

Schweizerische Armee

65.90/I d

Technische Grundlagen
für
Übermittlungsgerätemechaniker

Band I

Gültig ab 1. Oktober 1974

65.90/I d

Technische Grundlagen
für
Übermittlungsgerätemechaniker
Band I

Gültig ab 1. Oktober 1974

Alle Rechte vorbehalten
Copyright 1973 by Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3027 Bern

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Die physikalischen Grundlagen	11
I. Das Wesen der Materie	11
1. Einführung	11
2. Was wissen Sie schon über die Materie?	11
3. Der Aufbau der Materie	11
4. Das Wesentliche	15
5. Repetitionsaufgaben	15
II. Elektrizität	16
1. Einführung	16
2. Was wissen Sie schon über die Elektrizität?	16
3. Das Wesen der Elektrizität	16
4. Das Wesentliche	18
5. Repetitionsaufgaben	18
III. Der elektrische Stromkreis	19
1. Einführung	19
2. Was wissen Sie schon über den elektrischen Stromkreis?	19
3. Der elektrische Stromkreis und seine Kenndaten	19
4. Beispiele	26
5. Das Wesentliche	29
6. Repetitionsaufgaben	30
B. Elektrochemische Stromquellen	33
I. Galvanische Elemente	33
1. Einführung	33
2. Was wissen Sie schon über galvanische Elemente?	33
3. Das galvanische Element	33
4. Beispiele	36
5. Das Wesentliche	38
6. Repetitionsaufgaben	38
II. Akkumulatoren	40
1. Einführung	40
2. Was wissen Sie schon über Akkumulatoren?	40
3. Die Akkumulatoren	40
4. Beispiele	43
5. Das Wesentliche	48
6. Repetitionsaufgaben	49
C. Der Magnetismus	51
I. Permanentmagnete	51
1. Einführung	51
2. Was wissen Sie schon über Permanentmagnete?	51
3. Der Permanentmagnet	51
4. Das Wesentliche	55
5. Repetitionsaufgaben	55

	Seite
II. Elektromagnetismus	56
1. Einführung	56
2. Was wissen Sie schon über Elektromagnetismus?	56
3. Der Elektromagnetismus	56
4. Das Wesentliche	73
5. Repetitionsaufgaben	73
D. Die trigonometrischen Grundlagen	75
I. Die Winkelfunktionen	75
1. Einführung	75
2. Was wissen Sie schon über die Winkelfunktionen?	75
3. Die Winkelfunktionen	75
4. Beispiele	80
5. Das Wesentliche	83
6. Repetitionsaufgaben	84
II. Die Winkelfunktionen auf dem Rechenschieber	85
1. Einführung	85
2. Was wissen Sie schon über die Winkelfunktionen auf dem Rechenschieber?	85
3. Die Winkelfunktionen auf dem Rechenschieber	85
4. Beispiele	89
5. Das Wesentliche	91
6. Repetitionsaufgaben	92
E. Wechselströme	93
I. Der einphasige Wechselstrom	93
1. Einführung	93
2. Was wissen Sie schon über Wechselströme?	93
3. Der Wechselstrom	93
4. Beispiele	103
5. Das Wesentliche	105
6. Repetitionsaufgaben	105
II. Drehstrom	107
1. Einführung	107
2. Was wissen Sie schon über den Drehstrom?	107
3. Der Drehstrom	107
4. Beispiele	116
5. Das Wesentliche	118
6. Repetitionsaufgaben	118
F. Bauelemente	121
I. Widerstände	121
1. Einführung	121
2. Was wissen Sie schon über Widerstände?	121
3. Die Widerstände	121
4. Beispiele	131
5. Das Wesentliche	132
6. Repetitionsaufgaben	133

	Seite
II. Kondensatoren	134
1. Einführung	134
2. Was wissen Sie schon über Kondensatoren?	134
3. Kondensatoren	134
4. Beispiele	166
5. Das Wesentliche	170
6. Repetitionsaufgaben	171
III. Spulen	172
1. Einführung	172
2. Was wissen Sie schon über Spulen?	172
3. Spulen	172
4. Beispiele	193
5. Das Wesentliche	195
6. Repetitionsaufgaben	196
IV. Serieschaltung von Wirk- und Blindwiderständen	197
1. Einführung	197
2. Was wissen Sie schon über die Serieschaltung von Wirk- und Blindwiderständen?	197
3. Serieschaltung von Wirk- und Blindwiderständen	197
4. Beispiele	211
5. Das Wesentliche	222
6. Repetitionsaufgaben	223
V. Parallelschaltung von Wirk- und Blindwiderständen	224
1. Einführung	224
2. Was wissen Sie schon über die Parallelschaltung von Wirk- und Blindwiderständen?	224
3. Die Parallelschaltung von Reaktanzen mit realen Widerständen	224
4. Beispiele	231
5. Das Wesentliche	240
6. Repetitionsaufgaben	241
VI. Der Transformator	242
1. Einführung	242
2. Was wissen Sie schon über den Transformator?	242
3. Der Transformator	242
4. Beispiele	260
5. Das Wesentliche	265
6. Repetitionsaufgaben	265
VII. Der Serieschwingkreis	267
1. Einführung	267
2. Was wissen Sie schon über Serieschwingkreise?	267
3. Der Serieschwingkreis	268
4. Beispiele	275
5. Das Wesentliche	280
6. Repetitionsaufgaben	280

		Seite
VIII.	Der Parallelschwingkreis	282
	1. Einführung	282
	2. Was wissen Sie schon über den Parallelschwingkreis?	282
	3. Der Parallelschwingkreis	282
	4. Beispiele	294
	5. Das Wesentliche	300
	6. Repetitionsaufgaben	301
IX.	Die Bandfilter	302
	1. Einführung	302
	2. Was wissen Sie schon über Bandfilter?	303
	3. Die Bandfilter	303
	4. Beispiel	313
	5. Das Wesentliche	315
	6. Repetitionsaufgaben	315
G. Elektronenröhren		317
I.	Die Diode	317
	1. Einführung	317
	2. Was wissen Sie schon über Dioden?	317
	3. Die Diode	318
	4. Beispiele	330
	5. Das Wesentliche	332
	6. Repetitionsaufgaben	332
II.	Die Triode	334
	1. Einführung	334
	2. Was wissen Sie schon über Trioden?	334
	3. Die Triode	334
	4. Beispiel	342
	5. Das Wesentliche	344
	6. Repetitionsaufgaben	344
III.	Die Pentode	347
	1. Einführung	347
	2. Was wissen Sie schon über die Pentode?	348
	3. Die Pentode	348
	4. Beispiel	354
	5. Das Wesentliche	355
	6. Repetitionsaufgaben	357
IV.	Die Leistungspentode	358
	1. Einführung	358
	2. Was wissen Sie schon über die Leistungspentoden?	358
	3. Die Leistungspentode	358
	4. Beispiel	362
	5. Das Wesentliche	364
	6. Repetitionsaufgaben	364

V.	Die Mischröhre	Seite 365
	1. Einführung	365
	2. Was wissen Sie schon über Mischröhren?	365
	3. Grundsätzliches über Mischstufen	365
	4. Die Mischröhren	368
	5. Beispiel	374
	6. Das Wesentliche	375
	7. Repetitionsaufgaben	376
VI.	Gasgefüllte Röhren	378
	1. Einführung	378
	2. Was wissen Sie schon über gasgefüllte Röhren?	378
	3. Gasgefüllte Röhren	378
	4. Das Wesentliche	402
	5. Repetitionsaufgaben	403
VII.	Die Katodenstrahlröhre	404
	1. Einführung	404
	2. Was wissen Sie schon über Katodenstrahlröhren?	404
	3. Die Katodenstrahlröhre	404
	4. Beispiel	409
	5. Das Wesentliche	411
	6. Repetitionsaufgaben	411
VIII.	Röhrenbezeichnungen	412
	1. Einführung	412
	2. Schlüssel für die Typenbezeichnung von Vakuumröhren	412
	3. Beispiele	412
H.	Schlussbestimmungen	500

Anhang

Antworten zu den Fragen im Text

1.	Was wissen Sie schon über die Materie?	413
2.	Repetitionsaufgaben zu «I. Das Wesen der Materie»	413
3.	Was wissen Sie schon über die Elektrizität?	415
4.	Repetitionsaufgaben zu «II. Elektrizität»	416
5.	Was wissen Sie schon über den elektrischen Stromkreis?	416
6.	Repetitionsaufgaben zu «III. Der elektrische Stromkreis»	417
7.	Was wissen Sie schon über die galvanischen Elemente?	421
8.	Repetitionsaufgaben zu «I. Galvanische Elemente»	422
9.	Was wissen Sie schon über Akkumulatoren?	424
10.	Repetitionsaufgaben zu «II. Akkumulatoren»	424
11.	Was wissen Sie schon über Permanentmagnete?	425
12.	Repetitionsaufgaben zu «I. Permanentmagnete»	426
13.	Was wissen Sie schon über Elektromagnetismus?	427

	Seite
14. Repetitionsaufgaben zu «II. Elektromagnetismus»	428
15. Was wissen Sie schon über die Winkelfunktionen?	430
16. Repetitionsaufgaben zu «I. Winkelfunktionen»	431
17. Was wissen Sie schon über die Winkelfunktionen auf dem Rechenschieber?	433
18. Repetitionsaufgaben zu «II. Die Winkelfunktionen auf dem Rechenschieber»	433
19. Was wissen Sie schon über Wechselströme?	435
20. Repetitionsaufgaben zu «I. Der Wechselstrom»	436
21. Was wissen Sie schon über Drehstrom?	439
22. Repetitionsaufgaben zu «II. Drehstrom»	440
23. Was wissen Sie schon über Widerstände?	444
24. Repetitionsaufgaben zu «I. Widerstände»	445
25. Was wissen Sie schon über Kondensatoren?	447
26. Repetitionsaufgaben zu «II. Kondensatoren»	448
27. Was wissen Sie schon über Spulen?	451
28. Repetitionsaufgaben zu «III. Spulen»	452
29. Was wissen Sie schon über die Serieschaltung von Wirk- und Blindwiderständen?	456
30. Repetitionsaufgaben zu IV. Serieschaltung von Wirk- und Blindwiderständen»	457
31. Was wissen Sie schon über die Parallelschaltung von Wirk- und Blindwiderständen?	461
32. Repetitionsaufgaben zu «V. Parallelschaltung von Wirk- und Blindwiderständen»	463
33. Was wissen Sie schon über den Transformator?	469
34. Repetitionsaufgaben zu «VI. Der Transformator»	469
35. Was wissen Sie schon über den Serieschwingkreis?	471
36. Repetitionsaufgaben zu «VII. Der Serieschwingkreis»	471
37. Was wissen Sie schon über den Parallelschwingkreis?	474
38. Repetitionsaufgaben zu VIII. Der Parallelschwingkreis»	474
39. Was wissen Sie schon über Bandfilter?	476
40. Repetitionsaufgaben zu «IX. Bandfilter»	477
41. Was wissen Sie schon über Dioden?	479
42. Repetitionsaufgaben zu «I. Die Diode»	480
43. Was wissen Sie schon über die Triode?	482
44. Repetitionsaufgaben zu «II. Die Triode»	483
45. Was wissen Sie schon über die Pentode?	486
46. Repetitionsaufgaben zu «III. Die Pentode»	487
47. Was wissen Sie schon über die Leistungspentode?	489
48. Repetitionsaufgaben zu «IV. Die Leistungspentode»	490
49. Was wissen Sie schon über Mischröhren?	491
50. Repetitionsaufgaben zu «V. Die Mischröhren»	492
51. Was wissen Sie schon über gasgefüllte Röhren?	494
52. Repetitionsaufgaben zu «VI. Gasgefüllte Röhren»	494
53. Was wissen Sie schon über Katodenstrahlröhren?	497
54. Repetitionsaufgaben zu «VII. Die Katodenstrahlröhre»	497

Sachverzeichnis

siehe Band II

Die technischen Grundlagen für Übermittlungsgerätemechaniker

Band I

(Vom 31. Oktober 1972)

erlassen gestützt auf Artikel 5, Absatz 2, Buchstabe a der Verfügung des Eidgenössischen Militärdepartementes vom 2. Juni 1969 über den Erlass von militärischen Reglementen.

Einführung

Das vorliegende Reglement entstand aus dem Bedürfnis eines gedrängten Lehrmittels für die Grundausbildung aller an elektronischen Geräten auszubildenden Truppenhandwerker. Für alle angehenden Übermittlungsgerätemechaniker, um den umfassenden Sammelbegriff zu verwenden, stellen Teile dieses Lehrbuches bekannte Tatsachen dar, während andere Teile – entsprechend der beruflichen Vorbildung – teilweise unbekannt, teilweise nur bruchstückweise in den Anforderungen des erlernten Berufes enthalten sind.

Das hier entstandene Elektronik-Lehrmittel verzichtet bewusst auf eingehende mathematische Beweisführungen und stellt das Experiment in den Vordergrund. Durch die illustrierte Beschreibung der grundlegenden Experimente, wie sie zu einem grossen Teil im Unterricht durchgeführt werden, soll das Lehrbuch einmal als Repetitorium, zum andern auch für ein beschränktes Selbststudium dienen. Diese letztere Forderung dient besonders zur Homogenisierung von Unterrichtsklassen mit Schülern ungleicher Vorbildung. Speziell für das Selbststudium sind die einführenden Abschnitte «Was wissen Sie schon über ...?» und die Repetitionsaufgaben am Schluss jedes Kapitels bestimmt. Zur Selbstkontrolle sind die Lösungen und deren Beurteilung im Anhang zusammengestellt.

A. DIE PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN

I. Das Wesen der Materie

1. Einführung

Um das Wesen der Elektrizität und deren Erscheinungsformen zu begreifen, ist es erforderlich, den Aufbau der Materie zu studieren. Im Verlaufe der letzten hundert Jahre wurden der Natur die Geheimnisse über die Zusammensetzung und den Aufbau der Materie schrittweise abgerungen. Noch ist es der Wissenschaft nicht gelungen, die kleinsten Elementarteilchen sichtbar zu machen, obschon deren Existenz mit Hilfe von Experimenten nachweisbar ist. Das physikalische Verhalten von Elementarteilchen wurde oft aufgrund von Theorien und Berechnungen vorausgesagt, das Experiment lieferte lediglich noch den Beweis für die Richtigkeit der Theorie. Das Bild, das sich der moderne Mensch von der Welt macht, wurde massgebend von den Erkenntnissen der heutigen Physik geprägt.

In den folgenden Abschnitten wollen wir uns mit den Eigenschaften und dem Verhalten der Elementarteilchen befassen, soweit dies für das Verständnis der Elektronik notwendig ist.

2. Was wissen Sie schon über die Materie? (Lösung Seite 413)

Jedes der folgenden Kapitel beginnt mit einigen einleitenden Fragen. Versuchen Sie jeweils diese zu beantworten, ohne dass Sie dafür fremde Hilfe beanspruchen. Die Antworten zu diesen Einführungsfragen und deren Bewertung finden Sie im Anhang (Seite 413).

- Welche Polarität hat die Ladung eines Elektrons?
- Wo treffen wir Protonen an?
- Kommen in einem Atomkern auch Neutronen vor?
- Was verstehen Sie unter dem Begriff «Atom»?
- Spielen Ionen in den Gasentladungsröhren eine Rolle?
- Ist Sauerstoff ein chemisches Element?

3. Der Aufbau der Materie

Zerlegt man einen beliebigen Stoff in immer kleinere Teilchen, so erhält man zuletzt das kleinstmögliche Teilchen, das noch die Eigenschaften des Stoffes aufweist, das *Molekül*. Ein Molekül z. B. Kochsalz besitzt noch die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Kochsalz, eine weitere Teilung ist jedoch nicht mehr möglich.

Das einzelne Molekül setzt sich aus verschiedenen *Atomen* zusammen. Das Atom ist die kleinste Einheit eines *chemischen Elementes*. Bis heute sind über hundert chemische Elemente oder Grundstoffe bekannt.

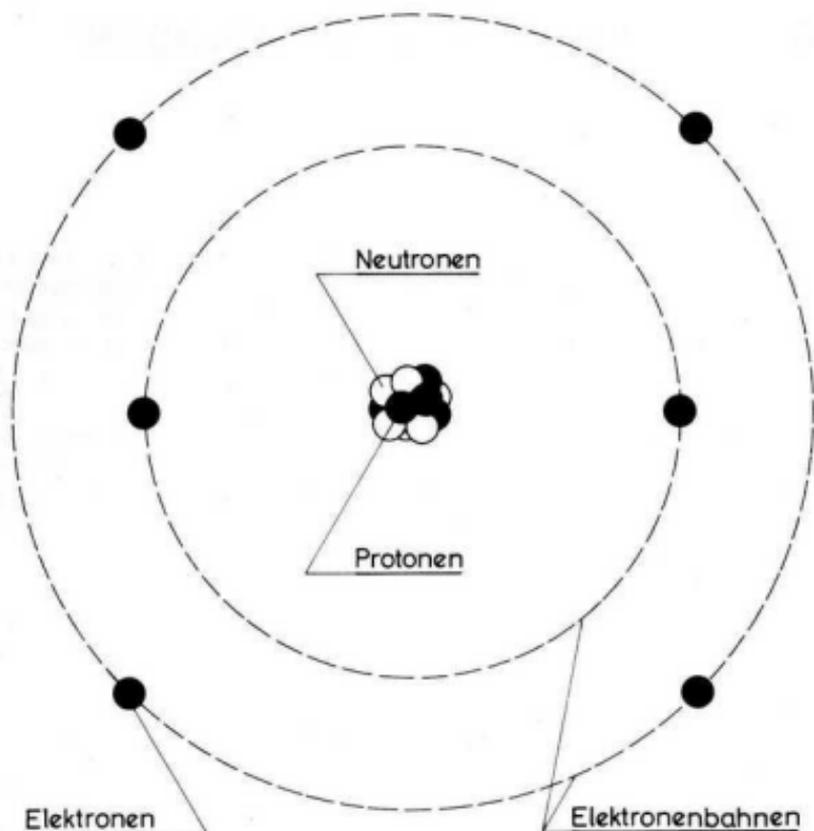


Bild 1: Aufbau des Kohlenstoffatoms

Lange Zeit galt das Atom als unteilbar. Die Wissenschaft löste jedoch das Rätsel um den Aufbau des Atomes und damit war auch schon der erste Schritt zur Atomumwandlung getan. Wir werden uns mit der Zusammensetzung des Atomes näher auseinandersetzen, da die Atombestandteile die eigentlichen Träger der Elektrizität darstellen.

Bild 1 zeigt uns den Aufbau des Kohlenstoffatoms. Jedes Atom besteht aus einem Atomkern und aus Elektronen, die diesen Atomkern wie Planeten umkreisen. Der Atomkern besteht aus *Protonen* und *Neutronen*. Die wesentlichen Bauteile der Materie haben folgende Eigenschaften:

Das *Elektron* ist der Träger der kleinsten *elektrischen Ladungseinheit*, der sogenannten *Elementarladung*. Die Polarität dieser Ladung ist *negativ*. Das Elektron ist im Verhältnis zu den Kernbestandteilen leicht, es wiegt etwa den zweitausendsten Teil eines Protons.

Das *Proton* weist eine *positive Ladung* gleicher Grösse wie die Elementarladung auf. Es bildet zusammen mit den Neutronen den Atomkern.

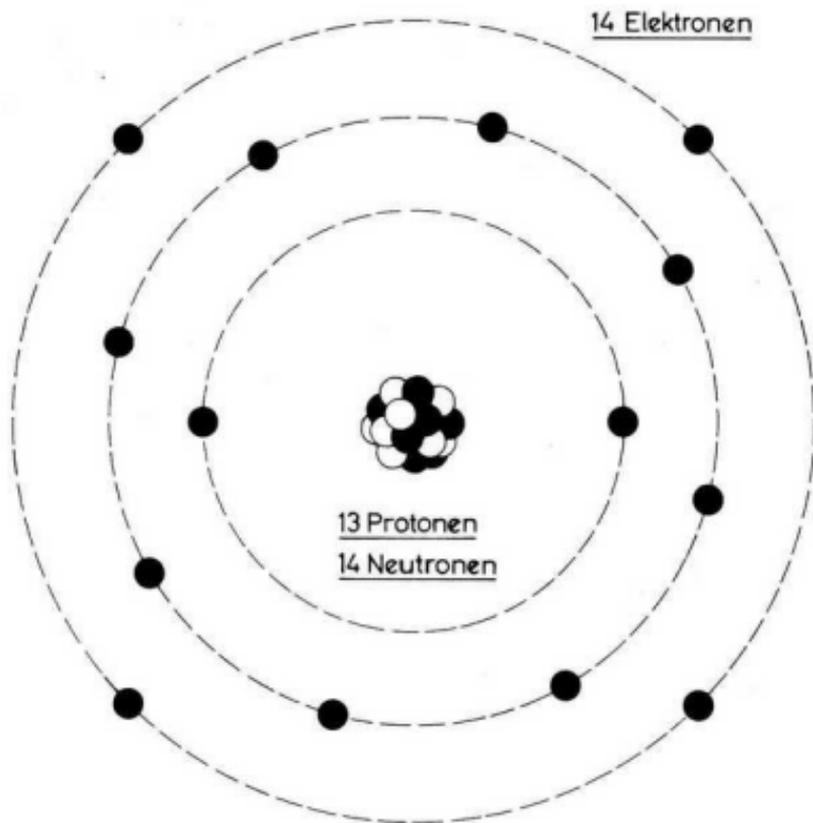


Bild 2: Negatives Aluminiumion

Neutronen sind elektrisch neutral und ungefähr gleich schwer wie die Protonen.

Elektronen, Protonen und Neutronen nennt man *Elementarteilchen*, sie sind die Bausteine aller Materie. Es existieren noch weitere Elementarteilchen, bis heute sind insgesamt deren zehn bekannt. Einige dieser Elementarteilchen haben eine extrem kurze Lebensdauer, andere neigen dazu sich umzuwandeln. Für unsere Betrachtungen sind vorerst nur die Bausteine der Atome, die Protonen, Neutronen und Elektronen, interessant. Zu einem späteren Zeitpunkt werden wir uns mit dem *Photon* zu befassen haben. Das Photon ist ebenfalls ein Elementarteilchen, es spielt im Zusammenhang mit der Funktionsweise von Photozellen und Photodioden eine wesentliche Rolle.

Der Aufbau der Atome unterliegt gewissen Gesetzen. Atome sind unter normalen Bedingungen nach aussen neutral, pro Proton im Atomkern finden wir je ein Elektron, das den Kern umkreist. Wird dieses Gleichgewicht gestört, so wird das Atom zum *Ion*. Besitzt ein Atom ein Elektron zuviel, so ist es gegen

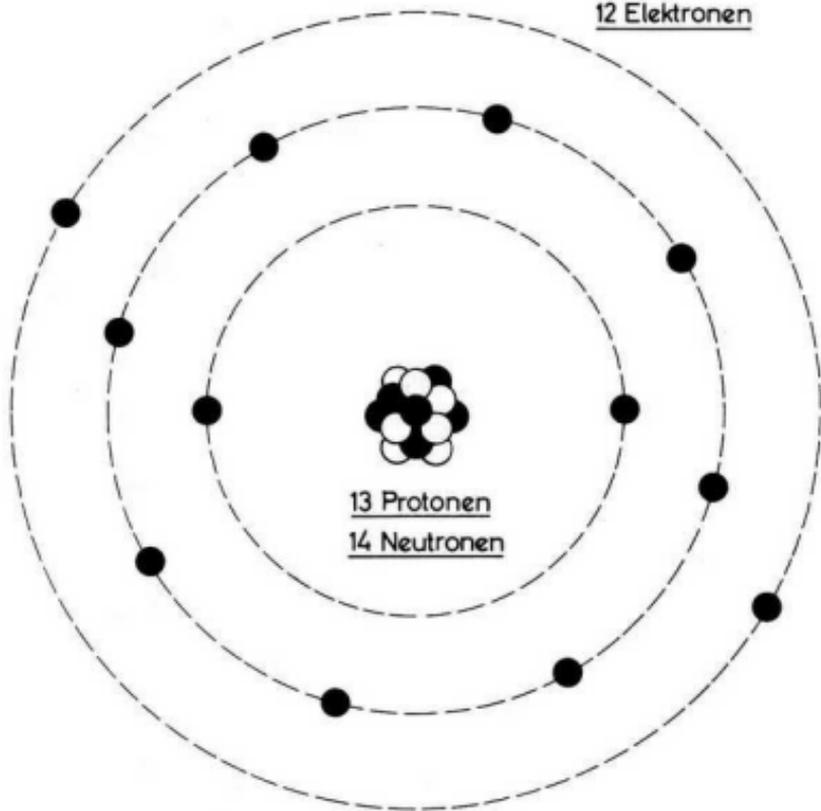


Bild 3: Positives Aluminiumion

aussen negativ geladen; ein negatives Ion heisst *Anion*. Besitzt das Atom dagegen ein Elektron zu wenig, so überwiegt die Kernladung der Protonen, es wird zum positiven Ion. Positive Ionen nennt man *Kationen*. Bild 2 zeigt ein Beispiel für ein negatives Aluminiumion. Bild 3 dagegen zeigt ein positives Aluminiumion.

Ionen sind oft in Flüssigkeiten anzutreffen, als Anwendungsbeispiele werden wir später die Elektrolyse und den Akkumulator kennen lernen.

Unter bestimmten Bedingungen treten auch in Gasen Ionen auf, in der Neonröhre und in der Glimmlampe wird die Stromleitung mittels Ionen praktisch ausgewertet.

Elektronen sind nicht immer an einen Atomkern gebunden, in vielen Stoffen kommen diese frei vor und sind innerhalb des betreffenden Materials beweglich.

Elementarteilchen mit Ladungen gleicher Polarität stossen sich gegenseitig ab, während ungleichartige Ladungen sich gegenseitig anziehen. Demzufolge

müssten die Elektronen, die den positiv geladenen Atomkern umkreisen, von diesem angezogen werden und in den Kern hineinfallen. Auf die um den Atomkern kreisenden Elektronen wirkt jedoch, dank deren Masse, eine Fliehkraft. Diese Fliehkraft ist nun genau so gross wie die elektrische Anziehungskraft zwischen Atomkern und Elektron, die beiden Kräfte heben sich gegenseitig auf. Das Elektron zieht seine Bahnen, ohne in den Kern zu fallen. Die Zusammensetzung des Atomkernes scheint jedoch das Gesetz über die elektrischen Anziehungskräfte Lügen zu strafen, befinden sich doch im Atomkern auf engstem Raum positive Elementarteilchen, Protonen, beisammen. Aufgrund der elektrischen Kräfte, die in den gleichnamigen Ladungen wirksam werden, müsste der Atomkern eigentlich explodieren. Er tut dies nicht, weil im Kern Kräfte wirken, die weitaus stärker sind als die elektrischen Kräfte. Diese Kernkräfte verleihen der Atombombe, die nach dem Prinzip der Kernspaltung arbeitet, ihre ungeheure Explosionsenergie.

4. Das Wesentliche

Die gesamte Materie ist aus wenigen Elementarteilchen zusammengesetzt. Die wichtigsten Elementarteilchen sind die leichten, negativ geladenen Elektronen, die schweren, positiv geladenen Protonen und die schweren Neutronen, die keine Ladung aufweisen.

Protonen und Neutronen bilden den Atomkern, die Elektronen umkreisen diesen Kern. Das Atom ist normalerweise gegen aussen elektrisch neutral. Ionen sind Atome, deren Ladungsgleichgewicht zwischen Kern und Elektronen gestört ist.

5. Repetitionsaufgaben (Lösung Seite 413)

- Was versteht man unter einem Molekül?
- Zeichnen Sie den Aufbau eines Atoms mit acht Protonen und acht Neutronen im Atomkern.
- Was versteht man unter einem chemischen Element?
- Wieviele chemische Elemente gibt es?
- Wie heissen die drei wichtigsten Elementarteilchen und welches sind deren Eigenschaften?
- Unter welchen Bedingungen wird ein Atom zum Ion?
- Welches ist der Unterschied zwischen Anionen und Kationen?
- Wo spielen die Ionen in der Elektrotechnik eine Rolle?
- Warum bewirken die elektrischen Abstossungskräfte innerhalb des Atomkernes zwischen den Protonen keine Explosion?
- Warum werden die negativen Elektronen von der positiven Kernladung nicht angezogen?
- Gibt es noch weitere Elementarteilchen als nur die bekannten Atombausteine?

II. Elektrizität

1. Einführung

Viele Erscheinungsformen der Elektrizität waren bereits in früheren Jahrhunderten bekannt, ohne dass man sich diese Phänomene erklären konnte. Später nutzte man die Wirkungen der Elektrizität aus, man baute elektrische Geräte, ohne die genauen Ursachen für deren Funktionieren zu kennen. Im folgenden Abschnitt wollen wir uns mit dem Wesen der Elektrizität auseinandersetzen.

2. Was wissen Sie schon über die Elektrizität? (Lösung Seite 415)

- Ist Kupfer ein elektrischer Leiter?
- Welche Eigenschaften weist ein Isolator auf?
- Welche Elementarteilchen sind in einem metallischen Leiter die eigentlichen Träger des elektrischen Stromes?
- Damit in einem Leiter ein elektrischer Strom fließen kann, muss eine treibende Kraft vorhanden sein. Geben Sie ein Beispiel für die Ursache eines elektrischen Stromes.
- Ist ein elektrischer Strom in Gasen möglich?
- Kennen Sie ein Beispiel für den Stromfluss in Flüssigkeiten?

3. Das Wesen der Elektrizität

In festen Körpern können sich die freien Elektronen bewegen. Unter dem Einfluss der Umgebungstemperatur führen die freien Elektronen unregelmässige Schwirrbewegungen aus. *Freie Elektronen* sind Elektronen, die sich in einem kristallinen aufgebauten Verband von Atomen frei bewegen. Die gesamthaft in einem Leiter vorhandenen freien Elektronen werden oft auch *Elektronengas* genannt, weil sie sich ähnlich wie Gas in einer Röhre verhalten. Da jedes Elektron seine elektrische Elementarladung besitzt, ist die Bewegung eines Elektrons gleichbedeutend mit der Bewegung einer elektrischen Ladung. Solange diese Bewegungen unregelmässig und unregelmässig erfolgen, lässt sich nach aussen hin in einem Leiter praktisch keine Wirkung feststellen. Gelingt es jedoch, die Elektronen gleichmässig in einer Richtung zu bewegen, kommt ein elektrischer Strom zustande. Ein elektrischer Strom fliesst nur dann, wenn im betreffenden Stoff genügend freie Elektronen vorhanden sind. Die Zahl der freien Elektronen ist ein direktes Mass für die Leitfähigkeit eines Stoffes. Sie bestimmt somit die ganze Skala vom besten *Leiter* über schlechte Leiter zu den *Halbleitern* und den *Isolatoren*.

Kupfer ist der meistverwendete Leiter in der Elektrotechnik. Noch bessere Leitereigenschaften weist das Silber auf (bester Leiter). Aluminium ein etwas schlechterer Leiter als Kupfer wird verwendet, wo der Kupferpreis zu sehr ins Gewicht fällt (Höchstspannungs-Verteilnetz). Versilberte Leitungen werden verwendet, wo es auf maximale Oberflächenleitung ankommt, nämlich bei Höchstfrequenzen. Gold als Leitermetall wird auch als Überzug von Leitern oder Kontakten verwendet, trotzdem es einen gegenüber dem Silber etwas vergrösserten Widerstand aufweist (vergleichbar mit Aluminium), weil es als edelstes Metall nicht oxydiert.

Die elektrische Leitung ist temperaturabhängig. Die Temperatur ist ein Mass für die Schwirrbewegung der freien Elektronen sowie der Atomreste, welche eine Schwingbewegung um ihre Ruhelage im Kristallgitter ausführen. Je höher die Temperatur, desto höher die Schwingamplitude. Je grösser aber die Schwingamplituden werden, umso mehr sind die Elektronen durch Zusammenstösse unter sich und mit den Atomresten, behindert. Dem Fliessen von Ladungen wird somit ein mit der Temperatur steigender Widerstand entgegengesetzt.

In den Halbleitern nimmt mit steigender Temperatur – im Gegensatz zu den Leitern – die Leitfähigkeit beträchtlich zu. Das Halbleitermaterial gehorcht zwar dem gleichen Gesetz des mit der Temperatur zunehmenden Widerstandes. Doch werden hier bei zunehmender Schwingamplitude der Atome einzelne zusätzliche Elektronen aus ihrer festen Bindung herausgeschleudert und nehmen damit an der Stromleitung teil: Die zunehmende Zahl freier Elektronen bewirkt eine höhere Leitfähigkeit, welche die Abnahme der Leitfähigkeit durch die Temperaturbewegung übertrifft. Die bekanntesten Halbleitermaterialien sind Germanium und Silizium. Es sind dies die Grundstoffe, die zur Herstellung von Transistoren und Halbleiterdioden dienen.

Es wird in keinem Leiter ein Strom fliessen, ohne dass eine Ursache für diesen Stromfluss vorhanden ist. Die Ursache für den elektrischen Stromfluss heisst *Potentialdifferenz*. Wir stellen uns zwei isoliert aufgestellte Kupferkugeln vor. Auf eine dieser Kugeln lassen wir von aussen her eine grosse Menge freier Elektronen fliessen. Der anderen Kugel führen wir eine bedeutend geringere Menge Elektronen zu. Beide Kugeln sind jetzt elektrisch geladen. Da eine Kugel mehr Elektronen aufweist als die andere, hat sich zwischen ihnen eine Potentialdifferenz aufgebaut. Da die Kugeln isoliert aufgebaut sind, bleibt diese Potentialdifferenz bestehen. Verbindet man beide Kugeln mit Hilfe eines Leiters, so fliessen von der Kugel mit dem Elektronenüberfluss solange Elektronen auf die Kugel mit der geringeren Ladung, bis die Potentialdifferenz verschwunden ist. Beide Kugeln weisen nun die gleich grosse Menge Elektronen auf. Im Leiter ist für die Dauer des Ladungsausgleiches ein elektrischer Strom geflossen. Wenn sich in einem Leiter Elektronen in gemeinsamer Richtung bewegen, spricht man von einem elektrischen Strom.

In der Praxis wird die Potentialdifferenz auf verschiedene Arten erzeugt; die Batterie der Taschenlampe, der Akkumulator des Motorfahrzeuges, der Gene-

rator des Kraftwerkes, sie alle erzeugen die Potentialdifferenz die notwendig ist, um den gewünschten elektrischen Strom fließen zu lassen.

Die Wirkung des elektrischen Stromes pflanzt sich im guten Leiter annähernd mit Lichtgeschwindigkeit fort. Das einzelne Elektron dagegen bewegt sich innerhalb des Leiters sehr langsam vorwärts. Der Stromfluss lässt sich am besten mit einer langen Röhre, die mit Kugellagerkügelchen gefüllt ist, vergleichen. Drücke ich an einem Röhrenende auf die Kügelchen, so macht sich der Druck am anderen Ende sofort bemerkbar, indem einige Kügelchen aus der Röhre herausfallen, obschon das einzelne Kügelchen innerhalb der Röhre nur einen ganz kurzen Weg zurückgelegt hat.

In festen Körpern wird ein elektrischer Strom ausschliesslich durch Elektronen verursacht, da die Ionen fest an ihre Standorte gebunden sind. In Flüssigkeiten dagegen wird der elektrische Strom hauptsächlich durch Ionen getragen; in Gasen können Ionen und Elektronen Träger des Stromes sein. Wir erinnern uns an das Beispiel der beiden Kupferkugeln, dort haben wir gesehen, dass ein Ausgleich der Ladungen stattfand. Elektronen und Ionen sind gleichwertige Ladungsträger, beide können Träger des elektrischen Stromes sein.

4. Das Wesentliche

Freie Elektronen und Ionen sind die Träger des elektrischen Stromes.

Wir unterscheiden zwischen Leiter, Halbleiter und Nichtleiter. Ein Leiter weist viele freie Elektronen auf, der Nichtleiter hat keine freie Elektronen, während der Halbleiter nur sehr schlecht leitend ist und seine Leitereigenschaften unter dem Einfluss der Temperatur ändert.

Bewegen sich Elektronen oder Ionen in einer gemeinsamen Richtung, so fließt ein elektrischer Strom.

Die Potentialdifferenz ist die Ursache des elektrischen Stromes.

5. Repetitionsaufgaben (Lösung Seite 416)

- Was verstehen Sie unter dem Ausdruck «Elektronengas»?
- Welches ist der Unterschied zwischen einem Leiter und einem Nichtleiter?
- Welche Bedeutung hat der Halbleiter für die Elektronik?
- Unter welchen Bedingungen fließt ein elektrischer Strom?
- Nennen Sie die Träger des elektrischen Stromes.
- Durch was unterscheidet sich der elektrische Strom in festen Leitern von demjenigen in Flüssigkeiten?
- Wie rasch pflanzt sich die Wirkung des elektrischen Stromes in einem guten Leiter fort?
- Welche Geräte dienen der Erzeugung einer elektrischen Potentialdifferenz?

III. Der elektrische Stromkreis

1. Einführung

In allen elektrotechnischen Einrichtungen, selbst in den allereinfachsten Geräten, finden wir Bauelemente, die zu einem Stromkreis zusammengeschaltet sind. Kein Bauteil ist in der Lage, für sich allein zu arbeiten. Die Kenntnis der Vorgänge in elektrischen Stromkreisen und deren Gesetze ist deshalb für das Verständnis der Elektronik eine Grundbedingung. Die Elektronik ist ein Fach, das grosse Anforderungen an das Vorstellungsvermögen stellt, viele Begriffe sind abstrakt und lassen sich oft nur mit Hilfe von Modellen aus der Mechanik verstehen. Für das Studium des elektrischen Stromkreises wird uns das Modell des geschlossenen Wasserstromkreises gute Dienste leisten. Wir werden dieses Modell überall dort verwenden, wo sich mit dessen Hilfe die Vorgänge anschaulich darstellen lassen.

2. Was wissen Sie schon über den elektrischen Stromkreis?

(Lösung Seite 416)

- a) Was ist ein elektrischer Strom?
- b) Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit ein elektrischer Strom fliesst?
- c) Welches ist die eigentliche Ursache für das Fliessen eines elektrischen Stromes?
- d) Mit welcher Einheit wird die elektrische Spannung gemessen?
- e) Was sagt das ohmsche Gesetz aus?
- f) Kennen Sie die Einheit für den elektrischen Widerstand?
- g) Wann brennt in der Haushaltung eine Sicherung durch?

3. Der elektrische Stromkreis und seine Kenndaten

a. Der Wasserkreislauf als Modell für den elektrischen Stromkreis

Der Höhenunterschied zwischen dem Stausee und der Turbine bestimmt den Druck, den das Wasser auf die Schaufeln der Turbine ausübt. Die Bauart der Turbine und der Querschnitt der Wasserleitung bestimmen zusammen mit dem Druck die Wassermenge, welche pro Zeiteinheit durch das System fliesst. Druck und Wassermenge pro Zeiteinheit ergeben zusammen die Leistung der Turbine. Je grösser Druck und Wassermenge pro Zeiteinheit sind, desto grösser wird die Leistung der Turbine. Ähnlich verhält es sich mit dem elektrischen Stromkreis. Die Potentialdifferenz, welche die Ursache des Stromflusses ist, entspricht dem Druck im Wasserstromkreis. Die Wassermenge pro Zeiteinheit, die durch die Wasserleitung fliesst, entspricht dem elektrischen Strom. Der Reibungswiderstand der Wasserleitung und der Widerstand der Turbine entsprechen dem Widerstand der Leitungsdrähte und dem Widerstand des Verbrauchers im elektrischen Stromkreis. Tabelle 1 zeigt die Gegenüberstellung

der Masseneinheiten des Wasserstromkreises mit den Masseneinheiten des elektrischen Stromkreises.

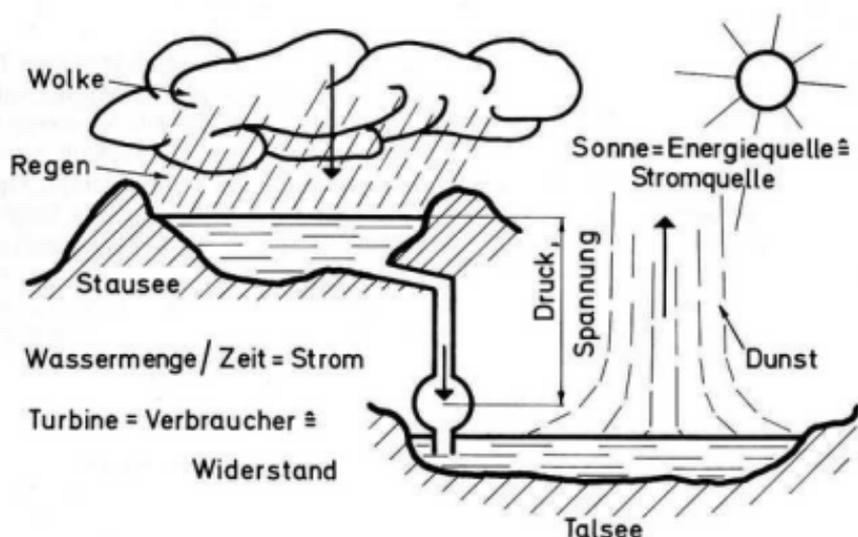


Bild 4: Wasserkreislauf und Stromkreis

Wasserstromkreis			Elektrischer Stromkreis		
Grösse	Mass-einheit	Formel-zeichen	Grösse	Mass-einheit	Formel-zeichen
Druck	N/m ² od. N/cm ²	p	Spannung	Volt V	U
Strom	m ³ /s		Strom	Ampère A	I
Reibungs-widerstand	N	F	Widerstand	Ohm Ω	R
Leistung	W	P	Leistung	Watt W	P
Arbeit	J	W	Arbeit	Watt-sekunden Ws	W

Tabelle 1

b. Die Masseinheiten

Die Tabelle 1 macht uns mit verschiedenen Masseinheiten bekannt. Es gibt verschiedene Systeme für die Masseinheiten. In der Elektrotechnik hat sich das System mit den vier *Grundeinheiten* Meter, Sekunde, Kilogramm und Ampère bewährt. Mit diesen Grundeinheiten lassen sich alle Grössen der Elektrotechnik beschreiben.

In früheren Zeiten wurden dafür viele weitere Einheiten verwendet. Diese Einheiten sind in Fachbüchern und Gerätebeschreibungen noch oft anzutreffen. Wir werden uns an die vier Grundeinheiten halten und die alten Masseinheiten lediglich der Vollständigkeit halber aufzeichnen, um auch das Studium älterer Unterlagen zu ermöglichen.

Das Mass-System, das für die Belange der Elektrotechnik mit den vier Grundeinheiten Meter, Sekunde, Kilogramm und Ampère auskommt, heisst **Giorgi-System**.

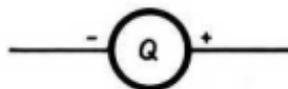
c. Die elektrische Spannung

In unserem Modell haben wir die *elektrische Spannung* mit dem Druck verglichen. Die Spannung verursacht in einem Stromkreis den Stromfluss. Die Potentialdifferenz wird durch die Spannungsquelle erzeugt. In Spannungsquellen werden Elektronen vom Plus- zum Minuspol verlagert. Die bekanntesten Spannungsquellen sind: Trockenbatterie, Akkumulator und Generator. Gleichspannungsquellen sind gepolt, sie weisen einen Minuspol und einen Pluspol auf. Am Minuspol herrscht ein Elektronenüberschuss, am Pluspol ein Elektronenmangel.

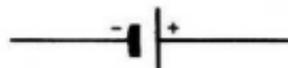
Die Einheit der Spannung ist das *Volt*. Die Abkürzung für das Volt lautet: V
In Formeln wird für Spannungen der Buchstabe *U* verwendet (aus dem Französischen: *Utilité* = Nützlichkeit, Verwertbarkeit).

Schaltzeichen:

Spannungsquelle
allgemein



Batterie oder
Akkumulator



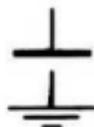
Leiter



Verbindung von
Leitern



Massenanschluss



Erdung

Bild 5: Schaltzeichen

Die Spannungswerte in Stromkreisen sind je nach der Art der Anlage sehr unterschiedlich. Es gibt Stromkreise, in denen Spannungen auftreten, die eine grössere Masseinheit für die Spannungsangabe erfordern. Ebenso können Spannungen in Erscheinung treten, die in einer kleineren Einheit als in Volt angegeben werden müssen. Diese Forderung gilt für die meisten Einheiten der Elektrotechnik. Zur Vereinfachung der Schreibweise hat man deshalb folgende Kurzbezeichnungen eingeführt:

1 Billionstel	= 1 Pico	= 1 p	= $1 \cdot 10^{-12}$
1 Milliardstel	= 1 Nano	= 1 n	= $1 \cdot 10^{-9}$
1 Millionstel	= 1 Mikro	= 1 μ	= $1 \cdot 10^{-6}$
1 Tausendstel	= 1 Milli	= 1 m	= $1 \cdot 10^{-3}$
1 Tausend	= 1 Kilo	= 1 k	= $1 \cdot 10^{+3}$
1 Million	= 1 Mega	= 1 M	= $1 \cdot 10^{+6}$
1 Milliarde	= 1 Giga	= 1 G	= $1 \cdot 10^{+9}$

Auf die Einheit der Spannung übertragen ergeben sich folgende Beispiele:

1 millionstel Volt	= 1 Mikrovolt	= 1 μ V
1 tausendstel Volt	= 1 Millivolt	= 1 mV
1 Tausend Volt	= 1 Kilovolt	= 1 kV
1 Million Volt	= 1 Megavolt	= 1 MV

Tabelle 2 zeigt einige Beispiele über die Grösse von Spannungen, wie sie in der Praxis vorkommen.

Spannungsquelle	Wert der Spannung
Empfangsantenne	0,5 bis 500 μ V
Mikrophone	1 bis 100 mV
Tonabnehmer	20 bis 400 mV
Taschenlampenbatterien	1,5 bis 6 V
Autoakkus	6 bis 24 V
Telephonanlagen	48 V
Lichtnetz	220 V
Kraftnetz	380 V
Überlandnetz	150 bis 380 kV
Spannungen für Bildröhren in Fernsehempfängern	16 kV
Laboranlagen	mehrere MV

Tabelle 2

Elektrische Spannungen können lebensgefährlich sein!

Die Spannungsgrenze, die als lebensgefährlich betrachtet wird, ist in verschiedenen Ländern verschieden hoch angesetzt. Die Höhe der Spannung, die ein Mensch ertragen kann, ohne ernsthaften Schaden zu nehmen, hängt zur Hauptsache von seiner Konstitution und von der Feuchtigkeit seiner Haut ab. Unter ungünstigen Verhältnissen kann bereits eine Spannung unter hundert Volt tödlich wirken. *Beim Experimentieren mit Spannungsquellen ist deshalb immer äusserste Vorsicht angebracht.*

d. Der elektrische Strom

Der *elektrische Strom* entsprach im Modell der geflossenen Wassermenge pro Zeiteinheit. Im Stromkreis kann die Stromstärke ermittelt werden, indem man die Elektronenmenge misst, die während einer bestimmten Zeit durch den Leiter geflossen ist. Die Elektronenmenge entspricht der Wassermenge im Wasserkreis.

Die Einheit für den Strom ist das *Ampère*. Die Abkürzung für das Ampère lautet: A

In Formeln wird für den Strom der Buchstabe *I* verwendet (aus dem Französischen: Intensité).

Die Bewegungsrichtung der Elektronen im Stromkreis verläuft vom Minuspol zum Pluspol der Spannungsquelle. Bevor man sich über das Wesen des elektrischen Stromes Klarheit verschaffen konnte, wurde aufgrund einer Übereinkunft, einer Konvention, die Stromrichtung festgelegt. Man einigte sich damals auf folgende Regel:

Der Strom fliesst im Gleichstromkreis vom Pluspol zum Minuspol der Spannungsquelle.

Heute wissen wir, dass diese Annahme falsch war. Trotzdem hält man an dieser Regel fest, da alle Regeln über die Richtung der Magnetfelder in Elektromagneten, Motoren und Generatoren auf dieser *konventionellen Stromrichtung* basieren.

Wenn wir einen Stromkreis untersuchen, arbeiten wir mit der konventionellen Stromrichtung; beschäftigen wir uns jedoch mit physikalischen Vorgängen im Zusammenhang mit Bauelementen, beispielsweise Röhren, so arbeiten wir mit der Richtung des Elektronenstromes.

Für die Stromeinheit werden die gleichen Kurzbezeichnungen verwendet wie für die Spannungseinheiten.

Tabelle 3 zeigt einige Beispiele über die Grösse von Strömen, wie sie in der Praxis vorkommen.

Anlage	Wert des Stromes
Empfangsantenne	0,01 bis 1 μ A
Mikrophone	0,01 bis 100 mA
Glühlampen in Taschenlampen	100 bis 500 mA
Transistoren	0,1 mA bis 10 A
Haushaltapparate	1 bis 15 A
Autoanlasser	50 bis 100 A
Kraftwerke	bis 50 kA
Elektroöfen	bis 100 kA

Tabelle 3

e. Der elektrische Widerstand

Der *elektrische Widerstand* entspricht dem Leitungswiderstand des Wasserrohres und dem Widerstand der Turbine. Das Wasser wird an den Wandungen

der Leitung gebremst, die Schaufeln der Turbine verursachen eine weitere Bremsung des Wasserstromes. Ähnlich verhält es sich mit dem elektrischen Strom. Die Elektronen werden im Leiter durch die unbeweglichen Atome und Ionen gebremst, im Verbraucher, beispielsweise in einer Glühlampe, wird den Elektronen der Durchgang erneut erschwert. Die Summe der Leitungswiderstände und des Verbraucherwiderstandes ergibt den Gesamtwiderstand des Stromkreises. Der Widerstand hängt von der Art des Leiters und von der Grösse des Verbrauchers ab. Eine Leitung mit geringem Querschnitt wird dem Wasser einen grösseren Widerstand entgegensetzen als eine solche mit einem grossen Querschnitt. Eine Turbine mit kleiner Durchlassöffnung wird einen grösseren Widerstand erzeugen als ein anderes Modell mit einem grossen Durchlassquerschnitt.

Die Einheit für den Widerstand ist das *Ohm*. Die Abkürzung für das Ohm lautet Ω (Griechischer Buchstabe «Omega»)

In Formeln wird für Widerstände der Buchstabe *R* verwendet (aus dem Französischen: Résistance).

Schaltungssymbol für den Widerstand:



Bild 6: Widerstandssymbol

Oft kommt es vor, dass man an Stelle des Widerstandes dessen *Leitwert* bestimmt. Unter dem Leitwert eines Widerstandes versteht man dessen Reziprokwert.

Die Einheit für den Leitwert ist das Siemens. Die Abkürzung für das Siemens lautet: S

In Formeln wird für Leitwerte der Buchstabe *G* verwendet.

f. Das ohmsche Gesetz

Das ohmsche Gesetz beschreibt die Zusammenhänge zwischen Strom, Spannung und Widerstand im Stromkreis.

Wird im Wasserkreislauf der Druck erhöht, so steigt die Durchlaufmenge an; erweitert man bei gleichbleibendem Druck den Leitungsquerschnitt und die Durchlassöffnung der Turbine, so steigt die Durchlaufmenge ebenfalls an. Genau gleich verhält sich der elektrische Stromkreis.

Wird die Spannung bei gleichbleibendem Leitungswiderstand und gleichbleibendem Verbraucher erhöht, so wird im Kreis ein grösserer Strom fliessen. Wird die Spannung unverändert belassen, verkleinert man jedoch den Widerstand, so wird der Strom wiederum zunehmen.

Bild 7 zeigt einen geschlossenen Stromkreis, bestehend aus Spannungsquelle und Verbraucher. Parallel zur Spannungsquelle befindet sich ein Messinstrument, das den Wert der Spannung misst. In den Stromkreis wurde ein Messinstrument geschaltet, das den Stromwert angibt.

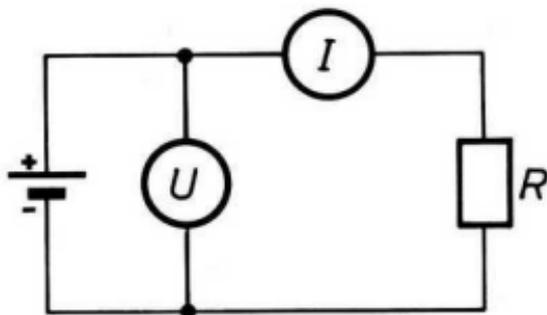


Bild 7: geschlossener Stromkreis

Die Bedingungen im Stromkreis werden durch das ohmsche Gesetz wie folgt formuliert:

$$U = R \cdot I$$

g. Die elektrische Leistung

Die Leistung der Wasserturbine hängt vom Druck des Wassers und von der Wassermenge, die pro Zeiteinheit durch diese fliesst, ab. Die abgegebene Leistung der Turbine steigt proportional mit dem Wasserdruck und der Wassermenge pro Zeiteinheit an. Analog dazu verhält sich die Leistung im elektrischen Stromkreis. Im Widerstand wird die elektrische Leistung in Wärme umgesetzt. Je grösser Strom und Spannung werden, desto grösser wird die *Leistung*, desto wärmer wird der Widerstand. Die elektrische Leistung ist der angelegten Spannung und dem fliessenden Strom proportional.

Die Einheit für die elektrische Leistung ist das *Watt*. Die Abkürzung für das Watt lautet: *W*

In Formeln wird für die Leistung der Buchstabe *P* verwendet (*puissance*).

Die Leistungsformel für Gleichstromkreise lautet:

$$P = U \cdot I$$

P = Leistung in Watt

U = Spannung in Volt

I = Strom in Ampère

Für die Leistungseinheit werden die gleichen Kurzbezeichnungen verwendet wie für die Spannungs- und Stromeinheiten.

Tabelle 4 zeigt einige Beispiele über die Grösse von Leistungen, wie sie in der Praxis vorkommen.

Anlage	Wert der Leistung
Empfangsantennen	Bruchteile von mW
Kopfhörer	einige mW
Glühlampen	einige W... 1 kW
Tragbare Heizöfen	1 bis 2 kW
Bahnen	einige 100 kW
Elektro-Schmelzöfen	einige MW

Tabelle 4

h. Die elektrische Arbeit

Wenn die Turbine während einer gewissen Zeit Leistung abgegeben hat, so hat sie eine bestimmte Arbeit erbracht. Arbeit ist das Produkt aus Leistung mal Zeit. Wird ein elektrischer Heizofen für eine bestimmte Zeit in Betrieb genommen, so nimmt dieser aus dem Lichtnetz eine Arbeit auf. Diese Arbeit haben wir dem Elektrizitätswerk zu bezahlen; wir bezahlen Kilowattstunden. Eine Kilowattstunde wird dann bezogen, wenn beispielsweise ein Heizofen mit einer Leistungsaufnahme von 2 Kilowatt während dreissig Minuten angeschaltet bleibt.

Die Einheit für die elektrische Arbeit ist die *Wattsekunde*. Die Abkürzung dafür lautet: *Ws*

In Formeln wird für die Arbeit der Buchstabe *W* verwendet.

Für die elektrische Arbeit sind weiter gebräuchlich die Wattstunde (*Wh*) und die Kilowattstunde (*kWh*).

In Physikbüchern trifft man oft auf die Arbeitseinheit *Joule*. 1 Joule (*J*) entspricht einer Wattsekunde (*Ws*).

Die Formel für die Arbeit lautet allgemein:

$$W = P \cdot t$$

W = Arbeit in Wattsekunden bzw. in Wattstunden

P = Leistung in Watt

t = Zeit in Sekunden (Stunden)

4. Beispiele

a. Berechnung des Widerstandes

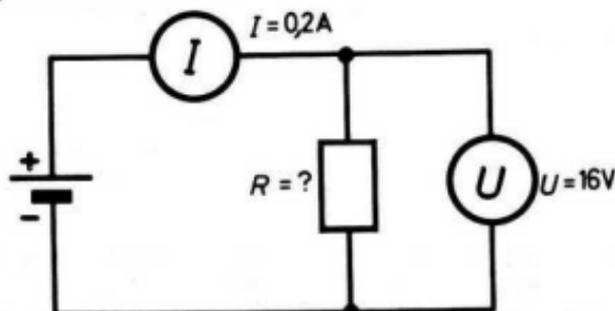


Bild 8

Bild 8 zeigt einen Stromkreis. Mit Hilfe des Ampèremeters wird der Strom und mit Hilfe des Voltmeters die Spannung gemessen. Gesucht ist der Wert des Widerstandes.

Vorgehen:

- Grundformel anschreiben $U = R \cdot I$
- Grundformel nach R umstellen $R = \frac{U}{I}$
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen $R = \frac{16 \text{ V}}{0,2 \text{ A}}$
 $R = 80 \Omega$

Wir wollen diese Art des Vorgehens für die Lösung aller Aufgaben anwenden. Sobald die Ausrechnungsformeln etwas umfangreicher werden, verliert man leicht die Übersicht, es ist deshalb angebracht, Zahlenwerte und Masseinheiten zu trennen, wir schreiben links die Zahlenwerte und rechts die Einheiten an. Dieses Verfahren hat zudem den grossen Vorteil, dass Fehler in der Aufstellung der Formel leicht erkannt werden, da die Einheitenprobe nicht stimmt. Wir haben gelernt, dass die Elektronik mit den vier Grundeinheiten Meter, Sekunden, Kilogramm und Ampère auskommt. Zur Vereinfachung wird in der Elektrotechnik das Volt (V) eingeführt: $V = \text{m}^2\text{kg}\text{s}^{-3}\text{A}^{-1}$; ($1\text{VAs} = 1\text{Ws} = 1\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$). Obiges Beispiel zeigt uns, dass die Einheit Ohm nichts anderes darstellt als den Quotienten Volt durch Ampère, wir haben demzufolge mit dem Ohm keine neue Einheit eingeführt.

b. Berechnung des Stromes

Bild 9 zeigt einen Widerstand als Verbraucher. Der Strom ist zu bestimmen.

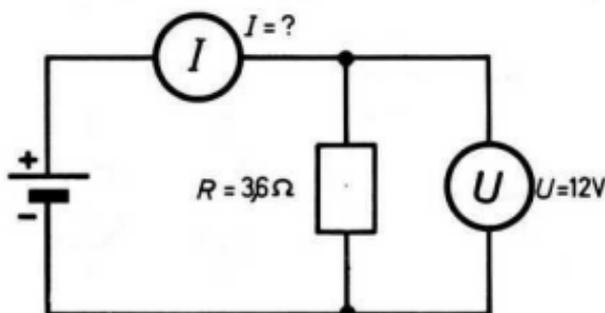


Bild 9

Vorgehen:

- Grundformel anschreiben
- Grundformel nach I umstellen
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{12 \text{ V} \cdot \text{A}}{3,6 \text{ V}}$$

$$I = 3,33 \text{ A}$$

c. Berechnung der Spannung

In Bild 10 ist die Spannung zu bestimmen.

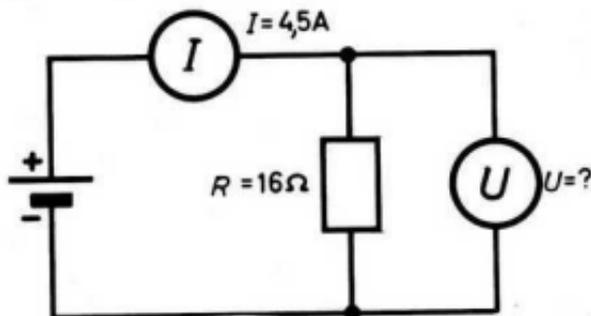


Bild 10

Vorgehen:

- Grundformel anschreiben
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$U = R \cdot I$$

$$U = 16 \cdot 4,5 \frac{\text{V} \cdot \text{A}}{\text{A}}$$

$$U = 72 \text{ V}$$

d. Berechnung der Leistung und der Arbeit

Bild 11 zeigt einen Widerstand, welcher an 12 V liegt. Er bleibt während 20 min eingeschaltet. Bestimmen Sie die Leistung des Widerstandes und die geleistete Arbeit.

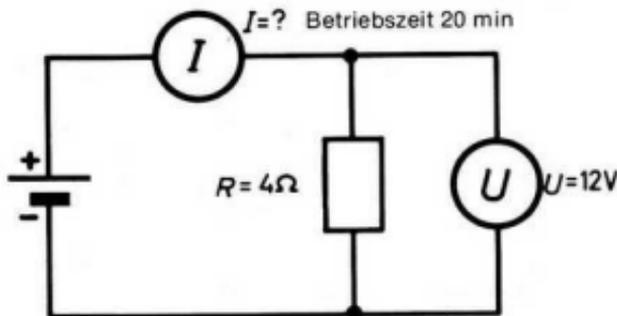


Bild 11

Vorgehen: (für die Berechnung der Leistung)

- Grundformel anschreiben
- Grundformel für das ohmsche Gesetz anschreiben
- Grundformel nach I umstellen
- diese Gleichung in die erste Grundformel einsetzen

$$P = U \cdot I$$

$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (P = U \cdot \frac{U}{R})$$

$$[P] = V \cdot V \cdot \frac{A}{V} = V \cdot A = W$$

$$P = \frac{12 \cdot 12}{4}$$

$$P = 36 \text{ W}$$

- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

Die Einheit Volt mal Ampère wird in Watt ausgedrückt.

Vorgehen: (für die Berechnung der Arbeit)

- Grundformel anschreiben
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$W = P \cdot t$$

$$W = 36 \cdot \frac{1}{3} \text{ W} \cdot \text{h}$$

$$W = 12 \text{ Wh}$$

Das Resultat erscheint einfacher, wenn wir an Stelle der Sekunden mit Stunden rechnen.

5. Das Wesentliche

Für die Belange der Elektrotechnik genügen vier Einheiten: Meter, Sekunde, Volt und Ampère.

Im Gleichstromkreis spielen fünf Begriffe eine Rolle:

- Die *Spannung* verursacht den Stromfluss, sie wird in Volt gemessen und ist mit dem Druck im Wasserkreislauf vergleichbar.
- Der *Strom* entspricht einer bestimmten Menge geflossener Ladungsträger pro Zeiteinheit, er wird in Ampère gemessen und ist mit der geflossenen Wassermenge pro Zeiteinheit im Wasserkreislauf zu vergleichen.
- Der *Widerstand* setzt dem Strom einen Widerstand entgegen, er wird in Ohm gemessen und ist mit dem Reibungswiderstand der Wasserleitung vergleichbar. Seinen Kehrwert nennt man *Leitwert*, er wird in Siemens gemessen.
- Die *Leistung* ist das Produkt aus Strom und Spannung, ihre Masseinheit ist das Watt. Ein Watt entspricht einem Volt mal einem Ampère.

– Die *Arbeit* ist das Produkt von Leistung und Zeit. Sie wird in Wattsekunden gemessen.

Das *ohmsche Gesetz* gibt Auskunft über die Zusammenhänge zwischen Spannung, Strom und Widerstand im Stromkreis. Die Grundformel lautet: $U = R \cdot I$.

6. Repetitionsaufgaben (Lösung Seite 417)

- Nennen Sie die vier Einheiten für die Bedürfnisse der Elektronik im Giorgi-System.
- Erstellen Sie eine Tabelle mit allen Abkürzungen für kleine und grosse Ströme und Spannungen.
- Was verstehen Sie unter dem Begriff «Leitwert»?
- Welches ist die Masseinheit für die elektrische Leistung?
- Geben Sie die Masseinheiten für Spannung, Strom und Widerstand an, und nennen Sie die äquivalenten Begriffe für das Modell des Wasserkreislaufes.
- Ermitteln Sie im Bild 12 die Spannung, die Leistung, die im Widerstand R umgesetzt wird, die Arbeit, die die Spannungsquelle während einer Betriebsdauer von 25 min liefert und den Leitwert des Widerstandes.

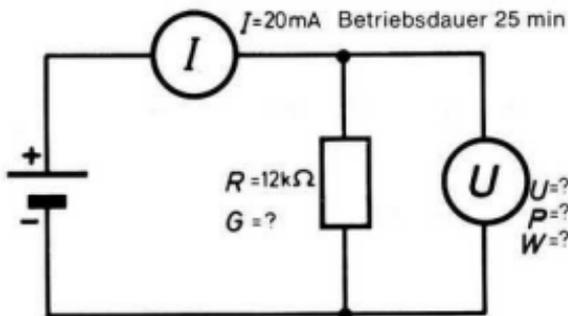


Bild 12

- Ermitteln Sie für die Schaltung nach Bild 13 die Leistung, die in den Widerständen R_1 und R_2 verbraucht wird. Wie gross sind die Ströme I_2 und I_3 ? Wie gross ist R_2 ? Wir gehen von der Voraussetzung aus, dass die Ampèremeter einen vernachlässigbar kleinen Innenwiderstand aufweisen.

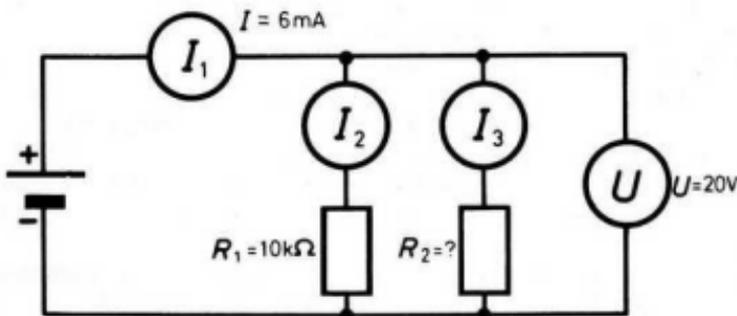


Bild 13

h) Ermitteln Sie in Bild 14 folgende Werte:

- Spannung der Batterie U_b
- Die Widerstände R_1 , R_2 und R_4
- Die Spannung U_4
- Die Leistung, die in den Widerständen R_1 , R_2 , R_3 und R_4 umgesetzt wird.
- Strom I_3

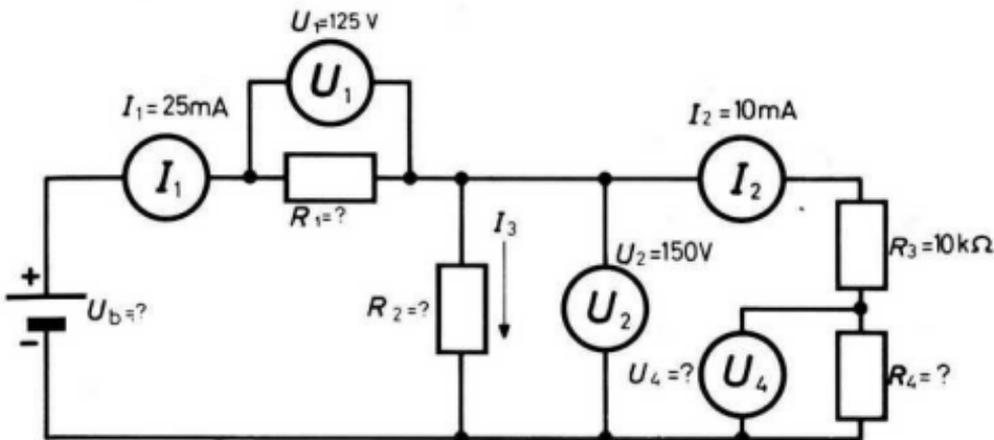


Bild 14