

MINISTERRAT DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK  
MINISTERIUM FÜR VOLKSBILDUNG

---

Pläne für den fakultativen  
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht  
in der Erweiterten Oberschule

Lehrgang Festkörperphysik

Lehrgang Grundsaltungen und Bauelemente  
der Elektronik

Lehrgang Elektronenstrahloszillograph und  
seine Anwendung

Ministerrat der Deutschen Demokratischen Republik

Ministerium für Volksbildung

---

Pläne für den fakultativen  
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht  
in der Erweiterten Oberschule

Lehrgang Festkörperphysik

Lehrgang Grundsohaltungen und Bauelemente  
der Elektronik

Lehrgang Elektronenstrahloszillograph und  
seine Anwendung

ES 10 C · Bestell-Nr. 02 30 10-1 · Lizenz Nr. 203 · 1000/69 (E)

Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin

Druck: Staatsdruckerei der Deutschen Demokratischen Republik

# Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Lehrgang Festkörperphysik</b>	5
<b>Teillehrgang I</b>	11
<b>Teillehrgang II</b>	• 18
<b>Lehrgang Grundsaltungen und Bauelemente der Elektronik</b>	28
<b>Lehrgang Elektronenstrahloszillograph und seine Anwendung</b>	48

## Lehrgang Festkörperphysik

Der Plan für den fakultativen  
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht  
in der Erweiterten Oberschule  
Lehrgang Festkörperphysik  
tritt am 1. September 1969  
in Kraft.

Berlin, April 1969

Ministerium für Volksbildung  
Prof. Dr. Kaiser  
Stellvertreter des Ministers

## Vorbemerkung

In diesem Lehrgang sollen die Schüler in wesentliche Grundlagen der Festkörperphysik (Kristallkunde, Röntgenstrukturanalyse, physikalische Reinigungsverfahren, Eigenschaften von Festkörpern) eingeführt werden. Die Einsichten der Schüler über die Erkennbarkeit der Welt sollen vertieft und gefestigt werden. Die Schüler sollen erfahren, daß die Anwendung der Ergebnisse der Festkörperphysik in der Technik von großer Bedeutung für die Weiterentwicklung unserer Volkswirtschaft ist. Sie sollen erkennen, daß die Festkörperphysik wesentliche Voraussetzungen für moderne Technologien, insbesondere bei der Herstellung elektronischer Bauelemente und integrierter Schaltungen schafft. Die Anwendung neuester Erkenntnisse aus der Festkörperphysik trägt in entscheidendem Maße mit dazu bei, die Elektronik und den wissenschaftlichen Gerätebau als strukturbestimmende Zweige unserer Volkswirtschaft zu entwickeln. Die Schüler sollen die Leistungen der sowjetischen Wissenschaftler auf dem Gebiet der Festkörperphysik, vor allem die Verdienste von A. F. JOFFE, kennenlernen.

Der Lehrgang baut auf dem Wissen und Können auf, das die Schüler im obligatorischen Physik- und Chemieunterricht der Klassen 9 bis 11 erworben haben. Insbesondere werden Kenntnisse über magnetische Felder, elektrische Leitungsvorgänge, elektromagnetische Schwingungen, über den Welle-Teilchen-Dualismus, über den Atombau und chemische Bindungen vertieft. Dabei sind den Schülern die Vorgänge im Festkörper auf der Grundlage des Energiebändermodells der Elektronenzustände zu erläutern. Es bestehen Möglichkeiten zur inhaltlichen Koordinierung mit der wissenschaftlich-praktischen Arbeit der Schüler, die auf der Grundlage der Rahmenprogramme Elektronik und BMSR-Technik tätig sind.

Der Lehrgang umfaßt zwei Teillehrgänge. Der Teillehrgang II baut auf dem Teillehrgang I auf und kann unter Berücksichtigung der materiellen Bedingungen in zwei Varianten unterrichtet werden. Die Variante A umfaßt die Stoffeinheiten

Elektronenleitung in Festkörpern,  
Herstellung von Transistoren,  
optische Eigenschaften von Festkörpern.

Die Variante B umfaßt die Stoffeinheiten

Elektronenleitung in Festkörpern,  
magnetische Eigenschaften von Festkörpern,  
thermoelektrische Eigenschaften von Festkörpern.

Zur Förderung der Selbsttätigkeit der Schüler stehen das weitgehend selbständige Aufbereiten des in den Klassen 9 bis 11 erworbenen Wissens, das Einordnen dieser Kenntnisse in größere Zusammenhänge, das Arbeiten mit Literatur und das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten von Experimenten im Mittelpunkt der Unterrichtsstunde.

Es ist zu empfehlen, einfache Experimente als Ausgangspunkt für das Vermitteln der Kenntnisse zu wählen. In diesem Lehrgang wird die Arbeit mit Modellen fortgesetzt. Die Festkörpereffekte sollen auf der Grundlage einfacher Modellvorstellungen erklärt werden.

Die Mehrzahl der im Plan angegebenen Experimente ist mit den an den Schulen vorhandenen Geräten und Materialien durchführbar. Fehlen in einigen Fällen bestimmte Geräte oder Materialien, so kann der Lehrer auf das jeweilige Experiment verzichten.

## Thematische Übersicht

Gesamtstundenzahl für den Lehrgang: 50 Stunden

### Teillehrgang I

25 Stunden

- |  |                  |
|--|------------------|
| 1. Einführung in den Lehrgang  | 2 oder 3 Stunden |
| 2. Kristallographie (Kristallkunde)  | 8 bis 11 Stunden |
| 2.1. Kristallbegriff   |                  |
| 2.2. Kristallgitter  |                  |
| 2.3. Bindungstypen in Kristallgittern  |                  |
| 2.4. Beispiele für Kristallstrukturen  |                  |
| 2.5. Realstruktur von Kristallen   |                  |
| 3. Kristallsüchtung  | 4 bis 6 Stunden  |
| 3.1. Kristallwachstum  |                  |
| 3.2. Züchtungsmethoden   |                  |
| 4. Röntgenstrukturanalyse  | 6 bis 8 Stunden  |
| 4.1. Braggsches Gesetz   |                  |
| 4.2. Experimentelle Verfahren der Röntgenstrukturanalyse                         |                  |
| 4.3. Bedeutung der Röntgenkristallbeugung für die Bestimmung von Naturkonstanten |                  |

### Teillehrgang II

25 Stunden

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1. Elektronenleitung in Festkörpern                           | 10 bis 12 Stunden |
| 1.1. Unterscheidung zwischen Leiter, Halbleiter und Isolator  |                   |
| 1.2. Energiebändermodell der Elektronenzustände im Festkörper |                   |
| 1.3. n- und p-Leitung   |                   |
| 1.4. pn-Übergang und Halbleiterdiode                          |                   |
| 1.5. pnp-Übergang und Transistor                              |                   |
| 2. Herstellung von Transistoren                               | 2 oder 3 Stunden  |

- |      |   |                   |
|------|---|-------------------|
| 3.   | Optische Eigenschaften von Festkörpern                        | 10 bis 12 Stunden |
| 3.1. | Absorption elektromagnetischer Strahlung durch Festkörper     |                   |
| 3.2. | Lumineszenz (Fluoreszenz und Phosphoreszenz)                  |                   |
| 3.3. | Innerer Photoeffekt   |                   |
| 3.4. | Sperrschichtphotoeffekt                                       |                   |
| 3.5. | Messung von Lichtquanten mit dem Photovervielfacher           |                   |
| 3.6. | Festkörper-Laser und seine Anwendung zur Mikrospektralanalyse |                   |
| 4.   | Magnetische Eigenschaften von Festkörpern                     | 8 bis 10 Stunden  |
| 4.1. | Magnetisierung von Festkörpern                                |                   |
| 4.2. | Ferro- und Ferrimagnetismus                                   |                   |
| 4.3. | Magnetkern- und Magnetbandspeicherung                         |                   |
| 5.   | Thermoelektrische Eigenschaften von Festkörpern               | 3 bis 5 Stunden   |
| 5.1. | Thermoelektrischer Effekt                                     |                   |
| 5.2. | Peltier-Effekt  |                   |

Bemerkung zum Teillehrgang II:

Variante A: Stoffeinheiten 1, 2, 3

Variante B: Stoffeinheiten 1, 4, 5

Teillehrgang I

25 Stunden

1. Einführung in den Lehrgang

2 oder 3 Stunden

In dieser Stoffeinheit sollen die Schüler mit dem Gegenstand, den Aufgaben und Fragestellungen der Festkörperphysik bekanntgemacht werden. Anhand von Beispielen aus dem Erfahrungsbereich der Schüler soll erläutert werden, daß wichtige Eigenschaften von Festkörpern, die in der Technik genutzt werden, durch den Kristallaufbau und seine theoretischen Grundlagen erklärt werden können. In diesem Zusammenhang soll auf den Stand und auf die Entwicklungstendenzen der Elektronik in unserer Republik eingegangen werden. Die Leistungen der sowjetischen Wissenschaftler auf dem Gebiet der Festkörperphysik sind zu würdigen.

Methodisch kann so vorgegangen werden, daß anhand von Bauelementen oder Baugruppen eines Gerätes die jeweils genutzten Festkörpereigenschaften erarbeitet werden.

Unterscheidung von Metallen, Halbleitern, Isolatoren; äußerer lichtelektrischer Effekt; Lichtemission eines Leuchtstoffes; Verhalten von Eisen im Magnetfeld (Wiederholung)

Zusammenhang zwischen Struktur der Festkörper und deren Eigenschaften

Überblick über die Entwicklung der Festkörperphysik

Notwendigkeit des Übergangs zur Mikroelektronik

Gegenwärtiger Entwicklungsstand der Elektronik: Miniaturisierung der Elektronenröhren, Verwendung von Halbleiterbauelementen, gedruckte Schaltungen

Entwicklungstendenzen: Integration von Schaltungen durch Anwendung von Halbleitertechnologie, Integration mittels Dünnschichttechnologie, Kombination beider Verfahren

2. Kristallographie (Kristallkunde)

8 bis 11 Stunden

In dieser Stoffeinheit wird an die Kenntnisse der Schüler über

das Atom (Größe, Schalenstruktur der Atomhülle, Bindungskräfte zwischen den Atomen) angeknüpft, die im Physik- und Chemieunterricht der Klassen 9 bis 11 erworben wurden. Die Schüler sollen erkennen, daß ein Kristall einen Gitterverband einer sehr großen Anzahl regelmäßig angeordneter Atome darstellt. Sie sollen eine Vorstellung von der Zahl der Atome in einem Makrokristall gewinnen.

Bei der Behandlung des Kristallgitters ist das Raumvorstellungsvermögen der Schüler weiterzuentwickeln. Das kann besonders bei den Symmetrieoperationen erreicht werden. Den Schülern ist bewußtzumachen, daß die Vielzahl der in der Natur vorkommenden Kristallformen auf wenige Grundformen zurückgeführt wird. Die Kennzeichnung der räumlichen Form einer Elementarzelle durch Zahlen ist herauszuarbeiten. Es sollten im Unterricht räumliche Modelle für die Elementarzellen verwendet werden. Diese Modelle können von den Schülern selbst angefertigt werden. Die Schüler sind auf den Zusammenhang zwischen der Fehlordnung des Kristalls und den wirklich auftretenden Kristalleigenschaften hinzuweisen.

## 2.1. Kristallbegriff

Regelmäßige Anordnung der atomaren Bausteine im Kristall  
Größenvorstellung über die Anzahl der in einem Makrokristall regelmäßig angeordneten Bausteine

Unterschied zwischen Polykristall und Einkristall

Problematik einer allgemeinen Definition des Festkörpers

Berechnen der Anzahl von Atomen in Makrokristallen,  
dabei Wiederholen des Molbegriffs und der Bedeutung  
der Loschmidtschen Zahl

Nennen von Stoffen, bei denen es schwer zu entscheiden ist, ob sie Festkörper sind oder nicht

## 2.2. Kristallgitter

Begriff des Kristallgitters und der Elementarzelle

Kristallographische Kennzeichnung von Gitterpunkten, Gitterachsen und Gitterebenen

Symmetrieeigenschaften von Kristallgittern (Drehung, Spiegelung)

Klassifikation der Kristallgitter (Bravaisgitter)

Herstellen von Modellen für Kristallgitterstrukturen

Verwenden der Modelle im Unterricht beim Erläutern der Kristallstrukturen

Vorführen der Symmetrieeigenschaften mit Hilfe der Modelle

Anfertigen von Zeichnungen einiger Elementarzellen  
Rechenübungen zur kristallographischen Kennzeichnung von Gitterpunkten, -achsen und -ebenen

### 2.3. Bindungstypen in Kristallgittern

Ionenkristalle, Ionenbeziehung, Gitterenergie

Kovalente Kristalle, Atombindung

Metallkristalle, metallische Bindung, freie Elektronen

Molekülkristalle, van der Waalsche Kräfte

Einfluß der Bindungsart auf physikalische Eigenschaften wie Schmelztemperatur, Siedetemperatur, elektrischer Widerstand und Härte

Klassifizieren der Stoffe nach ihrem Bindungscharakter

Aufsuchen der Werte für Schmelztemperatur, Siedetemperatur, spezifischen Widerstand aus Tabellenwerken

Erläutern des Zusammenhanges zwischen Bindungscharakter und den Stoffkonstanten anhand der vom Schüler ermittelten Werte

### 2.4. Beispiele für Kristallstrukturen

Gitter der kubisch dichtesten und hexagonal dichtesten Kugelpackung als Beispiele für Metallkristallstrukturen  
Diamantstruktur (Wiederholung), Natriumchloridstruktur (Wiederholung), Zäsiumchloridstruktur, Zinkblendestructur

Herstellen von Zeichnungen und Modellen für die aufgeführten Kristallstrukturen

Kennzeichnen von Gitterpunkten

### Experiment

Demonstrieren des Zustandekommens der kubisch dichtesten und

hexagonal dichtesten Kugelpackung

## 2.5. Realstruktur von Kristallen

Atomare Baufehler: Gitterfehlstellen, Zwischengitteratome, Fremdatome, Elektronenstörstellen

Bewegung atomarer Baufehler im Kristall

Problem der Reinheit von Kristallen (Halbleiterreinheit)

Prinzip physikalischer Reinigung von Kristallen (Umkristallisieren)

Notwendigkeit der Dotierung von Kristallen

Hinweis auf die Bedeutung atomarer Baufehler für die physikalischen Eigenschaften der Kristalle

Linien- und Flächenfehlordnungen: Stufen- und Schraubenversetzungen, Korngrenzen

## Experimente

Demonstrieren von Fehlordnungen mit Hilfe von Kugeln, die zu Gittern angeordnet werden

Sichtbarmachen von Fehlordnungen mit Hilfe von Ätzversuchen an Kristalloberflächen

## 3. Kristallzüchtung

4 bis 6 Stunden

\*\*\*\*\*

In dieser Stoffeinheit werden die Schüler mit den wichtigsten Verfahren bekanntgemacht, nach denen hochwertige Werkstoffe und die Vorprodukte der elektronischen Bauelemente hergestellt werden. Den Schülern soll deutlich werden, daß dem Kristallwachstum objektive Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen.

### 3.1. Kristallwachstum

Bildung von Kristallkeimen beim Abkühlen einer Lösung oder Schmelze

Existenz eines Bereiches der spontanen Keimbildung zwischen Sättigungskurve und Grenzkurve (Ostwald-Miers-Bereich), Bedeutung dieses Bereiches für das Kristallwachstum

Energiegewinn beim Anlagern von Ionen an verschiedenen Stellen (Oberfläche, Stufe, Wachstumsstelle) eines Kristallgitterblocks  
Begründung des regelmäßigen Kristallwachstums

### 3.2. Züchtungsmethoden

Kristallzüchtung aus Lösungen durch Temperaturerniedrigung, durch Verdampfen des Lösungsmittels, durch elektrolytische Abscheidungen

Kristallzüchtung aus der Schmelze, Zonenschmelzen

Hinweis auf ein anderes Verfahren, z. B. Kyropoulos-Verfahren

oder Bridgman-Stockbarger-Verfahren oder Czochralski-Verfahren

Hinweis auf industriell angewandte Methoden bei der Herstellung von Germanium-, Siliziumkristallen, Korunden, optischen Kristallen

Bedeutung der industriellen Kristallzüchtung

Angeben der erforderlichen Apparate und der Regelanrichtungen zur Kristallzüchtung

Diskussion zu einem Züchtungsverfahren

#### Experimente

Einfache Experimente zum Kristallwachstum

Züchten kleinerer Kristalle aus Lösungen, eventuell auch aus der Schmelze

### 4. Röntgenstrukturanalyse

6 bis 8 Stunden

\*\*\*\*\*

Die Röntgenwellen wurden bereits in der Klasse 10 behandelt. Auf die Beugung der Röntgenwellen an Kristallen wird im obligatorischen Unterricht der Klasse 11 eingegangen. Beim Erläutern der Beugung von Röntgenwellen kann an die bereits bekannte Beugung von Lichtwellen angeknüpft werden. Die Schüler sollen Vorstellungen von der Größe der Kristallgitterkonstanten und der Röntgenwellenlänge gewinnen. Quantitativ wird die Röntgenbeugung am einfachsten im Braggschen Gesetz erfaßt. Es ist zweckmäßig, erst im Anschluß an das Braggsche Gesetz auf die Laue-Gleichungen einzugehen.

Die praktische Aufnahme eines Röntgenbeugungsdiagramms (in einem in der Nähe gelegenen Instituts- oder Industrielaboratorium) ist zu empfehlen. Bei dieser Gelegenheit lassen sich den Schülern auch die apparativen Einzelheiten der Kristallbeugungsapparatur erklären.

Im Stoffabschnitt 4.3. soll auf die Bedeutung der Röntgenstrukturanalyse für die Bestimmung einiger Naturkonstanten eingegangen werden. Die Naturkonstanten  $a$  (Gitterkonstante),  $L$  (Loschmidt'sche Zahl),  $e$  (Elementarladung) hängen miteinander zusammen und werden mit höchster Genauigkeit aus Kristallgitterabmessungen bestimmt. Die Schüler sollen eine Vorstellung vom Grad der erzielten Genauigkeit in der Physik bekommen.

#### 4.1. Braggsches Gesetz

Eigenschaften der Röntgenstrahlen, Erzeugung, Spektren, Wellenlänge (Wiederholung)

Inhalt des Braggschen Gesetzes, Gitterkonstante, Gitterebene als Reflexionsebene

Ableitung des Braggschen Gesetzes aus der Beugung der Röntgenstrahlung am Kristallgitter, Laue-Gleichungen

Berechnen der maximalen Wellenlänge der Röntgenstrahlung aus der Beschleunigungsspannung

Berechnen von Glanzwinkeln mit Hilfe des Braggschen Gesetzes

#### 4.2. Experimentelle Verfahren der Röntgenstrukturanalyse

Prinzipieller Aufbau einer Apparatur zur Röntgenstrukturanalyse  
Laue-Verfahren, Drehkristallverfahren, Debey-Soherrerr-Verfahren

Erläutern der Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren der Strukturanalyse

Erkennen der Symmetrie eines Kristalls aus dem Laue-Diagramm

#### Experiment in Verbindung mit einer Exkursion

Herstellen einer Röntgenbeugungsaufnahme an einem Röntgenstrukturgerät

#### 4.3. Bedeutung der Röntgenkristallbeugung für die Bestimmung von Naturkonstanten

Rolle der Naturkonstanten in der Physik

Absolutbestimmung der Wellenlänge von Röntgenstrahlen

Beugung am Strichgitter bei kleinem Glanzwinkel

Bestimmung der Gitterkonstanten aus dem Braggschen Gesetz

**Bestimmung der Loschmidtschen Zahl aus der relativen Atommasse,  
der Dichte und der Gitterkonstanten**

**Bestimmung der Elementarladung aus der Faraday-Konstanten und der  
Loschmidtschen Zahl**

**Aufstellen eines Schemas, aus dem hervorgeht, in welcher  
Weise die einzelnen Naturkonstanten zusammenhängen (Gleichungen)  
und nach welchen Verfahren sie bestimmt werden**

**1. Elektronenleitung in Festkörpern**  
\*\*\*\*\*

10 bis 12 Stunden

Diese Stoffeinheit ist der Schwerpunkt im Teillehrgang II. Die Elektronenleitung in Festkörpern wurde bereits in der Klasse 9 behandelt. Die Vorstellungen der Schüler über die klassische Betrachtungsweise der Elektronenleitung sollen durch die atomtheoretische erweitert werden. Das in der Klasse 11 behandelte Atommodell bietet dafür die Voraussetzung. Die in dieser Stoffeinheit vermittelten Kenntnisse sollen genutzt werden, den Schülern zu zeigen, wie man aus der Messung makrophysikalischer Größen auf die mikrophysikalischen Vorgänge schließen kann.

Das Energiebändermodell soll anschaulich und gründlich eingeführt werden, da es Grundlage für das Verständnis der folgenden Stoffeinheiten ist. Die Vorgänge am pn- und am pnp-Übergang sind den Schülern mit Hilfe des Energiebändermodells zu erklären.

Anhand von Beispielen ist den Schülern zu zeigen, welche Umwälzung die Halbleiterbauelemente in der Elektronik und ihren Anwendungsgebieten hervorgerufen haben. Den Schülern ist bewußtzu machen, daß sich gegenwärtig ein Übergang zu integrierten elektronischen Schaltungen vollzieht.

**1.1. Unterscheidung zwischen Leiter, Halbleiter und Isolator**

Spezifischer Widerstand als Materialkonstante (Wiederholung)

Einteilung der Stoffe nach der Größe ihres spezifischen Widerstandes in Supraleiter, Leiter (Metalle), Halbleiter und Isolatoren

Unterscheidung zwischen Leiter und Halbleiter nach der Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur (Wiederholung)

Aufsuchen von spezifischen Widerständen in Tabellen  
Berechnen des Widerstandes eines Halbleiterwerkstückes  
Anfertigen einer logarithmischen Darstellung von spezifischen Widerständen

**Experimente**

Messen des elektrischen Widerstandes eines Halbleiters nach der

## Kompensationsmethode

Nachweisen der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Leitern und Halbleitern

### 1.2. Energiebändermodell der Elektronenzustände im Festkörper

Klassische Vorstellung über die Leitung in Metallen (Wiederholung)

Schalenmodell der Atomhülle (Wiederholung), Pauli-Prinzip  
Verbreiterung der Energieterme beim Zusammenlagern der Atome zum Kristallverband

Energiebänder: Valenzband, Leitungsband; verbotene Zone  
Elektronen im Leitungsband, Defektelektronen im Valenzband  
Energiebändermodell eines Metalls, eines Halbleiters und eines Isolators

Erklären des Auftretens von elektrischer Leitung in Metallen, von Eigenleitung in Halbleitern und der Existenz von Isolatoren mit Hilfe des Bändermodells  
Erklären der Temperaturcharakteristik von Metall und Halbleiter mit Hilfe des Bändermodells  
Erläutern der Bedeutung von Kristallfehlern für die Elektronenleitung im Kristall

### 1.3. n- und p-Leitung

Einbau von Elementen der V. Gruppe des Periodensystems in das Silizium- beziehungsweise Germaniumgitter

Donatorterme, n-Leitung

Einbau von Elementen der III. Gruppe des Periodensystems in das Silizium- beziehungsweise Germaniumgitter

Akzeptortерme, p-Leitung

### 1.4. pn-Übergang und Halbleiterdiode

Aufbau eines pn-Übergangs in einem Kristall

Entstehung der Diffusionsfeldstärke, Gleichrichtereffekt

Sperr- und Durchlasscharakteristik einer Halbleiterdiode

Technische Daten von Halbleiterdioden

Deuten der aufgenommenen Kennlinie einer Halbleiterdiode

Aufsuchen der wichtigsten technischen Daten für Dioden aus einem Katalog für Halbleiterbauelemente

## Experiment

Aufnahmen der Kennlinie einer Halbleiterdiode (Durchlaß- und Sperrichtung)

### 1.5. pnp-Übergang und Transistor

Aufbau eines pnp-Überganges in einem Kristall

Begriffe: Emitter, Basis, Kollektor

Auftreten von Diffusionsspannungen am pnp-Übergang

Wahl des Arbeitspunktes eines Transistors

Emitterschaltung,  $I_C$ - $U_{CE}$ -Kennlinien mit  $I_B$  als Parameter

Auftreten einer Leistungsverstärkung

Wahl eines Arbeitspunktes anhand der Kennlinie eines Transistors

Erläutern des Zustandekommens der Leistungsverstärkung

Abschätzen des Energieverbrauchs eines Transistors

## Experimente

Aufnahmen der  $I_C$ - $U_{CE}$ -Kennlinie von Transistoren

Ermitteln der Leistungsverstärkung eines Transistors

### 2. Herstellung von Transistoren

2 oder 3 Stunden

\*\*\*\*\*

Die Schüler sollen mit einigen Problemen der industriellen Fertigung von Bauelementen bekanntgemacht werden.

Als wichtigster Teil der Herstellung von Transistoren sind die technologischen Verfahren der Legierungs- und Diffusionstechnik zu nennen. Anhand der besprochenen Verfahren sollen die Schüler erkennen, daß es bei dieser Herstellung auf sauberes und präzises Arbeiten (Hochreinigung der Ausgangsmaterialien) sowie auf den Einsatz der Regeltechnik zur Beherrschung des Produktionsprozesses (Diffusions- und Legierungsverfahren) besonders ankommt.

Eigenschaften von Germanium und Silizium, die für die Herstellung von Transistoren von Bedeutung sind

Herstellung vorgereinigter Germanium- und Siliziumkristalle

Zonenschmelzen als Verfahren zur physikalischen Hochreinigung

**Mechanische Bearbeitung von Halbleiterkristallen  
Legierungs- und Diffusionstechnik  
Kontaktierung**

**Anfertigen einer schematischen Darstellung des  
Produktionsprozesses mit den wichtigsten Einzel-  
schritten**

**3. Optische Eigenschaften von Festkörpern 10 bis 12 Stunden**  
=====

In dieser Stoffeinheit sollen einige optische Eigenschaften von Festkörpern auf der Grundlage des Energiebändermodells erklärt werden. Dabei werden Kenntnisse über die Quanteneigenschaften des Lichtes genutzt, die im Zusammenhang mit dem äußeren lichtelektrischen Effekt im obligatorischen Unterricht erworben wurden. Die Schüler sollen erkennen, daß das Energiebändermodell auch im optischen Bereich Anwendung findet und zur Erklärung der Vorgänge in Festkörpern beiträgt.

Die Schüler sollen wesentliche Funktionen einiger Bauelemente verstehen, bei denen die an Festkörpern auftretenden optischen Effekte technisch angewandt werden. Dabei sind jeweils nur eine oder zwei der wichtigsten technischen Ausführungen zu beschreiben.

Zum Abschluß dieser Stoffeinheit soll auf den bereits im obligatorischen Physikunterricht behandelten Laser eingegangen werden. Die Kenntnisse der Schüler werden vertieft; apparative Einzelheiten können erläutert werden. Als eine sehr wichtige Anwendung ist die Mikrospektralanalyse zur Materialuntersuchung zu nennen. Anhand des Mikrospektralanalysators des VEB Carl Zeiss Jena soll auf die Leistungsfähigkeit des wissenschaftlichen Gerätebaus in der DDR hingewiesen werden.

**3.1. Absorption elektromagnetischer Strahlung durch Festkörper**

Absorptionsgesetz, linearer Absorptionskoeffizient, qualitatives Verhalten des linearen Absorptionskoeffizienten eines nichtmetallischen Festkörpers in Abhängigkeit von der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung im Bereich von  $10^{-1}$  nm (Röntgenstrahlung) bis  $10^3$  nm (infrarotes Licht)

Deutung der Absorptionscharakteristik mit Hilfe des Energiebändermodells, Grundgitterabsorption

Beziehungen zwischen Bandbreiten beziehungsweise Energietermabständen und der Wellenlänge der absorbierten elektromagnetischen Strahlung

Berechnungen zum Zusammenhang zwischen dem Energietermabstand beziehungsweise Bandabstand und der Wellenlänge der absorbierten elektromagnetischen Strahlung  
Erklären des Zusammenhanges zwischen der Lichtabsorption des Festkörpers und der Lichtabsorption des freien Atoms

Erklären der starken Lichtabsorption von Metallen

### 3.2. Lumineszenz (Fluoreszenz und Phosphoreszenz)

Erscheinung der Fluoreszenz

Erklärung des Fluoreszenzmechanismus mit Hilfe des Bändermodells

Anwendung der Fluoreszenz: Elektronenoptischer Bildwandler (Fluoreszenzschirm), röntgenoptischer Bildwandler (Röntgendurchleuchtungsschirm), Leuchtstofflichtquellen

Erscheinung der Phosphoreszenz und Erklärung mit Hilfe des Bändermodells (Haftterme)

Thermolumineszenz

Anwendung der Phosphoreszenz, zum Beispiel beim Phosphoreszenzschirm

Erläutern der Vorgänge an einem Fluoreszenz- beziehungsweise Phosphoreszenzschirm eines Oszillographen  
Diskussion über den röntgenoptischen Bildwandler (Problem des Strahlenschutzes für den Patienten)  
oder über Leuchtstofflichtquellen

### Experimente

Anregen eines Leuchtstoffes zur Fluoreszenz im sichtbaren Bereich mit Hilfe von Ultraviolett-Licht

Vorführen der Thermolumineszenz durch Bestrahlen eines phosphoreszierenden Körpers mit Ultraviolett-Licht und nachfolgender Erwärmung

### 3.3. Innerer Photoeffekt

Erscheinungen des inneren Photoeffekts und Erklärung mit Hilfe

des Energiebändermodells, spektrale Empfindlichkeit  
Photowiderstände

Technische Anwendungen der Photowiderstände (Lichtschranken,  
Schwellwertgeber, Tonfilm)

### Experiment

Lichtnachweis mit einem Photowiderstand

#### 3.4. Sperrschichtphotoeffekt

Auftreten des Sperrschichtphotoeffekts am pn-Übergang,

Erklärung mit Hilfe des Energiebändermodells

Photoelemente (auf Silisiumbasis)

Wirkungsgrad der Umwandlung von (Sonnen-)Lichtenergie in elek-  
trische Energie, Größenordnung der Photoströme

Anwendung von Photoelementen (Belichtungsmesser, Solarzellen)

Erklären des Aufbaus und der Arbeitsweise eines  
Belichtungsmessers

Messen der Photoströme

#### 3.5. Messung von Lichtquanten mit dem Photovervielfacher

Äußerer Photoeffekt (Wiederholung)

Sekundärelektronenemission

Zusammenwirken des äußeren Photoeffekts und der Sekundärelektro-  
nenemission im Photovervielfacher

Effektivität des Quantennachweises mit dem Photovervielfacher,  
Dunkelstrom und Rauschen

Erläutern einer Schaltung für den Photovervielfacher

Zusammenstellen der wichtigsten Daten und Eigenschaften  
der Lichtdetektoren in einer Tabelle

### Experiment

Lichtnachweis mit einem dreistufigen Photovervielfacher

#### 3.6. Festkörper-Laser und seine Anwendung zur Mikrospektral- analyse

Induzierte Lichtemission

Laseranordnungen mit Festkörperresonatoren

Eigenschaften des Laserstrahles (Intensität, Parallelität, Frequenzschärfe)

Zeichnen eines Blockschaltbildes einer Laser-Anordnung

Aufbau und Anwendung einer Laser-Anordnung für die Mikrospektralanalyse

Bedeutung der Spektralanalyse

Bedeutung des VEB Carl Zeiss Jena für die Entwicklung des wissenschaftlichen Gerätebaus

Beurteilen des Wirkungsgrades der Laser-Strahlerzeugung aus der Kenntnis der technischen Daten eines Gerätes

Abschätzen der zur Verdampfung festen Materials erforderlichen Energie

#### 4. Magnetische Eigenschaften von Festkörpern 8 bis 10 Stunden

Einige wesentliche magnetische Eigenschaften von Festkörpern sind Gegenstand dieser Stoffeinheit. Auszugehen ist dabei von den magnetischen Eigenschaften des Atoms (Bahnlauf, Spin). Einige Voraussetzungen hierzu werden im Physikunterricht der Klasse 11 geschaffen. Im Unterschied zum obligatorischen Physikunterricht der Klasse 12 werden in dieser Stoffeinheit die magnetischen Eigenschaften von Festkörpern unter atomphysikalischen Gesichtspunkten erläutert.

##### 4.1. Magnetisierung von Festkörpern

Verhalten eines Probekörpers im Magnetfeld, magnetisches Moment und Magnetisierung, Permeabilität und Suszeptibilität  
Atomare magnetische Momente, Bahnmomente und Spinnomente

Erläutern des Zustandekommens der Bahnmomente aus dem Bahnlauf der Elektronen

##### Experiment

Demonstration der auf eine Festkörperprobe im inhomogenen Magnetfeld ausgeübten Kraft mit einer magnetischen Pendelwaage

#### 4.2. Ferro- und Ferrimagnetismus

Ferromagnetismus als Kristalleigenschaft, Weißsche Bezirke

Magnetisierungskurve mit Barkhausensprüngen

Antiferromagnetismus

Ferrite als Übergangsfall zwischen ferromagnetischem und antiferromagnetischem Verhalten, Magnetisierungskurve eines Ferrites

Erklären der Magnetisierungskurve eines weichmagnetischen Werkstoffes

Anfertigen einer Übersichtstabelle ferromagnetischer Werkstoffe

#### Experiment

Aufnehmen von Magnetisierungskurven von Ferromagnetika und Ferriten (mit dem Oszillographen)

#### 4.3. Magnetkern- und Magnetbandspeicherung

Magnetkern als bistabiles Element, Umschalten von Magnetkernen,

Magnetkernspeicher in Rechenmaschinen

Magnettrommel in Rechenmaschinen, Magnettonband

Erläutern des Aufbaues einer Magnetkernmatrix (Muster oder Abbildung)

Erklären der Tonaufnahme auf Magnettonband am Objekt

#### Experiment

Umschalten von Magnetkernen

#### 5. Thermoelektrische Eigenschaften von

\*\*\*\*\*

Festkörpern

\*\*\*\*\*

3 bis 5 Stunden

Diese Stoffeinheit vervollständigt den Überblick über wichtige Eigenschaften von Festkörpern. Den Schülern wird verdeutlicht, daß Thermoelemente vielfältig als Meßfühler für die Temperaturanzeige und -regelung angewandt werden und daß thermoelektrische Generatoren eine ständig wachsende Bedeutung als Forschungsobjekte haben, da sie Wärmeenergie direkt in elektrische Energie umwandeln.

### 5.1. Thermoelektrischer Effekt

Erscheinung des thermoelektrischen Effekts und Erklärung mit Hilfe des Energiebändermodells  
Thermoelement, thermoelektrische Generatoren  
Thermoelement als Meßwertwandler

#### Experiment

Herstellen und Eichen eines Thermoelements

### 5.2. Peltier-Effekt

Peltier-Effekt als Umkehrung des thermoelektrischen Effekts  
Erklärung des Peltier-Effekts am pn-Übergang mit Hilfe des Energiebändermodells  
Aufbau einer Peltier-Batterie, Anwendungsmöglichkeiten

#### Experiment

Demonstration des Peltier-Effekts an einer Peltier-Batterie

## Literaturhinweise für den Lehrer

Fischer, H.J.: Transistorentechnik für den Funkamateuer.

4. erweiterte Auflage, Deutscher Militärverlag, Berlin 1966.

Frank, H. und V. Snejdar: Halbleiterbauelemente. Band I und II, Akademie-Verlag, Berlin 1964.

Görllich, P.: Photoeffekte. Band I bis III, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG, Leipzig 1962 - 1966.

Grimsehl: Lehrbuch der Physik. Band IV, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1968.

Joffe, A. F.: Begegnung mit Physikern. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1967.

Kambata, A. J.: Einführung in die Mikroelektronik. VEB Verlag Technik, Berlin 1966.

Kleber, W.: Einführung in die Kristallographie. 10. Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1969.

Lindner, H.: Ströme, Felder, Elektronen. 2. Auflage, Urania Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1969.

Moenke, H. und L. Moenke: Einführung in die Laser-Mikroemissions-spektralanalyse. 2. Auflage. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG, Leipzig 1968.

Zwischen absolutem Nullpunkt und Sonnentemperatur. Urania Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1967.

Lehrgang Grundsaltungen und Bauelemente  
der Elektronik

Der Plan für den fakultativen  
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht  
in der Erweiterten Oberschule  
Lehrgang Grundsaltungen und Bauelemente  
der Elektronik  
tritt am 1. September 1969  
in Kraft.

Berlin, April 1969

Ministerium für Volksbildung  
Prof. Dr. Kaiser  
Stellvertreter des Ministers

## Vorbemerkung

In diesem Lehrgang werden Kenntnisse über die Elektronik aus dem polytechnischen Unterricht und dem obligatorischen Physikunterricht vertieft und unter dem Aspekt ihrer Anwendung auf technische Probleme erweitert.

Den Schülern soll verstärkt bewußt gemacht werden, daß die Elektronik in immer stärkerem Maße in alle Zweige der Produktion und in Bereiche der Planung und Leitung der Volkswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik eindringt, daß sie eine unentbehrliche Voraussetzung für die Automatisierung und Rationalisierung der Produktion ist und daß ihr auch in der Landesverteidigung unserer Republik eine große Bedeutung zukommt. Die Schüler sollen mit den Leistungen der sowjetischen Wissenschaftler und Techniker auf dem Gebiet der Elektronik bekannt gemacht werden. Am Beispiel der raschen Entwicklung elektronischer Bauelemente und Geräte kann den Schülern verdeutlicht werden, wie wissenschaftliche Erkenntnisse schnell und unmittelbar in die moderne Produktion einfließen.

Im Lehrgang werden typische elektronische Grundschaltungen, die Funktionseinheiten komplexer elektronischer Geräte sind, untersucht. Die Schüler sollen exemplarisch mit dem prinzipiellen Aufbau und der Arbeitsweise dieser Grundschaltungen vertraut gemacht und befähigt werden, die am speziellen Beispiel gewonnenen Erkenntnisse auf ähnliche Schaltungen zu übertragen. Sie sollen lernen, einfache elektronische Grundschaltungen selbständig zu entwickeln. Als Grundlage dafür werden einige elektronische Bauelemente behandelt. Die physikalischen Grundlagen sind den Schülern im wesentlichen aus dem obligatorischen Physikunterricht der Klasse 9 bekannt. Im Mittelpunkt stehen die Wirkungsweise und die technische Anwendung dieser Bauelemente.

Die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Schüler zum selbständigen Vorbereiten und Ausführen experimenteller Arbeiten sowie zur Arbeit mit wissenschaftlich-technischer Literatur werden weiterentwickelt. Die Schüler sollen sich bei experimentellen Tätigkeiten einerseits mit den Eigenschaften und technischen Formen der Bauelemente vertraut machen, Fertigkeiten im Umgang mit ihnen erwerben und andererseits das Wissen über den Einsatz der Bauelemente und ihre Funktion innerhalb elektronischer Schaltungen

vertiefen. Gleichzeitig sollen die Schüler ihre bisher erworbenen Fertigkeiten zum Handhaben elektrischer Meßgeräte, insbesondere des Elektronenstrahlstillographen, erweitern. Die Bauelemente werden schwerpunktmäßig im Rahmen d e r elektronischen Schaltung behandelt, bei der sie zum ersten Mal benötigt werden.

Im Verlaufe des Lehrganges sollen die Schüler einige Festgeräte bauen, die unmittelbar oder später komplettiert als Lehrmittel, bei der Gestaltung von Ausstellungen oder für andere gesellschaftlich-nützliche Zwecke Anwendung finden. Abhängig von den jeweils zu bauenden Geräten beziehungsweise entsprechend den materiellen Möglichkeiten kann der Lehrer aus den im Plan angegebenen Stoffabschnitten eine Auswahl treffen.

Der Lehrgang bietet Möglichkeiten zur inhaltlichen Koordinierung mit der wissenschaftlich-praktischen Arbeit der Schüler, die auf der Grundlage der Rahmenprogramme Elektronik und BMSR-Technik tätig sind.

Zur Förderung der Selbsttätigkeit der Schüler stehen das weitgehend selbständige Aufbereiten des in den Klassen 9 und 10 erworbenen Wissens, das Einordnen dieser Kenntnisse in größere Zusammenhänge, die Arbeit mit Literatur und insbesondere das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten von Experimenten im Mittelpunkt der Unterrichtsstunde.

Bei der Vorbereitung und Durchführung experimenteller Aufgaben sind die Bestimmungen des Arbeitsschutzes zu beachten.<sup>1)</sup>

Zum Experimentieren können die an den Schulen vorhandenen Hochfrequenz-Bausätze und Aufbausätze zur Elektrophysik sowie die entsprechenden Schülerübungsgeräte verwendet werden. Sehr geeignet ist das Schülerübungsgerät "Hochfrequenz - Halbleiter", das bei Bedarf durch zusätzliche Bauelemente ergänzt werden kann. Mit diesem Gerät können insbesondere Versuchsschaltungen in mehreren Varianten erprobt werden.

---

<sup>1)</sup> Vgl. Richtlinie für den Arbeits- und Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerschulischen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften (Verfügungen und Mitteilungen des Ministeriums für Volksbildung und des Staatlichen Amtes für Berufsausbildung 1967, Nr. 12 vom 30.6.67).

## Thematische Übersicht

Gesamtstundenzahl für den Lehrgang: 50 Stunden

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1. Einführung in die Elektronik                              | 1 Stunde          |
| 2. Gleichrichterschaltungen                                  | 10 bis 15 Stunden |
| 2.1. Allgemeiner Überblick                                   |                   |
| 2.2. Grundsaltungen  |                   |
| 2.3. Gleichrichter-Bauelemente                               |                   |
| 2.4. Umwandlung von Netzwechselspannung<br>in Gleichspannung |                   |
| 2.5. Glättung und Siebung der pulsierenden<br>Spannung       |                   |
| 3. Verstärkerschaltungen                                     | 12 bis 17 Stunden |
| 3.1. Allgemeiner Überblick                                   |                   |
| 3.2. Röhrenverstärker  |                   |
| 3.3. Transistorverstärker                                    |                   |
| 4. Generatorschaltungen                                      | 8 bis 14 Stunden  |
| 4.1. Erzeugung selbsterregter Schwin-<br>gungen              |                   |
| 4.2. Frequenzabhängige Schaltglieder                         |                   |
| 4.3. Generatoren für sinusförmige<br>Wechselspannung         |                   |
| 4.4. Generatoren für rechteckförmige<br>Spannung             |                   |
| 5. Binäre Grundsaltungen                                     | 8 bis 12 Stunden  |
| 5.1. Röhre und Transistor als Schalter                       |                   |
| 5.2. Bistabiler Multivibrator (Flip-Flop)                    |                   |
| 5.3. Schmitt-Trigger   |                   |
| 5.4. Zählschaltungen   |                   |
| 5.5. Logikschaltungen  |                   |
| 6. Entwicklungstendenzen der Elektronik                      | 2 Stunden         |

## 1. Einführung in die Elektronik

1 Stunde

Zu Beginn des Lehrganges sollen Aufgaben und Anwendungsbereiche der Elektronik erläutert werden. Anhand wichtiger Einsatzgebiete wird die Bedeutung der Elektronik für die Entwicklung der sozialistischen Volkswirtschaft unserer Republik erarbeitet. In diesem Zusammenhang ist vor allem auf die Aufgaben der Elektronik bei der Meisterung der wissenschaftlich-technischen Revolution in der Deutschen Demokratischen Republik einzugehen. Dabei sollten sowohl Beispiele aus der Informations- als auch der Leistungselektronik berücksichtigt werden.

## 2. Gleichrichterschaltungen

10 bis 15 Stunden

Gegenstand der Stoffeinheit sind Schaltungen zum Gleichrichten von Wechselstrom. Im Vordergrund steht dabei die Erzeugung einer Gleichspannung, die für den Betrieb elektronischer Geräte benötigt wird.

Die Schüler sollen einen Überblick über die wichtigsten Arten von Gleichrichterschaltungen erhalten. Sie sollen die Forderungen, die an eine gleichgerichtete Spannung gestellt werden sowie die schaltungstechnischen Mittel zu ihrer Realisierung an einfachen Beispielen kennenlernen. Der Transformator wird nicht gesondert behandelt, da er bereits Gegenstand des Physikunterrichts in der Klasse 10 war. Ausführlich ist die Glättung und Siebung der pulsierenden Spannung zu behandeln. Die Schüler sollen erkennen, daß ein zuverlässiger Betrieb von Geräten, insbesondere der Informationselektronik, eine Gleichspannung geringer Welligkeit voraussetzt. Die Auswahl der schwerpunktmäßig zu behandelnden speziellen Gleichrichterschaltungen bleibt dem Lehrer überlassen und hängt davon ab, welche Schaltung eventuell weiter verwendet wird.

In dieser Stoffeinheit werden außerdem die wichtigsten Bauelemente einer Gleichrichterschaltung behandelt. Die der Funktion der Bauelemente zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten

sind im wesentlichen in den Klassen 9 und 10 behandelt worden. Im Mittelpunkt steht deshalb die Funktion der betreffenden Bauelemente in der Gleichrichterschaltung. Die technischen Kennwerte der Bauelemente und die Art ihrer Kennzeichnung sind an Beispielen zu erläutern. Durch die Arbeit mit Standards und Datenblättern erwerben die Schüler Fertigkeiten im Lesen und Auswerten derartiger Darstellungen. Die Schüler sollen die wichtigsten Bauelemente für Gleichrichterschaltungen in ihren Ausführungsformen und Kenndaten identifizieren, sie zweckentsprechend auswählen und mit ihnen fachgerecht umgehen.

Erörterungen über die Bedeutung der Bauelemente für die Funktionstüchtigkeit technischer Systeme (Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Wartung) lassen die Schüler erkennen, wie wichtig eine qualitativ hochwertige Arbeit unserer Bauelemente-Industrie ist. Auf Fragen der Standardisierung ist hinzuweisen.

## 2.1. Allgemeiner Überblick

Prinzip der Gleichrichtung

Anforderungen an eine Gleichrichterschaltung

Einteilung der Schaltungen nach der Art der Gleichrichterbauelemente, der Art der Schaltung und dem Frequenzbereich

## 2.2. Grundsaltungen

Einwegschaltung

Zweiwegschaltung (Gegentakt- und Brückenschaltung)

Symbolik

Erarbeiten der Grundsaltungen mit Hilfe eines Fachbuches

## 2.3. Gleichrichter-Bauelemente

### Röhrendioden

Prinzipielle Wirkungsweise einer Röhrendiode (Wiederholung)

Arten und technischer Aufbau (Ein- und Zweiweggleichrichterröhre)

Betriebsverhalten

Beschreiben des Betriebsverhaltens anhand der Kennlinie

## **Kennzeichnung der Gleichrichterröhren**

Verwenden eines Typenschlüssels für Gleichrichterröhren

## **Halbleitergleichrichter**

Physikalische Grundlagen des Leitungsmechanismus in Halbleitern  
(Wiederholung)

Arten und technischer Aufbau von Dioden und Flächengleichrichtern  
Betriebsverhalten

Hinweis auf moderne Herstellungsverfahren (Planar- und Epitaxial-  
technik)

Vergleichen der Kennlinien von Röhrendioden und  
Halbleitergleichrichtern

## **Kennzeichnung der Halbleitergleichrichter**

Auswählen von Gleichrichtern beziehungsweise Dioden  
für bestimmte Verwendungszwecke anhand von Daten-  
blättern

Ermitteln von Kenndaten aus den Datenblättern

## **2.4. Umwandlung von Netzwechselspannung in Gleichspannung**

Einweg- und Zweiweggleichrichtung mit Halbleiterbauelementen  
oder Röhren bei ohmscher Belastung

Strom- und Spannungsverhältnisse

Aufstellen einer Übersicht über die Strom- und Spannungs-  
verhältnisse für Einweg-, Gegentakt- und Brückenschaltung

Hinweise zur Dimensionierung der Bauelemente

Aufbauen einer Gleichrichterschaltung für vorgege-  
benen Verwendungszweck

Prüfen des Betriebsverhaltens

## **2.5. Glättung und Siebung der pulsierenden Spannung**

Spannungsverlauf am Gleichrichterausgang (Wiederholung)

Wirkungsweise des Ladekondensators

Erläutern des Lade- und Entladevorganges eines  
Kondensators (Wiederholung)

Aufbau, Kenndaten und Kennzeichnung von Elektrolytkondensatoren

## **Prüfverfahren**

### **Prüfen von Elektrolytkondensatoren**

**Schaltung und Wirkungsweise einer RC- beziehungsweise LC-Sieb-  
kette**

**Berechnen einer RC- beziehungsweise LC-Spannungsteiler-  
schaltung**

**Aufbau und Betriebsverhalten von Drosselspulen**

**Vergleichen des Verhaltens von Spule und Konden-  
sator im Wechselstromkreis (Wiederholung)**

**Siebfaktor**

**Berechnen des Siebfaktors für vorgegebene Bauele-  
mente**

**Dimensionierung von Siebketten**

**Ergänzen der Gleichrichterschaltung durch Sieb-  
kette**

## **Experimente**

**Aufnehmen der Kennlinie eines Germanium-Flächengleichrichters  
Nachweisen der Gleichrichterwirkung eines Halbleitergleichrich-  
ters beziehungsweise einer Röhrendiode mit dem Oszillographen**

**Aufbauen einer Gleichrichterschaltung**

**Gleichrichter mit Ladekondensator - Untersuchung des Verlaufs  
der Ausgangsspannung bei unterschiedlicher Belastung**

**Experimentelles Bestimmen des Siebfaktors einer Siebkette**

**Gleichrichterschaltung mit Ladekondensator und Siebkette - Mes-  
sen der Restwelligkeit mit dem Oszillographen**

## **3. Verstärkerschaltungen**

12 bis 17 Stunden

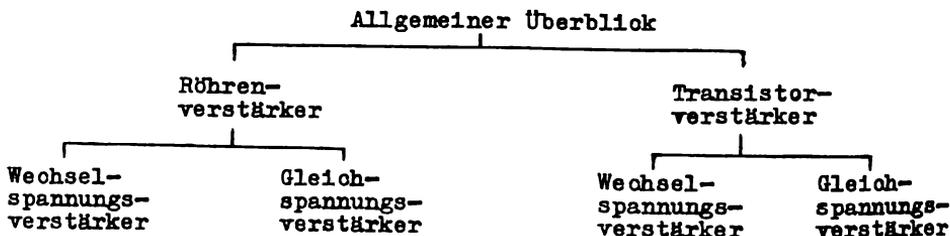
**Gegenstand der Stoffeinheit sind Verstärkerschaltungen mit Tran-  
sistoren oder Röhren und deren Betriebsverhalten einschließlich  
der wichtigsten aktiven und passiven Bauelemente. Die Schüler  
sollen einen Überblick über Gesichtspunkte beim Entwerfen von  
einfachen Verstärkerschaltungen erhalten. Sie sollen befähigt  
werden, einfache Schaltungen für bestimmte Anwendungsgebiete**

selbständig zu entwickeln sowie Betriebsdaten und Werte für Bauelemente näherungsweise zu ermitteln.

Auf schaltungstechnische Besonderheiten, die der Stabilisierung, der Frequenzgangkorrektur usw. dienen, soll nicht eingegangen werden. Die Bedeutung der elektronischen Verstärker für die Meß- und Nachrichtentechnik ist zu erläutern.

Die prinzipielle Wirkungsweise der benötigten Bauelemente und die entsprechenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind in der Klasse 9 behandelt worden. Die Schüler sollen die Fähigkeit erwerben, anhand der Kennlinien der aktiven Bauelemente Rückschlüsse auf deren Eigenschaften zu ziehen und die für den Betrieb wichtigen Kenngrößen aus dem Kennlinienfeld zu ermitteln. Auf eine mathematische Behandlung der Zusammenhänge wird verzichtet. Das funktionale Denken der Schüler soll weiterentwickelt werden, indem sie befähigt werden, die in den Kennlinien der Bauelemente dargestellten funktionalen Zusammenhänge zu erkennen und für die technische Anwendung auszuwerten. Außerdem sollen die Schüler Fertigkeiten in der experimentellen Aufnahme von Kennlinien erwerben. Dabei ist auf Sorgfalt und Genauigkeit der Ausführung zu achten.

Die Abschnitte dieser Stoffeinheit können in folgenden Varianten behandelt werden:



Wird in dieser Stoffeinheit ein Verstärker als Festgerät für einen bestimmten Verwendungszweck gebaut, so wird dadurch die Entscheidung für eine der Varianten bestimmt. Im allgemeinen soll Schaltungen mit Transistoren der Vorzug gegeben werden.

### 3.1. Allgemeiner Überblick

Aufgabe eines Verstärkers

Anforderungen an einen Verstärker

Einteilung nach der Art des aktiven Bauelements, dem Frequenzbereich und der Art der Kopplung

Übersicht über Verstärkertypen und ihre speziellen Funktionen

### 3.2. Röhrenverstärker

#### Triode

Technischer Aufbau der Triode

Erklären der prinzipiellen Wirkungsweise einer Triode

Kennlinienfelder der Triode ( $I_A-U_G$ - und  $I_A-U_A$ -Kennlinien)  
Schaltung zur Kennlinienaufnahme

Konstruieren der  $I_A-U_G$ -Kennlinie aus dem  $I_A-U_A$ -Kennlinienfeld

Röhrenkennwerte (Steilheit, Innenwiderstand, Durchgriff, Leerlaufverstärkung)

Barkhausensche Röhrgleichung

Ermitteln der Kennwerte aus dem Kennlinienfeld  
Überprüfen der Barkhausenschen Röhrgleichung anhand von Kennwerten verschiedener Röhrentypen

Grundsätzliche Schaltung einer Triode

Betriebsverhalten

Arbeitspunkt

Ermitteln des Arbeitspunktes mit Hilfe der Widerstandsgeraden im  $I_A-U_A$ -Kennlinienfeld

Verstärkerwirkung

Ermitteln der Verstärkung im  $I_A-U_A$ -Kennlinienfeld  
Experimentelles Bestimmen der Verstärkung

#### Pentode

Prinzip und technischer Aufbau der Pentode

Wirkungsweise von Schirm- und Bremsgitter

$I_A-U_A$ -Kennlinienfeld

Vergleichen der  $I_A-U_A$ -Kennlinienfelder von Triode und Pentode

Grundsätzliche Schaltung einer Pentode

Kennzeichnung von Verstärkeröhren

Deuten der Bezeichnung von Verstärkeröhren mit  
Hilfe des Röhrenkennschlüssels

Grundschialtung einer Verstärkerstufe

Erzeugung der Gittervorspannung durch Katodenwiderstand

Gitterableitwiderstand

Außenwiderstand

Ermittlung der wichtigsten Betriebs- und Kenndaten eines Verstärkers anhand der Kennlinien und der Röhrenkenngrößen

Aufstellen eines Berechnungssohemas

Gesichtspunkte für das Festlegen des Arbeitspunktes

Berechnen einer Verstärkerstufe mit vorgegebener  
Röhre

Arten und Kennzeichnung von Widerständen (Fest- und Stellwiderstände)

Erarbeiten einer Übersicht über die Stufung der  
Widerstandswerte - Farbkode

Messen und Prüfen von Widerständen

Zusammenstellen verschiedener Methoden der  
Widerstandsmessung

Wechselspannungsverstärker (RC-Verstärker)

Erweiterung der Grundschialtung durch Koppelkondensator

Arten und technische Formen von Kondensatoren

Kenndaten und Kennzeichnung von Kondensatoren

Erarbeiten einer Übersicht über die Kennzeichnung  
von Kondensatoren

Messen und Prüfen von Kondensatoren

Prüfen von Kondensatoren nach verschiedenen  
Verfahren

Berechnung des RC-Koppelgliedes

Frequenzgang des Verstärkers (Grenzfrequenz)

Berechnen des Koppelgliedes für vorgegebenen  
Frequenzbereich

### Gleichspannungsverstärker

Anwendungsgebiete

Zusammenstellen von Anwendungsbeispielen für  
Gleichspannungsverstärker

Besonderheiten gegenüber Wechselspannungsverstärkern

### 3.3. Transistorverstärker

#### Transistoren

Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise des pnp-Transistors

Beschreiben des prinzipiellen Aufbaues eines  
Germanium-Flächentransistors und seiner Wirkungs-  
weise

Typen und Bauformen

Zusammenstellen einer Übersicht über Typenbe-  
zeichnung von Transistoren

Grundsaltungen des Transistors und ihre Eigenschaften

Kennlinienfelder des Transistors in Emitterschaltung

Vergleichen des  $I_C-U_{CE}$ -Kennlinienfeldes mit  
dem  $I_A-U_A$ -Kennlinienfeld von Verstärkerröhren

Kenndaten des Transistors (Kollektorreststrom, Stromverstärkung,  
Verlustleistung, Grenzwerte für Ströme und Spannungen)

Bestimmen der Kenndaten anhand von Datenblättern  
Ermitteln der Stromverstärkung aus dem Kenn-  
linienfeld

Grundsätzliche Schaltung eines Transistors

Stromversorgung

Arbeitspunkteinstellung

Ermitteln des Arbeitspunktes mit Hilfe der  
Widerstandsgeraden

Vergleichen mit der Schaltung einer Triode

Hinweise zum sachgemäßen Umgang mit Sperrschicht-Halbleiterbau-

elementen

### Verstärkerstufe in Emitterschaltung

Besonderheiten des Transistorverstärkers gegenüber dem Röhrenverstärker

Bemessung der Bauelemente in Analogie zum Röhrenverstärker

Entwerfen einer Schaltung für einen einstufigen  
Transistorverstärker

### Experimente (Auswahl je nach gewählter Variante)

Messen von Widerständen mit der Meßbrücke

Aufnehmen der Regelkurve von Stellwiderständen mit linearer und logarithmischer Charakteristik

Bestimmen von Kapazitäten durch Messen des Wechselstromwiderstandes

Aufnehmen der  $I_A-U_A$ -Kennlinie einer Triode

Aufnehmen der dynamischen  $I_A-U_G$ -Kennlinie einer Triode für verschiedene Belastungen

Bestimmen der Verstärkung einer Triode

Aufbauen eines Röhrenverstärkers

Prüfen des Betriebsverhaltens eines Verstärkers (Verstärkung, Grenzfrequenz, Verzerrung)

Aufnehmen des  $I_C-U_{CE}$ -Kennlinienfeldes eines Transistors

Bestimmen von Kollektorreststrom und Stromverstärkung eines Transistors

Aufbauen eines Transistorverstärkers - Funktionsprüfung

#### 4. Generatorschaltungen

8 bis 14 Stunden

gegenstand der Stoffeinheit sind Schaltungen zum Erzeugen sinusförmiger und rechteckförmiger Schwingungen. Die Schüler sollen an je einem Beispiel die prinzipiellen Schaltungen von Generatoren kennenlernen und an einer leicht überschaubaren Schaltung den Aufbau und die Arbeitsweise des speziellen Generators begreifen. Dabei wird nicht zwischen NF- beziehungsweise HF-Generator sowie Röhren- beziehungsweise Transistorgenerator unterschieden.

In dieser Stoffeinheit sollen die im Physikunterricht der Klasse 10 erworbenen Kenntnisse über die Erzeugung ungedämpfter elek-

trischer Schwingungen angewandt und vertieft werden.

Ausgangspunkt für die vorliegenden Abschnitte bildet die Verstärkerschaltung. Das Prinzip der Rückkopplung sowie die Wirkungsweise frequenzabhängiger Schaltglieder müssen erarbeitet werden, da diese Probleme in der Klasse 10 nicht explizit behandelt worden sind.

Gegebenenfalls kann eine Generatorschaltung für einen bestimmten Verwendungszweck berechnet und gebaut werden..

#### 4.1. Erzeugung selbsterregter Schwingungen

Prinzip der Rückkopplung (Gegenkopplung - Mitkopplung)

Einfluß der Rückkopplung auf das Betriebsverhalten des Verstärkers

Selbsterregung des Verstärkers bei Mitkopplung

Selbsterregungsbedingung

Erregung einer bestimmten Frequenz durch frequenzabhängiges Schaltglied im Rückkopplungsweig

#### 4.2. Frequenzabhängige Schaltglieder

CR- und RC-Glieder

Frequenzverhalten und Phasendrehung bei Ansteuerung mit sinusförmiger Wechselspannung (Hoch- und Tiefpaßverhalten)

Parallelschaltung von Kondensator und Spule (Bandpaß)

Resonanzfrequenz eines Parallelresonanzkreises

Bestimmen der Resonanzfrequenz aus der Resonanzkurve

#### 4.3. Generatoren für sinusförmige Wechselspannung

##### LC-Generatoren

Meißnersche Rückkopplungsschaltung

Erklären der Wirkungsweise einer Meißnerschen Rückkopplungsschaltung

Berechnen der Resonanzfrequenz eines Schwingkreises - Vergleichen mit dem graphisch ermittelten Wert

Dreipunktschaltung

Aufbauen einer induktiven oder kapazitiven Dreipunktschaltung mit Transistor

## RC-Generatoren

Frequenzabhängige Rückkopplung durch RC-Kombination

Beschreiben der Amplituden- und Phasencharakteristik von RC-Gliedern

RC-Phasenschieberkette

RC-Generator mit Phasenschieberkette

Berechnen einer dreigliedrigen Phasenschieberkette für die vorgegebene Frequenz

### 4.4. Generator für rechteckförmige Spannung

Astabiler Multivibrator als zweistufiger RC-Verstärker mit direkter Rückkopplung

Entwickeln eines zweistufigen RC-Verstärkers aus einem einstufigen Verstärker

Erkennen der Phasenbeziehungen zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung bei zweistufigen Verstärkern

Arbeitsweise des astabilen Multivibrators

Nachbildung des astabilen Multivibrators durch eine äquivalente Relaischaltung

Beschreiben des Aufbaues und der Arbeitsweise eines Gleichstromrelais (Wiederholung)

Hinweise zur Berechnung der Bauelemente und der Betriebsdaten

Entwerfen einer Schaltung für einen astabilen Multivibrator

## Experimente

Aufnehmen der Amplituden- und Phasencharakteristik von CR- und RC-Gliedern

Aufnehmen der Resonanzkurve eines Parallelresonanzkreises  
Bestimmen der Induktivität von Spulen durch Messen des Wechselstromwiderstandes

Aufbauen einer induktiven oder kapazitiven Dreipunktschaltung mit Transistoren oder eventuell mit Röhren - Nachweisen der

Schwingungen mit dem Oszillographen

Aufnahmen der Amplituden- und Phasencharakteristik einer dreigliedrigen RC-Kette

Aufbauen eines RC-Phasenschiebergenerators - Nachweisen der Schwingungen mit dem Oszillographen - Untersuchen der die Schwingungsform beeinflussenden Bauelemente

Aufbauen eines astabilen Multivibrators mit Relais

Aufbauen eines astabilen Multivibrators - Nachweisen der Schwingungen - Untersuchen der frequenzbestimmenden Bauelemente

## 5. Binäre Grundsaltungen

7 bis 12 Stunden

In dieser Stoffeinheit werden die wichtigsten Grundsaltungen der Digitaltechnik behandelt. Den Schülern sollen Kenntnisse über den Aufbau und die Arbeitsweise binärer elektronischer Grundsaltungen vermittelt werden. Zu diesem Zweck sollen die Schüler einige grundlegende Kenntnisse über elektronische Schaltstufen, logische Grundfunktionen und das duale Zahlensystem erwerben, die zum Verständnis binärer Grundsaltungen benötigt werden. Das funktionale Denken der Schüler kann dadurch weiterentwickelt werden, daß die Funktion der einzelnen Grundsaltungen bei der Informationsübertragung und -verarbeitung in den Vordergrund gerückt wird. Dadurch können die Schüler später auch komplexe Schaltsysteme besser verstehen.

Der Lehrer hat die Möglichkeit, zwischen folgenden Varianten zu wählen:

Variante 1  
(digitale Meßtechnik)

Röhre und Transistor  
als Schalter

|  
Bistabiler Multivibrator  
als bistabiler Schalter und  
Frequenzumsetzer

|  
Schmitt-Trigger  
(Analog-Digital-Umsetzer)

|  
Zählschaltungen (z. B. digitale  
Frequenzmessung)

Variante 2  
(elektronische Datenverarbeitung)

Röhre und Transistor  
als Schalter

|  
Bistabiler Multivibrator  
als Speicher

|  
Zählschaltungen  
(Zählketten)

|  
Logikschaltungen

Der Bau entsprechender funktionstüchtiger Geräte durch die Schüler sollte angestrebt werden.

### 5.1. Röhre und Transistor als Schalter

Prinzip des Schalterbetriebes

Arbeitsweise einer Schaltstufe

Schaltzustände

Vergleichen der Arbeitsweise der elektronischen  
Schaltstufe mit der eines Relais

Erzeugung von Rechteckimpulsen durch elektronische Schaltstufen

### 5.2. Bistabiler Multivibrator (Flip-Flop)

Prinzip des bistabilen Multivibrators

Schaltung und Arbeitsweise des bistabilen Multivibrators

Vergleichen mit der Arbeitsweise des astabilen  
Multivibrators

Funktionen des bistabilen Multivibrators

Hinweise zur Dimensionierung der Bauelemente

Entwerfen einer Schaltung eines bistabilen  
Multivibrators

Bau eines bistabilen Multivibrators mit  
Transistoren

Untersuchen des Betriebsverhaltens

Anwendungsmöglichkeiten in der Digitaltechnik

### 5.3. Schmitt-Trigger

Prinzip des Schmitt-Triggers

Schaltung und Arbeitsweise des Schmitt-Triggers

Funktion des Schmitt-Triggers als Schwellwertschalter beziehungsweise Analog-Digital-Umsetzer

Gegenüberstellen des Betriebsverhaltens des  
Schmitt-Triggers und des bistabilen Multivibrators

## **Hinweise zur Dimensionierung**

**Entwerfen einer Schaltung für einen Schmitt-Trigger**

**Aufbauen eines Schmitt-Triggers mit Transistoren -  
Untersuchen des Betriebsverhaltens**

**Anwendungsbeispiele aus der digitalen Meßtechnik**

### **5.4. Zählschaltungen**

**Prinzip einer Zählschaltung mit bistabilen Baustufen**

**Selbständiges Aneignen der Grundlagen des dualen  
Zahlensystems**

**Anfertigen einer Übersicht über duale Ver-  
schlüsselung von Dezimalzahlen (Kodierung)**

**Schaltung einer viergliedrigen Binärzählkette mit bistabilen Mul-  
tivibratoren**

**Aufstellen einer Wertetafel für die Kodierung  
Vergleichen der Arbeitsweise der Zählkette  
mit der Wertetafel**

**Anwendung von Zählschaltungen**

### **5.5. Logikschaltungen**

**Logische Grundoperationen: Konjunktion, Disjunktion, Negation**

**Zusammenstellen der logischen Grundoperationen  
und der dazugehörigen Belegungstabelle**

**Schaltungstechnische Realisierung logischer Grundoperationen  
durch binäre Schaltelemente - Symbolik**

**Schaltung und Arbeitsweise des passiven UND-Gliedes, des passi-  
ven ODER-Gliedes, des Negators**

**Aufstellen der Wertetafeln**

**Aufbauen der Schaltungen und Überprüfen der  
Arbeitsweise der Schaltungen**

**Einsatz von Logikschaltungen in der elektronischen Datenverarbei-  
tung und in der Automatisierungstechnik (Beispiele)**

### **Experimente**

**Aufbau eines bistabilen Multivibrators - Untersuchung des Schalt-**

**verhaltens**

**Bau eines Schmitt-Triggers - Untersuchung der Arbeitsweise durch verschiedene Arten der Ansteuerung**

**Schalten einer viergliedrigen Zählkette mit bistabilen Multivibratoren - Zählen von Impulsen**

**Aufbau logischer Grundschaltungen - Überprüfen der Arbeitsweise anhand der Wertetafeln**

**6. Entwicklungstendenzen der Elektronik**  
=====

**2 Stunden**

**Bedeutung und Notwendigkeit der Miniaturisierung elektronischer Schaltungen**

**Gesichtspunkte für die Entwicklung moderner Technologien: Verringerung von Masse und Größe elektronischer Schaltungen, Erhöhung der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer elektronischer Bauelemente**

**Überblick über moderne Technologien in der Elektronik: Subminiaturtechnik, Mikromodultechnik, integrierte Schaltungen**

**Molekularelektronik als Weiterentwicklung der Mikroelektronik**

## Literaturhinweise für den Lehrer

Broschürenreihe "Der praktische Funkamateur". Heft 69 bis 71, Deutscher Militärverlag, Berlin.

Elektronisches Jahrbuch für den Funkamateur. Deutscher Militärverlag, Berlin.

Jakubaschk, H.: Das große Elektronikbastelbuch. 3. erweiterte Auflage, Deutscher Militärverlag, Berlin 1968.

Rumpf, K.-H.: Bauelemente der Elektronik. 6. Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1968.

Rumpf, K.-H. und M. Pulvers: Transistor-Elektronik. VEB Verlag Technik, Berlin 1964.

Wahl, R.: Elektronik für Elektromechaniker. VEB Verlag Technik Berlin 1968.

Lehrgang Elektronenstrahloszillograph und seine  
Anwendung

Der Plan für den fakultativen  
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht  
in der Erweiterten Oberschule  
Lehrgang Elektronenstrahloszillograph  
und seine Anwendung  
tritt am 1. September 1969  
in Kraft.

Berlin, April 1969

Ministerium für Volksbildung  
Prof. Dr. Kaiser  
Stellvertreter des Ministers

## Vorbemerkung

In diesem Lehrgang sollen die Schüler ihre Kenntnisse über Schwingungslehre, elektrisches Feld, Elektronenemission und Wechselstromtechnik auf Probleme der Meßtechnik und Elektronik anwenden und dabei festigen und vertiefen. Die Schüler sollen den Aufbau, die Arbeitsweise und die Anwendung des Elektronenstrahloszillographen kennenlernen, das Deuten von Oszillogrammen und das Bedienen des verwendeten Oszillographen erlernen. Sie sollen ihre Fähigkeiten zum Lesen von Schaltplänen vervollkommen und das Aufbauen elektrischer Schaltungen üben.

Die Schüler sollen erkennen, daß der Elektronenstrahloszillograph als ein universelles Anzeige- und Meßgerät in Forschungsinstituten aller naturwissenschaftlicher Richtungen, in der Produktion, in der Reparaturpraxis, im Gesundheits- und im Verkehrswesen sowie in der Landesverteidigung unserer Republik angewandt wird.

Die ersten beiden Stoffeinheiten des Lehrganges sind nach Möglichkeit vollständig zu behandeln. Aus den folgenden Stoffeinheiten sollte der Lehrer eine Auswahl treffen:

Variante A: Der Lehrer behandelt entweder die Stoffeinheit drei oder die Stoffeinheit vier.

Variante B: Der Lehrer behandelt aus den Stoffeinheiten drei und vier jeweils nur einige Experimente.

Der Lehrgang bietet Möglichkeiten zur inhaltlichen Koordinierung mit der wissenschaftlich-praktischen Arbeit der Schüler, die auf der Grundlage der Rahmenprogramme Elektrotechnik, Elektronik und BMSR-Technik tätig sind.

Zur Förderung der Selbsttätigkeit der Schüler stehen das weitgehend selbständige Aufbereiten des in den Klassen 9 und 10 erworbenen Wissens, das Einordnen dieser Kenntnisse in größere Zusammenhänge, die Arbeit mit Literatur und insbesondere das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten von Experimenten im Mittelpunkt der Unterrichtsstunde. Anhand einfacher Schaltungen werden deren Arbeitsweise sowie die Funktion der wichtigsten Schaltelemente eingehend untersucht. Zu diesem Zweck sollten wichtige Parameter der Schaltung geändert werden, indem Schaltelemente mit verschiedenen Daten eingesetzt werden. Zur Auswertung der Experimente

sollen vor allem Oszillogramme gezeichnet und gedeutet werden. Die Möglichkeit, Fotos von Oszillogrammen anzufertigen, sollte genutzt werden.

Für die experimentelle Arbeit der Schüler werden im Lehrgang mindestens zwei Oszillographen benötigt.

Die Bestimmungen des Arbeits- und Brandschutzes sind bei allen experimentellen Aufgaben zu berücksichtigen.<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Vgl. Richtlinie für den Arbeits- und Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerschulischen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften (Verfügungen und Mitteilungen des Ministeriums für Volksbildung und des Staatlichen Amtes für Berufsausbildung 1967, Nr. 12 vom 30.6.67).

## Thematische Übersicht

Gesamtstundenzahl für den Lehrgang: 25 Stunden

1. Aufbau und Wirkungsweise des Elektronenstrahloszillographen 7 bis 10 Stunden
  - 1.1. Erzeugung freier Elektronen
  - 1.2. Beschleunigung und Ablenkung von Elektronen
  - 1.3. Zeitablenkung am Oszillographen
  
2. Einsatz des Oszillographen zur Untersuchung des Verlaufs veränderlicher elektrischer Vorgänge 5 bis 8 Stunden
  - 2.1. Untersuchung von Gleichrichterschaltungen
  - 2.2. Untersuchungen an Trioden
  - 2.3. Untersuchung gedämpfter Schwingungen
  
3. Frequenzmessung mittels Lissajousscher Figuren und Bestimmung von Phasenverschiebungen 5 bis 8 Stunden
  - 3.1. Bestimmung der Phasenverschiebung
  - 3.2. Frequenzmessung mittels Lissajousscher Figuren
  
4. Frequenzmessung mittels Hellmarken 5 bis 8 Stunden

## Inhalt des Lehrganges

### 1. Aufbau und Wirkungsweise des Elektronen-

#### strahloszillographen

7 bis 10 Stunden

Zu Beginn werden die Schüler anhand populärwissenschaftlicher Literatur (z. B. "Jugend und Technik") über die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten des Elektronenstrahloszillographen informiert.

Die Elektronenstrahlröhre steht zunächst im Mittelpunkt der Untersuchungen. Dabei werden die Kenntnisse aus dem Physikunterricht der Klasse 9 wiederholt und angewandt. Die Erzeugung freier Elektronen durch Glühemission und ihre Beschleunigung im elektrischen Feld sowie die Eigenschaften von Katodenstrahlen werden vertiefend behandelt. Die Beschleunigung der Elektronen im elektrischen Feld wird mit entsprechenden Gesetzmäßigkeiten aus der Kinematik und Dynamik verglichen. Nachdem einfache Spannungsmessungen von den Schülern durchgeführt worden sind, soll die Bedeutung der Zeitablenkung erläutert werden. Am Beispiel eines Glühlampenkippperätes wird den Schülern das Prinzip der Zeitablenkung erklärt. Dazu werden charakteristische Eigenschaften einer Glühlampe erarbeitet. Andere Kippspannungserzeuger werden erwähnt.

#### 1.1. Erzeugung freier Elektronen

Glühelktrischer Effekt (Wiederholung)

Ablösearbeit - Erläuterung des Begriffs, Energieumwandlungen (qualitativ)

Aufbau einer Braunschen Röhre mit Glühkatode

Ausführungsformen der Katode der Elektronenstrahlröhre

Vergleichen von Röhrendiode und Elektronenstrahlröhre (Form und Lage von Katode und Anode)

#### 1.2. Beschleunigung und Ablenkung von Elektronen

Beschleunigung des Elektrons im elektrischen Feld

Die Einheit 1 eV

Anwenden der Kenntnisse aus der Elektro-

## statik und Mechanik

Entstehung und Eigenschaften von Katodenstrahlen (Wiederholung)

Aufgabe und Wirkungsweise des Wehneltzylinders

Vergleich mit der Wirkung des Gitters der Triode

Ablenkung der beschleunigten Elektronen im elektrischen Quer-

feld, Ableitung einer einfachen mathematischen Beziehung

Berechnen der Ablenkung

Vergleichen mit analogen mechanischen

Problemen

Bestimmung der Ablenkempfindlichkeit

Messen von Spannungen (Gleich- und Wechselspannungen)

Hinweis auf Ablenkung der Elektronen im magnetischen Querfeld (Fernsehen, Radar)

### 1.3. Zeitablenkung am Oszillographen

Begriff "Zeitablenkung"

Notwendigkeit der Zeitablenkung zur Darstellung zeitlich veränderlicher Vorgänge

Vergleichen der Ablenkungsrichtungen des Elektronenstrahls ( $x$ ,  $y$ ) mit der Darstellung im Kartesischen Koordinatensystem

Zünd- und Löschspannung einer Glimmlampe

Aufnehmen und Deuten der Kennlinie einer Glimmlampe

Erzeugung von Glimmkipperschwingungen

Wiederholen der Kenntnisse über den Kondensator

Synchronisation von Glimmkipperschwingungen

Hauptnachteil eines Glimmlampenkippergerätes (nichtlineare Ablenkung)

Darstellung sinusförmigen Wechselstroms mit dem Oszillographen

Bedienen des Oszillographen

## Experimente

Nachweisen des glühelektrischen Effekts  
Demonstration der Wirkungsweise der Elektronenstrahlröhre  
Bestimmen der Ablenkeempfindlichkeit  
Aufnehmen der Kennlinie einer Glimmlampe  
Erzeugung von Glimmkippschwingungen  
Synchronisation von Glimmkippschwingungen  
Demonstration des Hauptnachteils eines Glimmlampenkippergerätes

2. Einsatz des Oszillographen zur  
\*\*\*\*\*  
Untersuchung des Verlaufs veränderlicher  
\*\*\*\*\*  
elektrischer Vorgänge  
\*\*\*\*\*

5 bis 8 Stunden

In dieser Stoffeinheit werden Anwendungen des Oszillographen zunächst an Beispielen besprochen, die den Schülern aus dem obligatorischen Unterricht bekannt sind (Gleichrichterwirkung von Dioden, Trioden, gedämpfte Schwingungen). Die Schüler sollen das Oszillogramm der Gleichrichterwirkung einer Diode aufnehmen und nach dessen Deutung die Notwendigkeit der Zweiweggleichrichtung erkennen.

Bei der Aufnahme der Kennlinie einer Triode sollen die Schüler erfahren, daß durch den Einsatz des Oszillographen eine erhebliche Zeitednsparung gegenüber der punktwisen Kennlinienaufnahme möglich ist. Die Verstärkerwirkung und der Verstärkungsgrad können durch oszillographische Messung der Spannungen am Gitter und am Arbeitswiderstand bestimmt werden.

Beim Untersuchen gedämpfter Schwingungen erkennen die Schüler Möglichkeiten der Erzeugung stehender Oszillographenbilder schnell abklingender Vorgänge.

### 2.1. Untersuchung von Gleichrichterschaltungen

Wirkungsweise einer Röhrendiode (Wiederholung)  
Einweg- und Doppelweggleichrichtung;  
Duodiode, Graetzschaltung  
Glättung der Gleichspannung mit Siebkette

Anwenden der Kenntnisse über die Wirkung von  
Kondensatoren und Spulen

## 2.2. Untersuchungen an Trioden

Oszillographische Aufnahme der  $I_A-U_G$ -Kennlinie (statisch) einer  
Triode bei konstanter Anodenspannung  $U_A$

Beschreiben des Einflusses der Anodenspannung auf  
die Kennlinienform

Spannungsverstärkung und Verstärkungsgrad

Nachweisen der Spannungsverstärkung mit dem  
Oszillographen

Notwendigkeit der Gittervorspannung für eine verzerrungsfreie  
Verstärkung

Erzeugung der Gittervorspannung mit dem Katodenwiderstand

Verstärkung sinusförmiger Spannungen mit geeigneter und ohne Git-  
tervorspannung - Oszillographischer Nachweis

Einfluß des Außenwiderstandes auf Verstärkung und Kennlinienform  
(dynamische Kennlinie)

Vergleichen verschiedener Kennlinien nach  
Steilheit und Form

Beurteilen verschiedener Typen von Trioden nach  
ihren Kennlinien

## 2.3. Untersuchung gedämpfter Schwingungen

Erzeugung gedämpfter Schwingungen im elektrischen Schwingkreis  
(Wiederholung)

Darstellung von gedämpften Schwingungen mit dem Oszillographen

Erzeugung stehender Bilder kurzzeitiger Vorgänge

Beobachten des Einflusses des Selbstinduktions-  
koeffizienten der Spule und der Kapazität des  
Kondensators auf die Frequenz

Deuten der Thomsonschen Schwingungsgleichung -  
Vergleichen mit der experimentellen Beobachtung

## Experimente

Oszillographischer Nachweis der Einweggleichrichtung mit Röhren-  
diode

Oszillographischer Nachweis der Doppelweggleichrichtung  
Oszillographische Aufnahme der  $I_A-U_G$ -Kennlinie einer Triode  
Nachweis der Verstärkerwirkung der Triode mit dem Oszillographen  
Oszillographischer Nachweis des Einflusses der Gittervorspannung  
auf die Verstärkung  
Nachweis gedämpfter Schwingungen mit dem Oszillographen

### 3. Frequenzmessung mittels Lissajousscher Figuren

=====

und Bestimmung von Phasenverschiebungen 5 bis 8 Stunden

=====

Die Behandlung der Lissajousschen Figuren soll die in der Klasse 10 erarbeiteten Kenntnisse über elektrische Schwingungen erweitern.

Im Zusammenhang mit der Bestimmung der Phasenverschiebung, die den Schülern aus dem obligatorischen Unterricht der Klasse 10 bekannt ist, wird die Notwendigkeit der Phasenkompensation in der Elektroenergiewirtschaft erklärt. Bei der Messung von Frequenzen mit dem Oszillographen werden Kenntnisse über die Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen vertieft und auf die Frequenzmessung mit Hilfe von Lissajousschen Figuren angewandt.

#### 3.1. Bestimmung der Phasenverschiebung

Wiederholung der Kenntnisse über Spule und Kondensator im Wechselstromkreis (Widerstände, Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung)

Nachweis der Phasenverschiebung mit einem Zweistrahloszillographen (Prinzip)

Nachweis der Phasenverschiebung mit dem Einstrahloszillograph über Umschalter

Darstellen der Phasenverschiebung mit Umschalter  
und elektronischem Schalter

Deuten der Oszillogramme

Entstehung von Lissajousschen Figuren

Darstellung der Phasenverschiebung mit Lissajousschen Figuren  
( $\varphi = 0^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $0 < \varphi < 90^\circ$ )

Untersuchung der Phasenverschiebung bei Elektromotoren in Ab-

## hängigkeit von der Belastung

Begründen der volkswirtschaftlichen Notwendigkeit der Phasenkompensation  
Schlußfolgern auf wirtschaftlichen Einsatz von Elektromotoren

### 3.2. Frequenzmessung mittels Lissajousscher Figuren

Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen (Wiederholung)

Meißnerschaltung, Dreipunktschaltung

Aufbauen von Tonfrequenzgeneratoren

Frequenzmessung mit Lissajousschen Figuren

#### Experimente

Oszillographischer Nachweis der Phasenverschiebung an Spulen und Kondensatoren

Bestimmen des Phasenwinkels eines Elektromotors

Kontrolle einer Phasenkompensation

Aufbauen einer Meißnerschaltung

Messen von Frequenzen mittels Lissajousscher Figuren

Hinweis: Für die Experimente können als Eichfrequenzen Normalfrequenzen oder Zeitzeichen, die während der Sendepausen von Rundfunksendern ausgestrahlt werden, dienen. Sie werden hierzu auf Tonband aufgezeichnet. Es eignet sich auch eine Stimmgabelschaltung.

### 4. Frequenzmessung mittels Hellmarken

5 bis 8 Stunden

\*\*\*\*\*

In dieser Stoffeinheit wird gezeigt, wie durch Zusatzgeräte beziehungsweise Hilfsschaltungen der Anwendungsbereich des Oszillographen erweitert werden kann. Das Beispiel der Eingabe von Hellmarken erlaubt zugleich, die Schüler an einige Fragen der Impulstechnik heranzuführen. Die Kenntnisse der Schüler über die Aufgabe des Wehneltzylinders sowie über den elektrischen Schwingkreis bilden die Grundlage für die Arbeit in dieser Stoffeinheit.

Wirkungsweise des Wehneltzylinders (Wiederholung)

Rücklaufstrahlunterdrückung

Erzeugung von rechteckförmigen Spannungen (z. B. mittels Diodenbegrenzer)

Umwandlung der rechteckförmigen Spannung in einen Nadelimpuls durch ein Differenzierglied

Erläutern der Wirkungsweise eines  
RC-Differenziergliedes

Ausnutzung der Impulse zur Eingabe von Hellmarken  
Hellmarken als Maß für Zeitdifferenzen

Bestimmen der durch Hellmarken angegebenen  
Zeitdifferenzen

Frequenzmessungen durch Hellsteuerung  
Der Schwingkreis als frequenzabhängiger Widerstand

Bestimmen der Resonanzfrequenz  
eines Schwingkreises

### Experimente

Aufbauen eines Diodenbegrenzers zur Erzeugung rechteckförmiger Spannungen

Aufbauen eines Differenziergliedes zur Erzeugung von Nadelimpulsen

Vergleichen von Frequenzen mittels Hellmarken

Untersuchungen am Schwingkreis als frequenzabhängiger Widerstand

Aufnahme der Resonanzkurve eines Schwingkreises

Literaturhinweise für den Lehrer

Weber, G.: Der Elektronenstrahloszillograf und sein Einsatz in der Schule. Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin