskennlinie eines Varistors

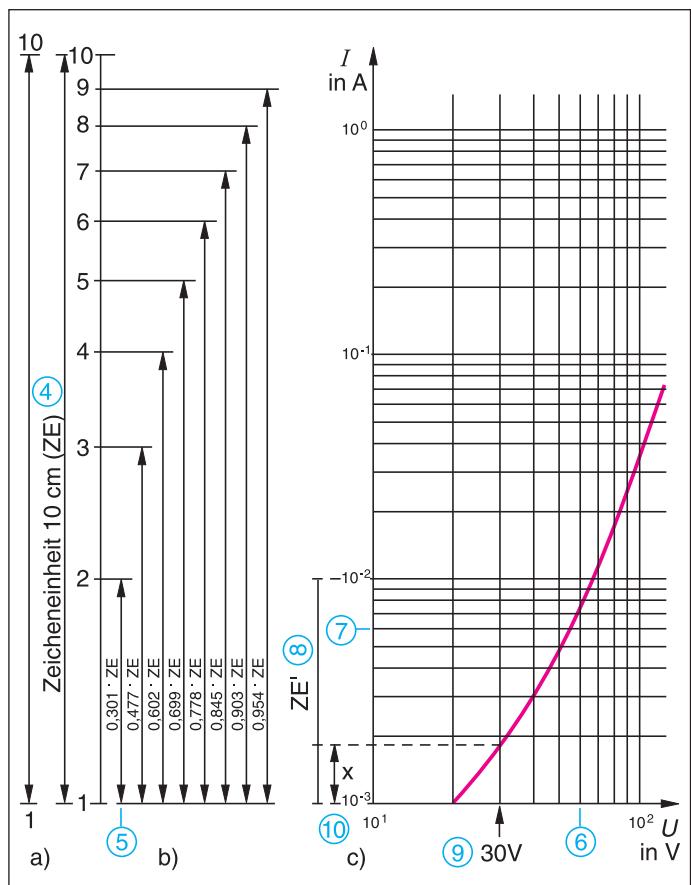


Abb. 3: Logarithmische Achsenabschaltung und Ableseverfahren

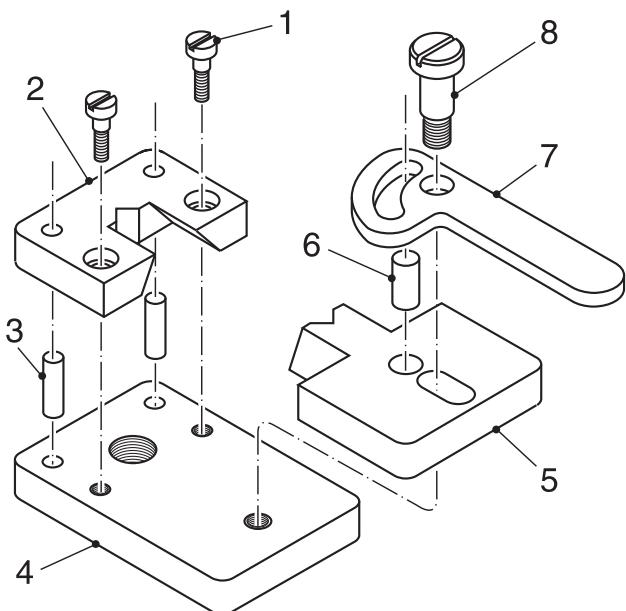
3.2 Explosionszeichnungen

Aufgaben

3.2.1 Spannvorrichtung

- a) Das Werkstück soll zusammengebaut werden.
Geben Sie eine mögliche Reihenfolge dafür an!
Nennen Sie die entsprechenden Befestigungsarten!
- b) Beantworten Sie folgende Fragen und begründen Sie Ihre Antworten!
- Welche Teile werden mithilfe von Zylinderkopfschrauben verbunden?
 - Welches Teil kann eine Drehbewegung ausführen?
 - Welches Teil kann hin und her bewegt werden?
 - Warum geht das Gewinde der Passschraube nicht bis an deren Kopf?
 - Wie lang müssen die Zylinderstifte (Pos. 3) mindestens sein?
 - Würde die Länge der Zylinderkopfschrauben auch ausreichen, wenn im Teil 2 keine Senkungen wären?
 - Muss die Bohrung im Schieber eine Durchgangsbohrung sein?

- c) Einer der Zylinderstifte (Pos. 3) ist defekt. Er soll ausgetauscht werden.
Geben Sie an, welche Teile in welcher Reihenfolge ausgebaut werden müssen!

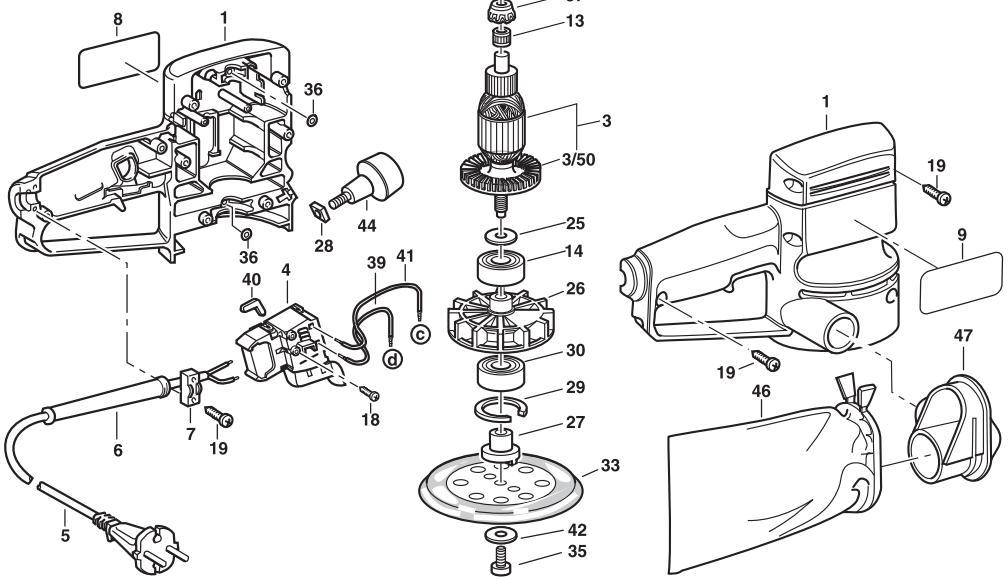


Stückliste			
Pos.	Benennung	Stück	DIN
1	Zylinderkopfschraube	2	DIN 84-M6x18-5.8
2	Führungsstück	1	DIN 174 60x12x41
3	Zylinderstift	2	DIN 7-6m6x20
4	Grundplatte	1	DIN 174 60x12x93
5	Schieber	1	DIN 174 60x12x66
6	Zylinderstift	1	DIN 8-6m6x14
7	Hebel	1	DIN 174 40x5x100
8	Passschraube	1	DIN 669 Ø 19x60

3.2.2 Exzентerschleifer

Die Explosionszeichnung mit der entsprechenden Stückliste stammt aus den Service-Unterlagen eines Herstellers von Elektro-Werkzeugen.

- a) Geben Sie an, wofür diese Unterlage verwendet wird!
Begründen Sie Ihre Antwort.
- b) Die Stückliste enthält keine Bezeichnungen.
Geben Sie den Positionen 1, 5, 19, 25, 26, 33 und 35 sinnvolle Bezeichnungen.
- c) Untersuchen Sie die Durchmesser der Positionen 27, 29, 30, 26, 25 und 3.
Geben Sie bei den entsprechenden Durchmessern an, welche gleich groß sein müssen.
- d) Geben Sie die Bestell-Nr. des Schalters an.
- e) Geben Sie die Funktion der Teile 46 und 47 an.



Bildquellenverzeichnis

|ABB STOTZ-KONTAKT GmbH, Heidelberg: 27 3. |Albrecht Jung GmbH & Co. KG - JUNG.DE, Schalksmühle: 5 2, 13 3. |Bildredaktion1, Hennef/Sieg: 20 3, 22 2, 48 1 (li.). |Di Gaspare, Michele, Bergheim: 73, 73, 73. |Druwe & Polastri, Cremlingen/Weddel: 25 1. |EPCOS AG, München: 36 1, 36 1, 36 1, 36 1, 40 1, 40 1, 40 1, 45 1, 45 1, 45 1, 45 1, 45 1. |fotolia.com, New York: 50 1 (re.), 50 1 (re.); sergey eshmetov 50 1 (li. unten). |iStockphoto.com, Calgary: TimAwe 48 1 (re.). |Klaue, Jürgen, Bad Kreuznach: 62 1, 67 2, 71 2; H. Buresch 29 3, 29 3. |Lithos, Wolfenbüttel: 5, 5, 5, 6, 6, 6, 7, 7, 8, 8, 8, 9, 9, 9, 9, 10, 10, 10, 11, 11, 11, 11, 12, 12, 12, 12, 13, 13, 14, 14, 14, 15, 15, 16, 16, 16, 16, 16, 17, 17, 17, 18, 18, 18, 19, 19, 19, 20, 20, 21, 21, 21, 22, 22, 22, 23, 23, 23, 23, 24, 24, 24, 24, 25, 25, 26, 26, 27, 27, 28, 28, 29, 29, 30, 30, 31, 31, 32, 32, 32, 32, 33, 34, 34, 35, 35, 35, 36, 36, 36, 36, 37, 37, 37, 37, 37, 37, 38, 38, 38, 39, 39, 39, 39, 40, 40, 40, 41, 41, 41, 42, 42, 43, 43, 43, 43, 44, 44, 44, 45, 45, 45, 46, 46, 46, 47, 47, 47, 47, 47, 48, 48, 48, 49, 49, 49, 50, 50, 51, 51, 51, 51, 52, 52, 52, 53, 53, 53, 53, 54, 54, 54, 54, 55, 55, 55, 56, 56, 56, 56, 56, 57, 57, 57, 57, 57, 57, 58, 58, 58, 59, 59, 60, 60, 60, 61, 61, 61, 61, 62, 63, 64, 64, 65, 65, 65, 66, 66, 66, 66, 66, 66, 67, 67, 68, 68, 68, 68, 68, 69, 69, 69, 69, 70, 71, 71, 71, 72, 72, 72, 72, 74, 74, 75, 75, 75, 75, 76, 76, 76, 76, 76, 76, 77, 77, 77, 77, 77, 77, 78, 79, 79, 79, 79, 80, 80, 80, 80, 80, 81, 81, 81, 81, 81, 81, 82, 82, 82, 82, 82, 83, 83, 83, 83. |Schütze, G., Neuwied: 19 2. |Shutterstock.com, New York: Zhupanenko, Vladimir 50 1 (re. oben). |Siemens AG, Erlangen: 5 3, 8 3, 9 4, 9 4, 15 6, 22 1, 25 3.