

Plan für den fakultativen
mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht
in der Erweiterten Oberschule

Lehrgang Festkörperphysik

**Ministerrat der Deutschen Demokratischen Republik
Ministerium für Volksbildung**

**Plan für den fakultativen
mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht
in der Erweiterten Oberschule**

Lehrgang Festkörperphysik

**V
W Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin • 1985
V**

2. Auflage

Ausgabe 1983

Lizenz Nr. 203/1000/85 (UN 02 30 69-2)

LSV 0670

Printed in the German Democratic Republic

**Gesamtherstellung: (52) Nationales Druckhaus, Betrieb der
VOB National, Berlin**

Bestellnummer: 707 816 3

00100

Der Plan für den fakultativen
mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht
in der Erweiterten Oberschule
Lehrgang Festkörperphysik
tritt am 1. September 1983 in Kraft.

Berlin, September 1982

Parr
Stellvertreter des Ministers
für Volksbildung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Ziele und Aufgaben	5
Hinweise zur methodischen und organisatorischen Gestaltung des fakultativen Unterrichts	7
Stoffübersicht und Stundenverteilung	10
Einführungslehrgang: Kristalle, Kristallaufbau, Kristallisation	12
Teillehrgang 1: Mechanische und thermische Eigenschaften von Ideal- und Realkristallen	23
Teillehrgang 2: Elektrische Eigenschaften von Festkörpern	32
Teillehrgang 3: Fotoelektrische Eigenschaften von Festkörpern	42
Teillehrgang 4: Magnetische und thermoelek- trische Eigenschaften von Festkörpern	52
Ausstattungsplan für Unterrichtsmittel	59

Ziele und Aufgaben

Die Schüler erwerben in diesem Lehrgang sicheres und anwendungsbereites Wissen und Können aus grundlegenden Gebieten der Festkörperphysik. Ausgehend vom Aufbau des Festkörpers lernen die Schüler mechanische, thermische, elektrische, fotoelektrische, magnetische und thermoelektrische Eigenschaften der Festkörper, deren Anwendungen und Untersuchungsmethoden kennen. Sie erhalten dabei tiefere Einsichten in wissenschaftliche, technische und technologische Probleme, erfassen das Zusammenwirken von Wissenschaft, Technik und Ökonomie. Sie sollen erkennen, daß die Festkörperphysik wesentliche Voraussetzungen für moderne Technologien, insbesondere bei der Herstellung elektronischer Bauelemente und integrierter Schaltkreise schafft, daß Ergebnisse der Forschungen auf dem Gebiet der Festkörperphysik die Entwicklungstendenzen verschiedener Zweige der Volkswirtschaft beeinflussen.

Der Lehrgang baut auf dem im obligatorischen Unterricht der Klassen 6 bis 10 erworbenen Wissen und Können auf. Die Schüler festigen dabei grundlegendes Wissen aus der Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Optik und Mechanik. Im Mittelpunkt steht die Erklärung makrophysikalischer Vorgänge mit Hilfe der Kenntnisse über das Verhalten von Atomen, Ionen und Molekülen, deren Wechselwirkungen und Energiezustände. Die Schüler lernen, daß ein und derselbe physikalische Sachverhalt durch unterschiedliche Modelle (Energiebändermodell, Elektronenmodell für elektrische Leitungsvorgänge) dargestellt werden kann und daß dadurch verschiedene Seiten der Wirklichkeit genauer erfaßt werden können.

Durch das Lösen von experimentellen und mathematisch-physikalischen Aufgaben sowie von Konstruktionsaufgaben werden das Wissen und Können der Schüler gefestigt und ihre schöpferischen Fähigkeiten weiterentwickelt.

Die Verflechtung von experimentellen und theoretischen Tätigkeiten beim Lösen von Aufgaben trägt dazu bei, ein hohes Niveau der Selbständigkeit und Aktivität der Schüler zu sichern und ihre Interessen an wissenschaftlichen Tätigkeiten zu festigen. Die Schüler werden daran gewöhnt, die von einer Arbeitsgruppe auszuführenden Tätigkeiten kollektiv zu planen und ihre indi-

viduellen Fähigkeiten voll für die Realisierung der Aufgaben einzusetzen.

Die Festigung und Weiterentwicklung weltanschaulicher Überzeugungen und Verhaltensweisen wird bei der Behandlung vieler Sachverhalte der Festkörperphysik ermöglicht (Erkenntnismethoden bei der Entwicklung der Festkörperphysik; Werkstoffentwicklung; Energieversorgung; Mikroelektronik; geschichtliche Entwicklung der Festkörperphysik).

Den Schülern wird der Unterschied zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen bewußtgemacht; sie festigen ihr Wissen und Können beim Anwenden von Modellen; sie vertiefen ihre Einsicht über den Zusammenhang von gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Entwicklung.

Die Schüler erhalten Einblick in die zunehmende Verflechtung von Wissenschaftsentwicklung und technischem Fortschritt. Sie erkennen, daß Untersuchungsmethoden der Festkörperphysik in vielen anderen Wissenschaften (Chemie, Biologie, Medizin) angewendet werden. Solche Untersuchungsmethoden sind unter anderen die optische Mikroskopie, die Röntgenstrukturanalyse, die Elektronenmikroskopie und Untersuchungen der mechanischen, thermischen und elektrischen Eigenschaften der Stoffe. Bei der Darstellung der Leistung hervorragender Wissenschaftler auf dem Gebiet der Festkörperphysik (Hooke, Debye, Brewster, Joffé, Frenkel, von Laue, Bohr, Dirac, Bragg, Barkhausen) wird deutlich gemacht, daß durch intensive wissenschaftliche Arbeit und internationale Zusammenarbeit Fortschritte auf wissenschaftlichen und ökonomischen Gebieten möglich werden.

Im Lehrgang Festkörperphysik erwerben die Schüler Wissen und Können, das auch der Vorbereitung auf ein Studium auf naturwissenschaftlichem, technischem und medizinischem Gebiet dient. Sie werden mit wichtigen Arbeitsverfahren der Physik, z. B. Oberflächenuntersuchungen, Verfahren der Strukturaufklärung, Arbeiten mit Modellen vertraut gemacht. Die Bereitschaft und das Können, sich neues Wissen unter Verwendung geeigneter Literatur selbständig anzueignen, Dokumentationen anzufertigen und sich in Vorträgen zusammenhängend und auf Wesentliches konzentriert zu äußern, werden weiterentwickelt.

Hinweise zur methodischen und organisatorischen Gestaltung des fakultativen Physikunterrichts

Im Sinne einer intensiven Vorbereitung auf ein Hochschulstudium wird der fakultative Unterricht "Festkörperphysik" so geführt, daß die Schüler grundlegende Begriffe und Gesetze der Festkörperphysik in möglichst selbständiger, aktiver Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsstoff erarbeiten. Dazu werden Problemsituationen geschaffen, bei deren Bearbeitung den Schülern deutlich wird, daß das eigene Wissen und Können ständig vervollkommenet werden muß. Das Erkenntnisinteresse der Schüler wird weiterentwickelt. Das kann beispielsweise durch Gegenüberstellung widersprüchlich erscheinender Sachverhalte geschehen (Kristallfehler setzen die mechanischen Eigenschaften von Festkörpern herab, sie können aber auch die Festigkeit von Werkstoffen erhöhen).

Der Unterricht wird methodisch so geführt, daß die Schüler die enge Verbindung der Festkörperphysik zu verschiedenen Bereichen der Technik erkennen. Die Bedeutung festkörperphysikalischer Erkenntnisse und Forschungen für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt wird an Beispielen verdeutlicht (Festigkeit von Werkstoffen; Hitzebeständigkeit von Werkstoffen; Herstellung von Einkristallen für die Mikroelektronik; Einsatz von Lumineszenzdioden; Verbesserung der magnetischen Eigenschaften von Werkstoffen). Beim Lösen von Aufgaben werden vielseitige Schülerfertigkeiten gefordert (Experimentieren; Literatur auswerten; Vorträge vorbereiten; Modelle anwenden; Bauelemente untersuchen). Die Ergebnisse werden vorgetragen und diskutiert. Dabei wird zu weiteren Untersuchungen angeregt.

Langfristige Aufgabenstellungen sind einzelnen Schülergruppen zu übergeben. Sie erfordern ein gründliches Literaturstudium und ein kollektives Zusammenarbeiten der Schüler einer Arbeitsgruppe. Der Lehrer unterstützt dabei die Schüler, indem er in Konsultationen Literaturhinweise gibt, aufgetretene Probleme beim Experimentieren mit ihnen diskutiert und Hinweise zur Verbesserung der Technik der geistigen Arbeit gibt. Die Ergebnisse der langfristigen Arbeiten werden vor allen Schülern bei der Behandlung der zugehörigen Inhalte vorgetragen oder für Ausstellungen und Wandzeitungen genutzt.

Beispiele für langfristige Aufgabenstellungen sind:

- Literaturarbeiten zur Herstellung von Dokumentationen zur Vorbereitung von Vorträgen und zur Gestaltung von Wandzeitungen,
- experimentelle Untersuchungen,
- Anfertigen von Zeittafeln,
- Anlegen von Sammlungen (Bauelemente; Gesteine; Minerale).

Zur Sicherung der Lebensverbundenheit des fakultativen Unterrichts kann dieser methodisch vielfach so gestaltet werden, daß von einer Untersuchung konkreter Erscheinungen an Festkörpern ausgegangen wird (Biegefestigkeit; Leitfähigkeit; Magnetisierbarkeit; Oberflächeneigenschaften). Der Schüler soll diese konkreten Erscheinungen in der Regel experimentell untersuchen. Von diesen Untersuchungen ausgehend werden Gesetze erarbeitet oder mikrophysikalische Erklärungen vorgenommen (Hooksches Gesetz; Bindungskräfte zwischen den Teilchen unterschiedlicher Stoffe). Nach diesem Vordringen zu den Gesetzen werden Aufgaben gelöst und praktische Beispiele diskutiert (algebraische Aufgaben zum Hookschen Gesetz; Rolle der Festigkeit im Industrieleichtbau oder in der Flugzeugindustrie).

Verbale Leistungseinschätzungen können im Unterricht erfolgen bei

- Diskussionen über die Qualität von Vorträgen,
- Aussprachen über die Termineinhaltungen bei Teilaufgaben,
- Einschätzungen der Qualität geistiger und geistig-praktischer Tätigkeiten,
- Verteidigungen kollektiver Arbeitsergebnisse vor dem Lehrgangskollektiv, der Elternschaft oder dem Patenbetrieb.

Der Plan für den fakultativen Lehrgang "Festkörperphysik" ist für maximal 125 Stunden vorgesehen. Er besteht aus einem Einführungslehrgang und vier Teillehrgängen. Damit erhält der Lehrer die Möglichkeit, die drei zur Verfügung stehenden Wochenstunden für den fakultativen Unterricht entsprechend den gegebenen örtlichen Bedingungen zu nutzen. Die Behandlung des Einführungslehrgangs ist verbindlich, weil in ihm die Grundlagen für das Verständnis festkörperphysikalischer Vorgänge vermittelt werden. Der Lehrer kann den Einführungslehrgang mit jedem der vier Teillehrgänge einzeln oder mit mehreren zu einem Gesamtlehrgang von 50, 75, 100 oder 125 Stunden zusammenstellen. Der Lehrgang kann entweder nur in Klasse 11 oder nur in Klasse 12 oder in den Klassen 11 und 12 durchgeführt werden. Die geringfügigen Überschneidungen in den Zielen und Inhalten der Teil-

lehrgänge müssen bei der Planung des Unterrichts berücksichtigt werden. Die im Plan vorgegebene Stoffabfolge ist nicht verbindlich. Die Angaben über die Unterrichtsstunden für einzelne Stoffkomplexe sind Empfehlungen.

Die Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht, auf denen der fakultative Unterricht aufbaut, sind bei den einzelnen Abschnitten angegeben. Nur bei Grundlagen aus anderen Unterrichtsfächern werden das Fach und die Klassenstufe angegeben.

Die ausgewiesenen Schülertätigkeiten im Plan stellen eine mögliche Auswahl dar. Es kann nicht erwartet werden, daß jeder Schüler alle angegebenen Schülertätigkeiten ausführt, doch ist anzustreben, daß die Schüler möglichst viele Tätigkeiten selbständig durchführen. Dabei sollten einzelnen Schülern Aufgaben individuell erteilt werden, deren Anforderungsniveau ihrem Leistungsvermögen entspricht. Schülertätigkeiten, die von jedem Schüler ausgeführt werden sollten, weil in ihnen der Schwerpunkt des Stoffabschnittes erfaßt wird, sind durch ein (x) nach der Angabe und langfristige Aufgaben durch (l = langfristige, S = Schüleraufträge) gekennzeichnet.

Bei der Durchführung von Demonstrations- und Schülerexperimenten ist die Anweisung Nr. 2/84 vom 1. Februar 1984 zum Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften (VuM Nr. 2/84) in der Fassung der 2. Anweisung vom 12. September 1984 (VuM Nr. 8/84) unbedingt einzuhalten. Besonders beim Arbeiten mit Chemikalien ist der Abschnitt III "Umgang mit Chemikalien" zu beachten.

Experimente, bei denen Gifte der Abteilung 2 eingesetzt werden, dürfen nur von Lehrern, die über den Befähigungsnachweis für Giftbeauftragte zum Umgang mit Giften der Abteilung 2 verfügen, durchgeführt werden.

Da der fakultative Unterricht zum Lehrgang "Festkörperphysik" nicht an Voraussetzungen aus dem obligatorischen Unterricht der Klassen 11 und 12 gebunden ist, können Schüler beider Klassen am Unterricht teilnehmen, wenn dieser nur in einem Schuljahr durchgeführt wird.

Lehrerliteratur ist mit L, Schülerliteratur mit S gekennzeichnet.

Stoffübersicht und Stundenverteilung

Gesamtstundenzahl für den Lehrgang 125 Stunden

Einführungslehrgang

Kristalle, Kristallaufbau, Kristallisation	<u>25 Stunden</u>
1. Einführung in die Festkörperphysik	2 Stunden
2. Einkristalle, Polykristalle, amorphe Stoffe	6 Stunden
3. Kristallisation und Kristallzüchtung	8 Stunden
4. Kristallaufbau und Bindungsarten	6 Stunden
5. Historische Entwicklung der Festkörperphysik und ihre zukünftigen Aufgaben	3 Stunden

Teillehrgang 1

Mechanische und thermische Eigenschaften von Ideal- und Realkristallen	<u>25 Stunden</u>
1. Realkristalle	6 Stunden
2. Mechanische Eigenschaften von Festkörpern	5 Stunden
3. Röntgenfeinstrukturanalyse	6 Stunden
4. Elektronenmikroskopische Untersuchung an Festkörpern	3 Stunden
5. Thermische Eigenschaften von Festkörpern	5 Stunden

Teillehrgang 2

Elektrische Eigenschaften von Festkörpern	<u>25 Stunden</u>
1. Energiebändermodell für Festkörper	7 Stunden
2. Elektrische Leitung in n- und p-Halbleitern und in np-Übergängen - Halbleiterdiode	6 Stunden
3. Elektrische Leitung in npn-Übergängen - Transistor	7 Stunden
4. Ausblick auf die Mikroelektronik	5 Stunden

Teillehrgang 3

Fotoelektrische Eigenschaften von Festkörpern	<u>25 Stunden</u>
1. Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung durch Festkörper	6 Stunden
2. Äußerer Photoeffekt - Fotozelle	4 Stunden
3. Innerer Photoeffekt - Fotowiderstand	4 Stunden

- | | |
|---|-----------|
| 4. Sperrschichtfotoeffekt - Fotoelement,
Fotodiode, Fototransistor | 7 Stunden |
| 5. Lumineszenz - Lumineszenzdiode | 4 Stunden |

Teillehrgang 4

Magnetische und thermoelektrische Eigenschaften von Festkörpern

25 Stunden

- | | |
|---|------------|
| 1. Magnetisches Feld und Magnetisierung von
Festkörpern | 6 Stunden |
| 2. Magnetische Eigenschaften von Festkörpern
und deren Anwendung | 10 Stunden |
| 3. Thermoelektrische Eigenschaften von Fest-
körpern und deren Anwendung | 9 Stunden |

Einführungslehrgang

Kristalle, Kristallaufbau, Kristallisation

25 Stunden

Stoffübersicht

1. Einführung in die Festkörperphysik	2 Stunden
2. Einkristalle, Polykristalle, amorphe Stoffe	6 Stunden
3. Kristallisation und Kristallzüchtung	8 Stunden
4. Kristallaufbau und Bindungsarten	6 Stunden
5. Historische Entwicklung der Festkörperphysik und ihre zukünftigen Aufgaben	3 Stunden

Vorbemerkungen

Die Schüler werden mit der Vielfalt der Festkörpererscheinungen sowie der Breite und Bedeutung ihrer Anwendung in der Praxis bekannt gemacht. Dazu wird ein Überblick über wichtige Teilgebiete der Festkörperphysik und deren Anwendung gegeben. Anhand ausgewählter Beispiele erfolgt für einige Fälle eine Konkretisierung. Probleme der Werkstoffwissenschaft werden im Zusammenhang mit der Rohstoffsituation in der Welt und den erhöhten Anforderungen an die Eigenschaften von Werkstoffen erläutert.

Den Schülern wird die Abhängigkeit der Eigenschaften eines Festkörpers vom Kristallaufbau erläutert. Über die historische Entwicklung der Festkörperphysik erarbeiten die Schüler selbständig eine Zeittafel. Die Schüler lernen den Unterschied zwischen Einkristallen und Polykristallen am Beispiel von Gestein und Rauchquarz sowie von Eisen als Werkstoff und in Form von Whiskern kennen. Der Unterschied in der Anordnung der Kristallbausteine in Einkristallen, Polykristallen und amorphen Stoffen wird herausgearbeitet. Dabei werden die Ergebnisse mikroskopischer Beobachtungen genutzt.

Aus der regelmäßigen Anordnung der Kristallbausteine im Gitter wird die Anzahl der in einem Raumgebiet vorhandenen Bausteine abgeschätzt. Auf die Bedeutung der Eigenschaften von Makromolekülen für die Lebensvorgänge und für den Einsatz als Werkstoff wird an einigen Beispielen eingegangen. Die Energieverhältnisse bei der Anlagerung von Gitterbausteinen bei der Kristallisation werden analysiert. Die Schüler werden mit Grundbegriffen über

Lösungen und Schmelzen vertraut gemacht. Bei der Durchführung einfacher Kristallisationsexperimente werden Veränderungen der Temperatur gemessen.

Die Bedeutung der Reinigung von Rohstoffen für die Kristallzüchtung und die unterschiedlichen Möglichkeiten der Kristallzüchtung werden dargestellt. Auf die Kristallbildung bei der Erdrevolution wird hingewiesen.

Ausgehend von der Untersuchung der Gestalt gezüchteter Kristalle lernen die Schüler die Anordnung der Kristallbausteine im Kristallgitter kennen. Die Bindungsarten werden wiederholt. Grundbegriffe der Kristallographie, die für das Verständnis nachfolgender Inhalte erforderlich sind, werden eingeführt (Elementarzelle, Gitterpunkt, Symmetrie, Netzebenen, Gitterkonstanten).

Im Zusammenhang mit der Analyse des Kristallaufbaus werden die Schüler mit Oberflächenuntersuchungen geätzter Flächen vertraut gemacht. Bei der Darstellung des Unterschiedes zwischen den Begriffen "fester Körper" und "Festkörper" wird auf die historische Entwicklung von Begriffen eingegangen. Beim Begriff Kristall wird der Unterschied zwischen wissenschaftlichen und umgangssprachlichen Begriffen erläutert.

Inhalt des Lehrgangs

1. Einführung in die Festkörperphysik

2 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Aufbau der Stoffe aus Atomen, Ionen und Molekülen; Kräfte zwischen den Teilchen; Leitungsvorgänge in Leitern und Halbleitern; magnetische Felder; elektrische Felder; Ausbreitung elektromagnetischer Wellen

- Überblick über wichtige Teilgebiete der Festkörperphysik
- Elastizität und Plastizität von Festkörpern; Nutzung dieser Eigenschaften für Anwendungen
- Piezoelektrizität und ihre Anwendungen
- Elektrische Leitung in Metallen und Halbleitern; die Miniaturisierung von Meß- und Steuergeräten durch den Einsatz von mikroelektronischen Schaltkreisen
- Der Sperrschichtfotoeffekt und seine Anwendung in Solarzellen auf Siliziumbasis; Voraussetzungen für die Produktion von Solarzellen

Schülertätigkeiten

- Untersuchen des elastischen Verhaltens einiger Festkörper
- Beschreiben makrophysikalischer Eigenschaften von Festkörpern
- Untersuchen eines Selenfotoelementes

Methodische Hinweise

Die methodische Gestaltung des Unterrichts erfolgt so, daß die Schüler zur selbständigen Tätigkeit angeregt werden. Sie vertiefen dabei Techniken der geistigen Arbeit. Mit den Schülern wird unter Verwendung von Abbildungen, von Diapositiven oder von Berichten über Betriebsbesichtigungen über verschiedene Anwendungsgebiete der Festkörperphysik diskutiert. Einfache Experimente zum mechanischen und fotoelektrischen Verhalten von Festkörpern werden analysiert.

Der Lehrer demonstriert den Aufbau eines NF-Verstärkers mit diskreten Bauelementen und mit einem integrierten Baustein (z. B. A 210).

Als langfristige Aufträge werden einer Arbeitsgruppe die Anfertigung einer Zeittafel über die Entwicklung der Festkörperphysik, einer anderen Arbeitsgruppe die Anfertigung einer Informationswandzeitung für die Schule über einige Anwendungen der Festkörperphysik übertragen.

2. Einkristalle, Polykristalle, amorphe Stoffe

6 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Aufbau fester Körper aus Atomen

Metalle - Nichtmetalle; Makromoleküle; Polyäthylen und Polymerisation; kettenförmige Kohlenwasserstoffe; Polyvinylchlorid; Polymerisation von Buna-Kautschuk (Chemie Klassen 7, 8 und 9)

- Begriff Kristall
- Metalle, Legierungen und Gesteine aus Polykristallen
- Metalle, Salze und Silizium als Einkristalle
- amorphe Stoffe
- Nah- und Fernordnung im Festkörper
- Kristallite in Polykristallen; Kornflächen und Korngrenzen; KorngröÙe

- Anzahl der Gitterbausteine in einem Makrokristall
- Teilchenanordnungen in Makromolekülen, am Beispiel synthetischer Polymere
- Begriff Festkörper und seine historische Wandlung

Schülertätigkeiten

- Betrachten der Oberfläche von Metallen und Gesteinen unter dem Mikroskop (Polykristalle) (x)
- Beobachten des Wachstums von Kristallen aus der Lösung unter dem Mikroskop (Einkristalle) (x)
- Anfertigen von Mikroaufnahmen
- Gegenüberstellen der Nah- und Fernordnung von Gitterbausteinen in Skizzen
- Darstellen von Korngrenzen in Metallen und Legierungen durch Ätzen (l. S.)
- Berechnen der Anzahl von Gitterbausteinen in einem Kristall (x)
- Beobachten des Verhaltens eines Glas- und eines PVC-Stabes bei langandauernder Belastung (l. S.)
- Anfertigen einer Dokumentation über verschiedene Biopolymere (l. S.)

Methodische Hinweise

Die Schüler führen selbständig Beobachtungen der Oberflächen von Metallen und Gesteinen unter dem Mikroskop durch. Sie vertiefen dabei die Einsicht in die Notwendigkeit der Protokollierung qualitativer Beobachtungen.

Es wird eine einfache Geräteanordnung zur Anfertigung von Mikroaufnahmen geplant. Die Beobachtungen des Wachstums von Kristallen aus Lösungen und der Oberflächen von Metallen oder Gesteinen mit dem Mikroskop werden in Schülergruppen durchgeführt. Dabei werden den Schülern die Unterschiede der Struktur der Stoffe deutlich. In einer Diskussion werden die Ergebnisse systematisiert.

Anhand von Diaspositiven oder von Abbildungen werden die Schüler mit verschiedenen Möglichkeiten der regelmäßigen und unregelmäßigen Anordnung der Atome, Ionen oder Moleküle im Kristall vertraut gemacht. Der Begriff Kristallgitter wird eingeführt

und der Unterschied zwischen Nahordnung und Fernordnung der Teilchen bei Flüssigkeiten und Kristallen erläutert.

In einer langfristigen Arbeit erfolgt die Ätzung von Metalloberflächen. Die Kornflächen und Korngrenzen werden skizzenmäßig oder durch Fotografie erfasst. Die Unterschiede zwischen fein- und grobkörnigen Polykristallen sind am Beispiel der Gefüge von Gußeisen zu erläutern.

In einem Langzeiterperiment wird das Verhalten von Polymeren bei Zug- oder Biegebelastung untersucht. Der fadenförmige und verzweigte Aufbau der Makromoleküle wird zur Erklärung herangezogen. Der Mechanismus des Aufrollens fadenförmiger Moleküle beim Kautschuk (Kautschukelastizität) wird erklärt.

Als langfristige Aufgabe erhält eine Schülergruppe den Auftrag, eine Dokumentationsmappe über Aufbau, Eigenschaften und Bedeutung einiger Biopolymere anzufertigen.

Über den angegebenen Stoff hinausgehend können behandelt werden:

- Polarisation des Lichtes und deren Anwendung in der Durchlichtmikroskopie und Spannungsoptik
- Flüssigkristalle und deren Anwendung.

3. Kristallisation und Kristallzüchtung

8 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Innere Energie; Energieerhaltungssatz; Brownsche Bewegung; Schmelzen; Verdampfen; Verdunsten; Schmelztemperatur; Erstarrungswärme

Löslichkeit von Salzen; Temperaturabhängigkeit chemischer Reaktionen (Chemie Klasse 8)

- Ungesättigte, gesättigte und übersättigte Lösungen
 - . Sättigungskonzentration
 - . Sättigungskonzentration und Temperatur der Lösung
 - . Konzentration-Temperatur-Diagramm
- Kristallkeime und deren Bildung in Lösungen
- Unterkühlungs- und Verdunstungsverfahren für die Kristallbildung
- Kristallwachstum
 - . Freiwerden von Bindungsenergie bei der Anlagerung von Gitterbausteinen

- . Regelmäßigkeit der Anlagerung von Gitterbausteinen
- . Kristallform und Wachstumsgeschwindigkeit
- Kristallzüchtung und ihre Bedeutung für Wissenschaft und Technik
- Kristallzüchtungsverfahren
 - . Czochralski-Verfahren für Silizium
 - . Zonenschmelzverfahren für Silizium

Schüler Tätigkeiten

- Experimentelles Ermitteln der Löslichkeit verschiedener Stoffe (1. S.)
- Untersuchen der Abhängigkeit der Löslichkeit verschiedener Stoffe von der Temperatur (x)
- Herstellen übersättigter Lösungen verschiedener Stoffe
- Untersuchen des Einflusses der Abkühlungsgeschwindigkeit verschiedener Stoffe auf die Keimbildung
- Aufbauen einer Züchtungsapparatur für das Verdunstungsverfahren (1. S.)
- Aufbauen einer Züchtungsapparatur für das Unterkühlungsverfahren (1. S.)
- Züchten von Einkristallen und Mischkristallen verschiedener Stoffe (x) (1. S.)
- Anfertigen einer Wandzeitung (1. S.)

Methodische Hinweise

Die Schüler arbeiten in verschiedenen Arbeitsgruppen und untersuchen Löslichkeiten und Temperaturabhängigkeiten der Löslichkeit verschiedener Stoffe. Das Prinzip der Kristallisation bei Unterkühlungsverfahren und Verdunstungsverfahren wird untersucht. Dabei beobachten die Schüler die Wirkungen von Fremdstoffbeimischungen auf die Kristalltracht.

Im Lehrervortrag wird den Schülern das Prinzip der Anlagerung der Gitterbausteine erläutert. Bei der Betrachtung verschiedener Stufen des Kristallwachstums und unterschiedlicher Kristalle sollten der regelmäßige Aufbau und die Farbentwicklung auch zur Ästhetischen Erziehung genutzt werden. Bei der Behandlung der Anlagerung der Kristallbausteine wird auf den dialektischen Zusammenhang von Notwendigkeit und Zufall, auf das Stre-

ben in der Natur nach einem möglichst niedrigen Energiezustand und auf die Bildung einer neuen Qualität durch die Zusammenlagerung vieler Bausteine eingegangen.

Die Schüler bauen als langfristige Aufgabe Kristallzüchtungsapparaturen auf und berichten über einige wichtige Kristallzüchtungsverfahren.

Die Anfertigung einer Wandzeitung kann z. B. zu folgenden Themen erfolgen:

- Edelsteine, Halbedelsteine und Aberglauben
- Kristallzüchtungsverfahren
- Bedeutung der Kristallzüchtungsverfahren für Wissenschaft und Technik.

Eine solche Wandzeitung kann der Popularisierung des Lehrgangs innerhalb der Schule dienen.

Über den angegebenen Unterrichtsstoff hinausgehend können behandelt werden:

- Kristallzüchtung im Hydrothermalverfahren
- Kristallzüchtung im Verneuil-Verfahren
- Diamantsynthese

4. Kristallaufbau und Bindungsarten

6 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Ionenbeziehung; Atombindung; Kristallaufbau; Metallbindung;
Kräfte zwischen den Teilchen der Festkörper (Chemie, Klasse 8)

- Chemische Bindungsarten; Kräfte bei verschiedenen Bindungen
- Kristallgitter und Elementarzellen; Koordinationszahl; Kugelmodell für Gitterbausteine
- Idealkristall; Gesetz der Winkelkonstanz
- Gitterpunkte; Gittergeraden; Netzebenen
- Symmetrien in Kristallen: Spiegelung und Drehung; Zähligkeit der Symmetrieachsen
- dichteste Kugelpackung
- Modifikationen im Kristallaufbau eines Stoffes

Schülertätigkeiten

- Zeichnen von Elementarzellen in Kristallgittern
- Anfertigen von Gittermodellen
- Berechnen der Anzahl von Gitterbausteinen bei vorgegebener Kristallstruktur (x)
- Berechnen der Kräfte bei Ionenbeziehungen (x)
- Kennzeichnen von Gitterpunkten, Geraden und Ebenen in einem Koordinatensystem
- Anfertigen einer Dokumentation über chemische Bindungen (1. S.)

Methodische Hinweise

Im Unterricht sollten vorwiegend Lehrervorträge und Schülerdiskussionen eingesetzt werden. Die Schüler werden unter Verwendung von Diapositiven oder Skizzen mit einigen Grundbegriffen der Kristallographie vertraut gemacht.

Das Auftreten verschiedener Modifikationen eines Elementes wird am Beispiel des Kohlenstoffs erarbeitet und auf Eisen übertragen (Härten von Eisen). Dabei wird auf die Rolle der äußeren Bedingungen für das Entstehen der einen oder anderen Modifikation und auf das Gesetz vom Umschlag quantitativer Veränderungen in qualitative eingegangen. Anhand des Modells "Idealkristall" wird auf die Bedeutung von Modellen im Erkenntnisprozeß und auf die Abstraktionen bei Modellbildung eingegangen.

Bei der Darstellung des Gesetzes der Winkelkonstanz sollte auf die Bedeutung des Zusammenhangs zwischen makrophysikalischen und mikrophysikalischen Betrachtungsweisen eingegangen werden.

Über den angegebenen Stoff hinaus kann behandelt werden:

- Elektronegativität.

5. Historische Entwicklung der Festkörperphysik und ihre zukünftigen Aufgaben

3 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Geschichte des dreißigjährigen Krieges, der französisch-bürgerlichen Revolution, der bürgerlich-demokratischen Revolution (Geschichte Klassen 7 und 8)

Entwicklung der Atommodelle

- Entwicklung der Kristallographie: Steno, Kepler, Haüy, Dalton, Brewster, Federow, Schoenflies, Bravais
- Entwicklung der Mineralogie: Agricola, Lomonossow, Vernadsky, Goldschmitt, Fersman
- Entwicklung der Strukturaufklärung: Röntgen, W. H. Bragg, W. L. Bragg, von Laue, Debye
- Entwicklung der Kristallchemie: Mitscherlich, Becquerel, Heitler, London, Pauling
- Entwicklung der Kristallphysik: Hooke, Seebeck, Frenkel, Schottky, Joffé
- Weitere Entwicklung der Festkörperphysik
 - . Anwendungen der mechanischen Eigenschaften: Werkstoffe in der Energiewirtschaft, Flugzeugtechnik, Raumfahrt
 - . Anwendung elektrischer und magnetischer Eigenschaften: Mikroelektronik, Magnetbandspeicherung in Rechenanlagen
 - . Anwendung fotoelektrischer Eigenschaften: Lichtleiternachrichtenübertragung, integrierte Fotoempfänger, Sensoren für Industrieroboter
 - . physikalische Grundlagenforschung

Schülertätigkeiten

- Anfertigen von Zeittafeln für die Zeiträume 1600 bis 1700; 1750 bis 1790; 1800 bis 1830; 1860 bis 1885; 1885 bis 1920; 1925 bis 1980 (1. S.)
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu folgenden Themen: (1. S.)
 - . Die Entwicklung der Vorstellungen über den Kristallaufbau
 - . Die Entwicklung der Vorstellungen über die elektrische Leitfähigkeit in Metallen und Halbleitern
 - . Die Entwicklung der Vorstellungen über den Ursprung des Ferromagnetismus
 - . Ansprüche an Werkstoffe im Zeitalter des wissenschaftlich-technischen Fortschritts
- Anfertigen von Diapositiven über Anwendungen mechanischer, elektrischer, magnetischer Eigenschaften von Festkörpern (1. S.)

Methodische Hinweise

In diesem Unterrichtsabschnitt sollten die Schüler den Zusammenhang der gesellschaftlichen Entwicklung mit den Fortschritten auf dem Gebiet der Festkörperphysik in den betrachteten Zeitabschnitten erfassen. Hierbei sollten sowohl die in den einzelnen Teilgebieten erkannten physikalischen Grundlagen als auch deren Anwendungen in der Technik hervorgehoben werden. In den folgenden Teillehrgängen sollte an entsprechenden Stellen darauf zurückgegriffen werden. Es kommt vor allem darauf an, daß die Schüler lernen, selbständig mit der Literatur zu arbeiten. Die angefertigten Zeittafeln können auch im obligatorischen Unterricht und in anderen Lehrgängen des fakultativen Unterrichts eingesetzt sowie in der Schule ausgestellt werden. Die Diskussionen über die Entwicklung der Festkörperphysik in den verschiedenen Jahrhunderten und im Zusammenhang damit über die einzelnen Wissenschaftler sollten zur Festigung der marxistisch-leninistischen Weltanschauung der Schüler genutzt werden. Die von den Schülern aufgenommenen Diapositive und die Schüler-vorträge können zur Vorbereitung der Schüler auf die Teillehrgänge 1, 2 und 4 genutzt werden.

Literatur

- L S Autorenkollektiv: Wer - Was - Wann? VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.
- L S Autorenkollektiv: Kleine Enzyklopädie Atom. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1970.
- L S Bogdanow, R. W.: Vom Molekül zum Kristall. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1976.
- L S Autorenkollektiv: Brockhaus ABC-Physik. VEB F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1978.
- L S Buscherowsky/Gau/Schmitz/Wendt: Festkörperphysik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.
- L S Grosse/Weissmantel: Der gestörte Kristall. Urania-Verlag, Leipzig - Jena - Berlin 1979.
- L Hähnel/Neumann: Physik. Band VII. VEB Verlag der Wissenschaften, Berlin 1978.
- L S Lindner, H.: Grundriß der Festkörperphysik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978.

- L S Mucke/Günzler/Fischer: Anaglyphen zur Struktur der Stoffe. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977.
- L S Podgornowa/Kondakow: Aus der Festkörperphysik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1975.
- L S Schlüter, W.: Mikroskopie. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1973.

Zusatzliteratur

- L S Sehm, J.: Kristalle. VEB Verlag der Wissenschaften, Berlin 1975.
- L S Dmitriev, J. S.: Symmetrie in der Welt der Moleküle. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1979.
- L S Kreher, K.: Festkörperphysik. Akademie-Verlag, Berlin 1973.
- L S Eisenkolb, F.: Einführung in die Werkstoffkunde I. VEB Verlag Technik, Berlin 1965.
- L Gilde: Gespiegelte Welt. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1979.
- L S Kitsigorodski, A. I.: Ordnung und Unordnung in der Welt der Atome. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1979.
- L Kleber: Einführung in die Kristallographie. VEB Verlag Technik, Berlin 1965.
- L S Mitaschow, W. A.: Diamanten. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1979.
- S Raubach, N.: Rätsel um das Molekül. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1976.
- L S Wosniok: Werkstoffe kurz und übersichtlich. VEB Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1978.

Teillehrgang 1

Mechanische und thermische Eigenschaften von Ideal- und Real- kristallen

25 Stunden

Stoffübersicht

1. Realkristalle	6 Stunden
2. Mechanische Eigenschaften von Festkörpern	5 Stunden
3. Röntgenfeinstrukturanalyse	6 Stunden
4. Elektronenmikroskopische Untersuchung an Festkörpern	3 Stunden
5. Thermische Eigenschaften von Festkörpern	5 Stunden

Vorbemerkungen

An Beispielen (Dotierungen; Änderung der Eigenschaften von Legierungen; Festigkeit unterschiedlich vorbehandelter Drähte) werden den Schülern Unterschiede zwischen Idealkristallen und Real-kristallen verdeutlicht. Bei der Behandlung von Punktfehlern werden einige Kristallstrukturen erläutert. Die Schüler erkennen, daß Störungen im Kristallaufbau gezielt hergestellt und genutzt werden (Dotierung; optische Kristalle; legierte Kristalle mit hoher Festigkeit). Die Wechselwirkung zwischen Kristallbau-fehlern nulldimensionaler, ein- und zweidimensionaler Ordnung und deren Auswirkung auf die Festigkeit sowie die Bedeutung der Diffusion in Kristallen für elektrische und optoelektrische Bau-elemente werden erläutert.

Bei der Behandlung der mechanischen Eigenschaften der Festkör-per erfolgt eine Beschränkung auf Elastizität und Festigkeit. Unberücksichtigt bleiben Anwendungen zur Piezoelektrizität, zu akustischen und akustoelektrischen Erscheinungen.

Der Zusammenhang zwischen dem Aufbau der Stoffe und den mecha-nischen Eigenschaften sowie das Hookesche Gesetz werden erarbei-tet und angewendet. Es werden Wirkungen von Verfestigungsvor-gängen und Entfestigungen auf die Kristallstruktur diskutiert. Auf Vorgänge im Kristall beim Entstehen eines Bruches wird ein-gegangen. Die Schüler erhalten einen Überblick über die mecha-nische Werkstoffprüfung.

Den Schülern wird ein Überblick über Verfahren der Strukturaufklärung gegeben. Im Vordergrund stehen dabei die Röntgenfeinstrukturanalyse und Verfahren der Elektronenmikroskopie. Auf die Bedeutung der Röntgenbeugung an Kristallen für die Erkenntnis des atomaren Aufbaus der Stoffe wird hingewiesen. Die Wellenlänge von Elektronen wird eingeführt.

Die statischen Betrachtungen über den Gitteraufbau werden im Zusammenhang mit der Wiederholung einiger thermischer Eigenschaften der Festkörper durch dynamische Betrachtungen ergänzt. Die gründliche Behandlung kann auf nur eine der genannten thermischen Eigenschaften beschränkt werden.

Inhalt des Lehrgangs

1. Realkristalle

6 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Wärmebewegung von Gitterbausteinen; Dotierung von Halbleitern
Kristallstruktur von Diamant (Chemie Klasse 8)

- Der Einbau von Fremdatomen in ein Kristallgitter; innere Verformung der Kristallstruktur; Realkristall
- Elektronenstörstellen in Kristallen; Dotierungen
- atomare Kristallfehler; null-, ein-, zweidimensionale Fehler
- Versetzungen und Versetzungslinien; ihre Bedeutung für die Festigkeit von Kristallen;

$$\text{Spannung } \sigma = \frac{F}{A};$$

$$\text{Zugfestigkeit } \sigma_B = \frac{F_B}{A_0}$$

- Platzwechselvorgänge im Kristall; das Wandern von Fehlern im Kristall; Diffusion
- Bedeutung der Diffusion für die Herstellung von Bauelementen der Mikroelektronik
- Einlagerung von Fremdatomen an der Oberfläche zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit von Werkstoffen

Schülertätigkeiten

- Skizzieren von verschiedenen Gitterfehlern
- Ätzen von Metalloberflächen und Betrachten unter dem Mikroskop (1. S.)
- Darstellen der Anordnung von Atomen in Legierungen (x)

- Untersuchen der Zugfestigkeit von gehämmertem oder geglühtem Draht (1. S.)
- Berechnen von Zugspannungen und Zugfestigkeiten (σ)
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu folgenden Themen: (1. S.)
 - . Kristallfehler
 - . Diffusion in Legierungen

Methodische Hinweise

Die Unterrichtsführung geht von der experimentellen Untersuchung von Metalloberflächen oder dem Dehnungsverhalten geglühter oder gehämmert unegglühter Drähte aus. Es werden die makrophysikalischen Größen Spannung und Zugfestigkeit definiert. Die Schüler werten ihre experimentellen Daten aus und führen Berechnungen durch.

Die Zusammenhänge zwischen Eigenschaftsänderungen und Abweichungen der Anordnung der Gitterbausteine von der Idealstruktur werden dargestellt. Der Begriff Realkristall wird eingeführt. Die Schüler erarbeiten sich anhand der Literatur selbständig Kenntnisse über unterschiedliche Kristallbaufehler und tragen diese in Schülervorträgen vor.

Die Rolle der Diffusion für die Wanderung von Fehlstellen im Kristall wird erörtert. Die von W. Bragg vorgeschlagene Modell-darstellung des Realgitters in einem Seifenblasenmodell kann vom Lehrer demonstriert werden.

Die Rolle des Einbaus von Fremdatomen in die Oberfläche von Werkstoffen wird theoretisch geklärt.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- Unterschiedliche Metallegierungen und deren Eigenschaften
- Legierungen und deren Bedeutung bei der kulturgeschichtlichen Entwicklung der Menschheit.

2. Mechanische Eigenschaften von Festkörpern

5 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Elastizität; Plastizität; Druckkraft; Zugkraft

- Dehnung von Festkörpern; Hookesches Gesetz
$$\Delta l = \frac{1}{E} \cdot \frac{l_0 \cdot F}{A}$$

Elastizitätsmodul E

- Einfluß der thermischen Vorbehandlung und der Verunreinigungen auf das Dehnungsverhalten

- Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von der Temperatur
- Anzahl der Fehlstellen als Funktion der Temperatur

$$n_F = N \cdot e^{-\frac{E_F}{2kT}}$$

(Frenkelsche Fehlstellen); Aktivierungsenergie E_F

- Festigkeiten von Werkstoffen; Einfluß der Versetzungen auf die Festigkeit
- Legierungen und deren mechanische Eigenschaften

Schülertätigkeiten

- Untersuchen des Spannung-Dehnung-Verhaltens verschiedener Werkstoffe; Interpretieren des Spannung-Dehnung-Diagramms (x)
- Bestätigen des Hookeschen Gesetzes
- Berechnen von Elastizitätsmoduln und von Längenänderungen bei Dehnungen (x)
- Berechnen von Druck- und Zugfestigkeiten
- Konzipieren und Halten eines Vortrages zum Thema:
 - . Einfluß von Kristallbaufehlern auf die Festigkeit von Werkstoffen (l. S.)

Methodische Hinweise

Die Schüler untersuchen das Dehnungsverhalten vorbehandelter Drähte (Glühen, Hämmern) aus Kupfer und Eisen. Es werden Meßtabellen und Diagramme angefertigt. Bei einer Verallgemeinerung der in den einzelnen Arbeitsgruppen ermittelten Ergebnisse werden die unterschiedlichen Bereiche in einem Spannung-Dehnung-Diagramm dargestellt. Für den linearen Bereich wird im frontalen Experiment das Hookesche Gesetz bestätigt. In diesem Zusammenhang ist den Schülern auch der Hinweis zu geben, daß der Elastizitätsmodul in Einkristallen in verschiedenen Richtungen unterschiedlich sein kann, daß hier eine Anisotropie der Elastizität vorliegt. Die Bedeutung der Gültigkeitsgrenzen eines Gesetzes wird am Beispiel des Hookeschen Gesetzes erläutert.

Die Schüler wenden das Hookesche Gesetz auf einfache und komplexe Aufgaben an. In Schülervorträgen wird der Zusammenhang zwischen Kristallbaufehlern und Festigkeit am Beispiel des Dehnungsverhaltens von Stoffen erläutert. Der Einfluß der Anordnung der

Gitterbausteine in Legierungen auf deren mechanische Eigenschaften wird diskutiert. Dabei wird auch die Konzentration der Fehlstellen erörtert und berechnet.

Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Strukturgesetzen, dynamischen und statistischen Gesetzen werden erörtert.

Auf die Bedeutung hochfester Werkstoffe in verschiedenen Bereichen der modernen Produktion wird eingegangen.

Über den angegebenen Stoff hinaus kann behandelt werden:

- Mechanische Eigenschaften makromolekularer Stoffe.

3. Röntgenfeinstrukturanalyse

6 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Röntgenröhre; Interferenz von Lichtwellen; elektrische Elementarladung

Physikalische Methoden der Strukturaufklärung (Chemie Klasse 11)

- Röntgenstrahlen und ihre Eigenschaften
- Beugung am Kristallgitter; Glanzwinkel ϑ ; Netzebenenabstand d
- Braggsches Gesetz für die Beugung von Röntgenstrahlen,
$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \vartheta$$
- Röntgenfeinstrukturanalyse mit dem Bragg- und Debye-Scherrer-Verfahren
- Ermittlung des Netzebenenabstandes
- Zusammenhang zwischen Avogadro-Konstante, Faraday-Konstante und Elementarladung $F = e \cdot N_A$

Schülertätigkeiten

- Berechnen der Grenzwellenlänge von Röntgenstrahlen
- Interpretieren (qualitativ) eines Röntgendiagramms
- Berechnen von Netzebenenabständen
- Konzipieren und Halten eines Vortrages über das Leben und Wirken von Laue und Debye (1. S.)
- Berechnen von Naturkonstanten aufgrund experimentell ermittelter Werte (x)
- Anfertigen einer Dokumentation über verschieden Verfahren der Röntgenfeinstrukturanalyse (1. S.)

Methodische Hinweise

Die Schüler sollen erkennen, daß es notwendig ist, den Festkörper mit verschiedenen Verfahren zu untersuchen. Die theoretischen Grundlagen der Röntgenfeinstrukturanalyse werden im Lehrervortrag mit anschließender Diskussion erarbeitet.

Auf die Rolle der Röntgenexperimente, die von Laue, Knipping und Friedrich durchführten, wird dabei eingegangen. Hierbei sollte angeknüpft werden an die bereits im Einführungslehrgang durchgeführten historischen Betrachtungen zur Entwicklung der Strukturaufklärung. Für vorgegebene Wellenlängen und Glanzwinkel werden Netzebenenabstände berechnet.

In Schülervorträgen werden verschiedene Möglichkeiten für Röntgenfeinstrukturanalysen erläutert. Die Schüler werden mit dem Unterschied zwischen Naturkonstante und Stoffkonstante vertraut gemacht. Dabei wird eine Diskussion über die Notwendigkeit der genauen Bestimmung von Naturkonstanten und über die gegenwärtig erreichbaren Genauigkeiten geführt.

Über den angegebenen Stoff hinaus kann behandelt werden:

- Laue-Verfahren

4. Elektronenmikroskopische Untersuchung an Festkörpern

3 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Elektronenemission; Elektronenröhre; Wirkung von elektrischen und magnetischen Feldern auf den Elektronenstrom; elektrische Elementarladung; Lichtmikroskop

- Aufbau und Wirkungsweise eines Elektronenmikroskops
- Die de Broglie-Wellenlänge für Elektronen $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$
- Auflösungsvermögen von Licht- und Elektronenmikroskop:
$$d_m = \frac{0.61 \cdot \lambda}{n \cdot \sin \alpha}$$
- Durchstrahlungsmikroskop
- Anwendung des Elektronenmikroskops in der Festkörperphysik

Schülertätigkeiten

- Berechnen der de Broglie-Wellenlänge für Elektronen unterschiedlicher Geschwindigkeit (x)

- Berechnen des Auflösungsvermögens für Lichtmikroskope und Elektronenmikroskope (λ)
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu folgenden Themen: (1. S.)
 - . Aufbau eines Elektronenmikroskops
 - . Anwendung der Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik

Methodische Hinweise

Mit den Schülern werden die Grenzen der Lichtmikroskopie bei der Auflösung von zwei dicht beieinanderliegenden Objektpunkten erarbeitet. Dabei wird die Gleichung für das Grenzauflösungsvermögen angegeben. Das Wissen über die Erzeugung freier Elektronen wird gefestigt. Den Schülern wird danach die von de Broglie angegebene Beziehung für die Wellenlänge eines Elektrons mit der Geschwindigkeit v erläutert. In Diskussionen wird erörtert, warum mit einem Elektronenstrahl eine bessere Auflösung erreichbar ist. Die Schüler festigen ihr Wissen über die Wirkung elektrischer und magnetischer Felder auf den Elektronenstrom. Aufbau und Wirkungsweise eines Elektronenmikroskops werden analysiert. Die Anwendung der Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik wird hervorgehoben.

Es wird empfohlen, eine Exkursion zu einer in der Nähe gelegenen Forschungseinrichtung, in der mit einem Elektronenmikroskop gearbeitet wird, durchzuführen.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- Emissionsmikroskop
- Rasterelektronenmikroskop

5. Thermische Eigenschaften von Festkörpern

5 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Volumenänderung von Körpern aus verschiedenen Stoffen bei Temperaturänderung; Innere Energie; spezifische Wärme; Schmelzwärme

- Volumenänderung fester Körper bei Temperaturänderung
- Ursache für die Ausdehnung infolge der Unsymmetrie in der Wechselwirkung zwischen Gitterbausteinen
- Durchschnittliche kinetische und potentielle Energie schwingender Gitterbausteine
- Spezifische Wärmekapazität fester Körper im klassischen Modell

- Aussagen von Dulong-Petit über die spezifische Wärmekapazität eines festen Körpers
- Die geringe Wirkung der Elektronen im Metall auf die spezifische Wärmekapazität von Metallen
- Schmelzwärme von Festkörpern; Beziehungen zur Bindungsenergie

Schülertätigkeiten

- Berechnen und Untersuchen der Volumenausdehnung fester Körper bei Temperaturänderung (α)
- Analysieren der Gitterschwingungen und ihres Beitrages zur spezifischen Wärmekapazität
- Untersuchen der Schmelzwärme verschiedener Festkörper (z. B. Blei und Zinn) (α)
- Berechnen der Energiezufuhr für das Schmelzen von Festkörpern
- Analysieren der Bedeutung hochschmelzender Stoffe für den Kraftwerksbau und die Raumfahrt

Methodische Hinweise

Die Schüler führen Experimente zur Volumenausdehnung und zur Ermittlung der Schmelzwärme in Gruppen durch. Die thermischen Eigenschaften werden mit Hilfe der Gitterschwingungen und der Bindungskräfte zwischen den Gitterbausteinen erklärt. Auf die Grenzen der Aussagen wird hingewiesen. Es werden Aufgaben zur Längen- und Volumenausdehnung bei Temperaturänderung, zur spezifischen Wärmekapazität und zur Schmelzwärme gelöst. Auf die Bedeutung der Stoffkonstanten für den Einsatz der Werkstoffe wird eingegangen.

Literatur

- L S Brümmer, O.: Festkörperanalyse mit Elektronen-, Ionen- und Röntgenstrahlen. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1980.
- S L Buscherowsky/Gau/Schmitz/Wendt: Festkörperphysik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.
- L S Hänsel/Neumann: Physik. Band III, IV und VII. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1973; 1974; 1978.
- S L Ilberg/Kötsch: Physikalisches Praktikum für Anfänger. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1977.

- S L Lindner, H.: Grundriß der Festkörperphysik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978.
- S L Podgornowa/Kondakow: Aus der Festkörperphysik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.
- S L Sawiski, E. H.: Perspektiven der Metallforschung. Akademie-Verlag, Berlin 1977.
- S L Schulze, G. E. R.: Entwicklung der Metallphysik. Akademie-Verlag, Berlin 1977.
- S L Smirnow, A. A.: Metallphysik. Akademie-Verlag, Berlin 1974.

Zusatzliteratur

- L S Autorenkollektiv: Festkörperphysik, Entwicklungstendenzen und Anwendungsmöglichkeiten. Akademie-Verlag, Berlin 1976.
- L S Baumgartl, E.: Werkstoffkunde kurz und einprägsam. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1976.
- L S Heydenreich/Johannsen: Rasterelektronenmikroskopie. In "Wissenschaft und Fortschritt", Heft 5/1972, S. 215.
- L Kreher, K.: Festkörperphysik. Akademie-Verlag, Berlin 1973.
- L S Kitalgorodski, A. L.: Ordnung und Unordnung in der Welt der Atome. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1979.
- L Paufler/Schulze: Physikalische Grundlagen mechanischer Festkörpereigenschaften I und II. Akademie-Verlag, Berlin 1978.
- L S Ponmarjow, L. J.: Welle und Teilchen. Urania-Verlag, Leipzig - Jena - Berlin 1974.
- L Täubert, P.: Metallphysik. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1963.
- L S Wetzig, W.: Emissions-Elektronenmikroskopie. In "Wissenschaft und Fortschritt", Heft 5/1972, S. 221.

Teillehrgang 2

Elektrische Eigenschaften von Festkörpern

25 Stunden

Stoffübersicht

- | | |
|--|-----------|
| 1. Energiebändermodell für Festkörper | 7 Stunden |
| 2. Elektrische Leitung in n- und p-Halbleitern
und in np-Übergängen - Halbleiterdiode | 6 Stunden |
| 3. Elektrische Leitung in npn-Übergängen -
Transistor | 7 Stunden |
| 4. Ausblick auf die Mikroelektronik | 5 Stunden |

Vorbemerkungen

Das Wissen und Können der Schüler über elektrische Eigenschaften von Halbleitern, Leitern und Isolatoren aus dem Physikunterricht der Klassen 8 und 9 wird gefestigt, vertieft und erweitert. Ausgangspunkt in den Abschnitten 1 bis 3 sind das allgemeine Modell des elektrischen Leitungsvorganges und seine Anwendung auf Festkörper (Wiederholung Physik Klasse 9).

Bei der Anwendung dieses Modells wird insbesondere das Verhalten der Ladungsträger im Kristall betrachtet, deshalb wird im Plan verkürzt formuliert "Darstellung mit dem Teilchenmodell".

Schwerpunkt dieses Teillehrgangs ist die Erarbeitung des Energiebändermodells und dessen Anwendung zur Erklärung der Leitungsvorgänge in Halbleiterbauelementen. Die Einführung des Energiebändermodells gibt den Schülern die Möglichkeit, die Energiezustände der Elektronen in einem Kristallverband zu beschreiben und den Prozeß der elektrischen Leitung in Halbleiterbauelementen zu erklären. Es sind vielfältige Möglichkeiten der Veranschaulichung des Energiebändermodells zu nutzen. Auf eine quantenmechanische Beschreibung der Leitungsvorgänge wird verzichtet.

In diesem Teillehrgang bestehen Beziehungen zum Physikunterricht der Klasse 12 (2.2. Elektrische Leitungsvorgänge).

An Beispielen wird die Bedeutung von Halbleiterbauelementen für die Elektronik und ihre Anwendungsgebiete hervorgehoben. Den Schülern wird bewußtgemacht, daß durch die Anwendung der Mikroelektronik ein Beitrag zur Meisterung des wissenschaftlich-tech-

nischen Fortschritts geleistet wird. Die im Lehrgang behandelten physikalischen Vorgänge bilden eine Voraussetzung für das Verständnis der Mikroelektronik.

Inhalt des Lehrgangs

1. Energiebändermodell für Festkörper

7 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges für die Leitung in Metallen und Halbleitern; I-U-Kennlinie; elektrischer Widerstand; Grundgesetze des Gleichstromkreises
Energieniveauschema (Chemie Klassen 8 und 11)

- Aufspaltung der Energieterme beim Zusammenlagern der Atome zum Kristallverband
- Energiebänder: Valenzband, Leitfähigkeitsband; verbotene Zone
- Energiebändermodell für Metalle, Halbleiter (Eigenleitung) und Isolatoren
- Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Metallen und Halbleitern; $R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$ für Metalle, Temperaturkoeffizient α
- Einfluß der Temperaturänderung auf die Beweglichkeit der Ladungsträger (qualitativ); Beweglichkeit $k = \frac{v}{E}$ (E-Feldstärke; v mittlere Geschwindigkeit in Feldrichtung)

Schülertätigkeiten

- Erklären der Aufspaltung der Energieniveaus im Festkörper (x)
- Erklären von Leitungsvorgängen in Metallen, Halbleitern und Isolatoren mit dem Energiebändermodell (x)
- Erklären der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes eines Metalls und eines Halbleiters mit dem Energiebändermodell und dem allgemeinen Modell des elektrischen Leitungsvorganges (x)
- Lösen von Aufgaben zur Widerstandsänderung von Leitern bei Temperaturänderung und zur Beweglichkeit von Ladungsträgern
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu folgenden Themen:
Das allgemeine Modell des elektrischen Leitungsvorganges und seine Anwendung auf Leiter und Halbleiter (l. S.)

- Aufnehmen der I-U-Kennlinie einer Glühlampe, eines Konstantandrahtes und eines Thermistors und Darstellen der Kennlinie eines Bauelementes mit dem Elektronenstrahloszillographen
- Aufnehmen der R-T-Kennlinie eines Thermistors und eines metallischen Widerstandes (R-Messung mit Widerstandsmesser)
- Bestimmen des Temperaturkoeffizienten für Metalle (α)

Methodische Hinweise

Zur Veranschaulichung des Energiebändermodells zeigt der Lehrer Modellexperimente, wie sie bei Kedves/Kovács beschrieben sind. Bei der Erklärung der Leitungsvorgänge in Metallen und Halbleitern mit dem allgemeinen Modell des elektrischen Leitungsvorganges und dem Energiebändermodell werden Bedingungen und Grenzen des jeweiligen Modells hervorgehoben. Bei der methodischen Gestaltung ist davon auszugehen, daß die Erklärung physikalischer Vorgänge gegenüber der Vermittlung technischer Einzelheiten elektronischer Schaltungen im Mittelpunkt steht. Den Schwerpunkt bildet die selbständige experimentelle Arbeit der Schüler.

Zur Vorbereitung auf die Experimente mit dem Elektronenstrahloszillographen werden die Schüler in seine Bedienung eingewiesen. Die Schüler können die angegebenen Experimente in getrennten Arbeitsgruppen durchführen. Sie berichten vor allen Schülern über ihre Ergebnisse und demonstrieren dabei ihre Experimente. Wird dieser Teillehrgang vor der Behandlung der elektrischen Leitungsvorgänge in Klasse 12 durchgeführt, dann sind die Experimente zur Aufnahme von I-U-Kennlinien durchzuführen. Sind bereits Vorleistungen aus Klasse 12 vorhanden, muß der Lehrer entscheiden, ob eine nochmalige Durchführung zur Festigung erforderlich ist.

Mathematisch interessierte Schüler können sich die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Halbleitern

$$(R = a \cdot e^{\frac{b}{T}}; \quad \alpha = - \frac{b}{T^2})$$

anhand des Lehrbuches Festkörperphysik selbst erarbeiten.

Über den angegebenen Stoff hinaus kann behandelt werden:

- Temperaturfernmessung.

2. Elektrische Leitung in n- und p-Halbleitern und in np-Übergängen - Halbleiterdiode

6 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Störstellenleitung; Aufbau und Wirkungsweise einer Halbleiterdiode

- Elektronen- und Defektelektronenleitung (Löcherleitung) in Silizium
 - . Darstellung mit dem Teilchenmodell
 - . Darstellung mit dem Energiebändermodell; Donator- und Akzeptortermine
- Minoritätsträger, Majoritätsträger
- Aufbau eines np-Übergangs in einem Kristall
- elektrisches Potential φ ; Potentialdifferenz
- stromloser und stromführender Zustand eines np-Übergangs; Grenzschicht, Diffusionsfeld, Diffusionsspannung, Potentialdifferenz über der Grenzschicht, Sperr- und Durchlaßrichtung
 - . Darstellung mit dem Teilchenmodell
 - . Darstellung der Potentialverläufe
 - . Darstellung mit dem Energiebändermodell
- Sperr- und Durchlaßkennlinie einer Halbleiterdiode, Flußspannung, Einweggleichrichtung, Temperaturverhalten, Kenndaten
- Technische Anwendung von Halbleiterdioden

Schülertätigkeiten

- Begründen des Auftretens einer Diffusionsspannung über der Grenzschicht (x)
- Erklären des stromführenden und stromlosen Zustandes eines np-Übergangs (x)
- Diskutieren des Kennlinienverlaufs einer Germanium- und einer Siliziumdiode
- Konzipieren und Halten eines Vortrages zum Thema:
 - . Der elektrische Leitungsvorgang in einem in Durchlaßrichtung und einem in Sperrrichtung geschalteten np-Übergang, dargestellt mit dem Energiebändermodell (l. S.)
- Demonstrieren der Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode mit Meßgeräten und mit dem Elektronenstrahloszillographen (x)

- Aufnehmen der I-U-Kennlinie einer Halbleiterdiode mit Meßgeräten und Darstellen der Kennlinie mit dem Elektronenstrahl-oszillographen
- Untersuchen des Temperaturverhaltens einer Halbleiterdiode (x)
- Bestimmen eines unbekannten Bauelements (Widerstand, Halbleiterdiode, Kondensator) (x)

Methodische Hinweise

Das elektrische Potential φ im Punkt A wird als Spannung eingeführt, die zwischen dem Punkt A eines elektrischen Feldes und einem (willkürlich wählbaren) Bezugspunkt O ($\varphi_0 = 0$) besteht. Wenn für den Transport positiver Ladung vom Bezugspunkt O zum Punkt A Arbeit aufzuwenden ist, ist das Potential positiv. Haben zwei Punkte unterschiedliches Potential, so besteht zwischen ihnen die Potentialdifferenz: $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$.

Als Ausgangspunkt für die Einführung des Potentials kann die Tatsache benutzt werden, daß in der Praxis, z. B. bei Transistorverstärkerschaltungen die Potentiale für die einzelnen Meßpunkte angegeben werden. Die bei der Ausmessung solcher Schaltungen angewandte Potentialmessung ist Spannungsmessung gegenüber einem frei wählbaren festen Bezugspunkt (ein Pol der Spannungsquelle). Die Spannungsabfälle bei Stromfluß ergeben sich aus den Potentialdifferenzen.

Ausgehend von experimentellen Untersuchungen an Halbleiterdioden wird deren Wirkungsweise mit Hilfe des Modells des elektrischen Leitungsvorganges (Betrachtung im Kristall) und anschließend mit Hilfe des Energiebändermodells erklärt.

Die Schüler können in Arbeitsgruppen verschiedene Halbleiterdioden untersuchen und deren charakteristische Kenndaten aufnehmen. Dabei gelten dieselben Hinweise wie im Abschnitt 1.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- Aufbau und Wirkungsweise einer Z-Diode:
I-U-Kennlinie, Schwell- und Durchbruchspannung
- Spannungsstabilisierung mit Z-Dioden

3. Elektrische Leitung in npn-Übergängen - Transistor 7 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Aufbau und Wirkungsweise eines Bipolartransistors; Steuerwirkung in Emitterschaltung; Gesetzmäßigkeiten des verzweigten und unverzweigten Stromkreises

- Erzeugung eines npn-Übergangs in einem Kristall
- stromloser und stromführender Zustand eines npn-Übergangs: Grenzschichten, Diffusionsfelder, Diffusionsspannungen
 - . Darstellung mit dem Teilchenmodell
 - . Darstellung der Potentialverläufe
 - . Darstellung mit dem Energiebändermodell
- Änderung der Konzentration der Ladungsträger in np-Grenzschichten durch Variation des Steuerstromes
- Emitterschaltung:
 - . Anschlußbelegungen und Stromrichtungen
 - . Emitter- Basis - und Kollektor- Basis - Übergang
 - . Kennlinien: $I_C = f(U_{CE})$; $I_C = f(I_B)$; $I_B = f(U_{BE})$
 - . Kenndaten
 - . Einstellung des Arbeitspunktes mit Hilfe des Basiswiderstandes oder des Basisspannungsteilers mit Emitterwiderstand
 - . Stromverstärkung und Leistungsverstärkung; Eingangswiderstand, Ausgangsleitwert (Ermittlung aus Kennlinien)
- Transistor als Schaltverstärker und als Wechselspannungsverstärker
- Hinweis auf die Weiterentwicklung der Transistoren am Beispiel des MOSFET

Schülertätigkeiten

- Erklären des Auftretens gleichgroßer Diffusionsspannungen an den np-Übergängen im stromlosen Zustand (x)
- Begründen der Veränderung der Potentialdifferenzen bei angelegter Spannung (x)
- Vergleichen von stromlosem und stromführendem Zustand eines npn-Übergangs (x)
- Konzipieren und Halten eines Vortrages zum Thema:
 - . Die historische Entwicklung der Halbleiterelektronik (1. S.)
- Berechnen von Arbeitspunkteinstellungen eines Transistors (x)

- Aufnehmen der Kennlinien $I_C = f(U_{CE})$; $I_C = f(I_B)$; $I_B = f(U_{BE})$ eines Transistors in Emitterschaltung; Berechnen der Verlustleistung, Festlegen des Arbeitspunktes (x)
- Ermitteln der Kenndaten eines Transistors aus der grafischen Darstellung
- Ermitteln der Leistungsverstärkung im festgelegten Arbeitspunkt (x)
- Überprüfen der Einstellung des Arbeitspunktes einer Transistorstufe in Emitterschaltung mit dem Elektronenstrahloszillographen
- Demonstrieren des Einsatzes des Transistors als Schaltverstärker und Wechselspannungsverstärker

Methodische Hinweise

Die Vorgänge bei einer p- und n-Leitung sowie beim Anlegen einer Spannung an einen pn-Übergang werden in kurzen Schülervorträgen wiederholt. Ausgehend von einem Demonstrationsexperiment über die Verstärkung einer Wechselspannung durch einen Transistor (tonfrequent) wird dessen prinzipieller Aufbau als pnp- oder npn-Transistor wiederholt. Auf die unterschiedlichen Betriebsbedingungen wird hingewiesen. Die Betriebsbedingungen für einen npn-Transistor werden im Experiment demonstriert. In Gruppenarbeit können für verschiedene Transistortypen (HF-, NF-, Leistungstransistoren) die Kennlinien aufgenommen werden. Die Ergebnisse werden vor allen Schülern vorgetragen.

Für einen einstufigen Verstärker wird das unterschiedliche Verhalten bei verschiedenen Betriebsbedingungen demonstriert. Der Verlauf der Eingangs- und Ausgangsspannung wird am Elektronenstrahloszillographen vorgeführt. Die Notwendigkeit einer richtigen Arbeitspunkteinstellung wird daraus abgeleitet.

Die Schüler berechnen Basiswiderstände und Basisspannungsteiler für bestimmte Arbeitspunkteinstellungen. Die errechneten Ergebnisse werden experimentell überprüft.

Im Lehrervortrag wird auf die Weiterentwicklung der Transistoren am Beispiel des MOSFET hingewiesen. Der Vortrag kann mit einem Experiment verbunden werden. Bei noch vorhandener Zeit können darüber hinaus behandelt werden:

- Besonderheiten der Feldeffekttransistoren (FET) am Beispiel des Sperrschichtfeldeffekttransistors (SFET) oder des MOSFET z. B.
 - . Aufbau und Wirkungsweise
 - . Vorteile bei der Herstellung gegenüber dem Bipolartransistor
 - . Prinzip der leistungslosen Steuerung
 - . Vergleich der Kennlinien mit der des Bipolartransistors
 - . Anwendung als steuerbarer Widerstand, als Schalter und als Wechselspannungsverstärker

4. Ausblick auf die Mikroelektronik

5 Stunden

- Integrierte analoge und digitale Schaltkreise:
Aufbau, Eigenschaften, Vorteile, ökonomische Bedeutung der Mikroelektronik für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt
- Überblick über Herstellungsphasen integrierter Schaltkreise
- Anwendung digitaler integrierter Schaltkreise in logischen Schaltungen:
 - . NAND-Gatter: Belegungsplan, Übertragungskennlinie

Schülertätigkeiten

- Vergleichen des Übertragungsverhaltens und der Einsatzmöglichkeiten analoger und digitaler Schaltkreise (x)
- Entwickeln des Belegungsplanes von NAND-Gattern (x)
- Untersuchen logischer Schaltungen
- Aufnehmen der Übertragungskennlinie eines NAND-Gatters (x)
- Erarbeiten einer Übersicht über Entwicklungstendenzen der Elektronik am Beispiel des Einsatzes integrierter Schaltkreise (l. S.)

Methodische Hinweise

Es werden wesentliche Nachteile komplexer Halbleiterschaltungen aus diskreten Bauelementen analysiert (Energie- und Platzbedarf; Montageaufwand; Ausfallrate; Masse) und Vorteile integrierter Schaltkreise hervorgehoben (Miniaturisierung, Zuverlässigkeit, hohe Arbeitsgeschwindigkeit, Senkung der Verlustleistung.) Die Bedeutung der Mikroelektronik für die Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts wird disku-

tiert. Dazu erhalten die Schüler den Auftrag, entsprechende Artikel in Fachzeitschriften auszuwerten.

Die Verstärkerwirkung eines anlogen integrierten Schaltkreises wird vom Lehrer demonstriert. Ausgehend von der Wiederholung der Wirkungsweise des Transistors als Schaltverstärker wird die Funktion eines NAND-Gatters von den Schülern untersucht. Die Übertragungskennlinie wird aufgenommen.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- einfache Versuchsschaltungen mit NAND-Gattern
- Verstärkerschaltungen mit analogen Schaltkreisen

Literatur

- L S Autorenkollektiv: Kleine Enzyklopädie, Atom - Struktur der Materie. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1970.
- L Autorenkollektiv: Physikalische Schulversuche, Teile 6 und 9. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978 und 1980.
- S Buscherowsky/Gau/Schmitz/Wendt: Festkörperphysik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.
- L S Burmeister/Häsel/Höppner: Elektronik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.
- L Funke/Liebscher: Grundsaltungen der Elektronik. VEB Verlag Technik, Berlin 1979.
- L S Grimsehl: Lehrbuch der Physik Band IV. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1964.
- L S Kedves/Kovács: Analogieversuche zum Energiebändermodell der Festkörper. In: "Physik in der Schule", Heft 6/1975.
- L S Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik, Stufe 6. Grundlagen der Elektronik. Versuchsanleitungen. Teile 1 und 2.
- L S Müller, R.: Bedienung und Einsatz des Demonstrationsoszillographen ED 2 im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht, Handbuch Teile 1, 2, 3.
- L S Große/Weißmantel: Der gestörte Kristall. Urania-Verlag, Leipzig - Jena - Berlin 1979.

Zusatzliteratur

- L Burmeister, R.: Zur Darstellung moderner elektronischer Systeme. In: "Physik in der Schule", Heft 7/8/1978.
- 40

- L Burmeister, R.: Zur Darstellung digitaler Schaltkreise.
In: "Physik in der Schule", Heft 3/1979.
- L Burmeister, R.: Entwicklungstendenzen in der Elektronik.
In: "Physik in der Schule", Heft 10/1974.
- L S Ilberg, W.: Physikalisches Praktikum für Anfänger.
B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1967.
- L S Kent, H.: Wissenschaftshistorische und theoretische Bemerkungen zur Transistorenentwicklung. In: "Physik in der Schule", Heft 2/1975.
- L S Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum.
VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1965.
- L S Lindner/Brauer/Lehmann: Elektronik - Nachschlagebücher für Grundlagenfächer. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.
- L Rumpf, K. H.: Bauelemente der Elektronik. VEB Verlag Technik, Berlin 1980.

Teillehrgang 3

Fotoelektrische Eigenschaften von Festkörpern

25 Stunden

Stoffübersicht

1. Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung durch Festkörper	6 Stunden
2. Äußerer Fotoeffekt - Fotozelle	4 Stunden
3. Innerer Fotoeffekt - Fotowiderstand	4 Stunden
4. Sperrschichtfotoeffekt - Fotoelement, Fotodiode, Fototransistor	7 Stunden
5. Lumineszenz - Lumineszenzdiode	4 Stunden

Vorbemerkungen

Die Schüler werden ausgehend von den Prozessen der Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung mit der Anwendung dieser Prozesse in einigen optoelektronischen Bauelementen vertraut gemacht. Dabei ist an die Kenntnisse der Schüler aus dem Physikunterricht der Klasse 10 über Lichtwellen (Emission, Emissions- und Absorptionsspektren) anzuknüpfen. Die Schüler müssen erkennen, daß Fotozelle, Fotowiderstand, Fotodiode, Fototransistor und Fotoelement zu den Fotoabsorptionselementen gehören, aber die Lumineszenzdiode zu den Fotoemissionselementen. Das Energiebändermodell wird erarbeitet, um die beobachteten Erscheinungen der Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie bzw. der elektrischen Energie in Lichtenergie zu erklären. In den einzelnen Abschnitten des Teillehrganges erfolgt die Arbeit mit diesem Modell bei der vertieften Untersuchung des Aufbaus und der Wirkungsweise der einzelnen Bauelemente.

Bei der Behandlung der Wirkungsweisen optoelektronischer Bauelemente müssen den Schülern die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der zugrundeliegenden Effekte (äußerer Fotoeffekt, innerer Fotoeffekt, Sperrschichtfotoeffekt und Lumineszenz) deutlich werden. Die Vorgänge werden zunächst mit dem allgemeinen Modell des elektrischen Leitungsvorganges, das die Schüler aus dem Physikunterricht der Klasse 9 kennen, erklärt. Bei der Anwendung dieses Modells werden insbesondere das Verhalten der

Ladungsträger im Kristall betrachtet, deshalb wird im Plan verkürzt formuliert "Darstellung mit dem Teilchenmodell". Anschließend erfolgt die Darstellung mit dem Energiebändermodell. Die Betrachtungen mit Hilfe des Energiebändermodells bilden einen Schwerpunkt des Lehrgangs.

In diesem Teillehrgang bestehen Beziehungen zum obligatorischen Physikunterricht der Klasse 11 (3.3. und 3.4. Quantenhafte Absorption und Emission des Lichtes).

Anhand von Beispielen ist die Bedeutung von optoelektronischen Bauelementen für die Elektronik und ihre Anwendungsgebiete hervorzuheben. Dabei ist den Schülern bewußtzumachen, daß die Anwendung der Mikroelektronik ein wichtiger Faktor der Meisterung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts ist. Die im Lehrgang behandelten physikalischen Vorgänge bilden eine Voraussetzung für das Verständnis der Mikroelektronik.

Inhalt des Lehrgangs

1. Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung durch Festkörper 6 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorgangs für die Leitung in Metallen und Halbleitern; $c = \lambda \cdot f$
Energieniveauschema (Chemie Klassen 8 und 11)

- Erzeugung zusätzlicher freier Ladungsträger durch optische Anregung: Nachweis eines Fotostromes in Metallen und Halbleitern am Beispiel der Fotozelle, des Fotowiderstandes, der Fotodiode, des Fototransistors und des Fotoelements, Dunkelstrom, Hellstrom, Fotospannung
- Emission von Lichtstrahlen am Beispiel der Lumineszenzdiode
- Energiebändermodell für Festkörper
 - Aufspaltung der Energieterme beim Zusammenlagern der Atome zum Kristallverband
 - Energiebänder: Valenzband, Leitfähigkeitsband; verbotene Zone
 - Energiebändermodell für Metalle, Isolatoren und Halbleiter (einschließlich der Darstellung von Störstellen)
- optische Anregung und Emission von Ladungsträgern
 - Darstellung mit dem Teilchenmodell

- . Darstellung mit dem Energiebändermodell (Haftterme, Aktivatorterme, Elementarprozesse bei der Fotoleitung); Grundgitterabsorption, Ausläuferabsorption
- Beziehungen zwischen Bandabstand bzw. Energietermabständen und der Wellenlänge der absorbierten elektromagnetischen Strahlung; $E = h \cdot f$ und $c = \lambda \cdot f$

Schülertätigkeiten

- Erklären der Feinaufspaltung der Energieniveaus im Festkörper (x)
- Vergleichen der Lichtabsorption eines freien Atoms und eines Festkörpers (x)
- Erklären des Mechanismus der optischen Anregung und der Emission von Ladungsträgern mit dem Energiebändermodell (x)
- Lösen von Aufgaben zum Zusammenhang zwischen dem Energietermabstand bzw. Bandabstand und der Wellenlänge der absorbierten elektromagnetischen Strahlung
- Deuten von Absorptionscharakteristika mit dem Energiebändermodell
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu folgenden Themen: (1. S.)
 - . Das allgemeine Modell des elektrischen Leitungsvorganges und seine Anwendung auf Leiter und Halbleiter
 - . Mechanismus der Fotoleitung in Metallen und Halbleitern - Darstellung mit dem Energiebändermodell
- Nachweisen eines Fotostroms in Fotozelle, Fotowiderstand, Fotodiode, Fotoelement, Fototransistor
- Nachweisen der Emission von Strahlung bei der Lumineszenzdiode
- Messen der Schwächung von Licht beim Durchgang durch absorbierende Medien

Methodische Hinweise

Nach dem Nachweis des Fotostromes in Metallen und Halbleitern und der Emission von Licht bei der Lumineszenzdiode durch Schülerexperimente wird zunächst das Energiebändermodell für Festkörper eingeführt. Zur Veranschaulichung kann der Lehrer Modellexperimente zeigen, wie sie bei Kedves und Kovács beschrieben sind.

Bei der Erklärung der Leitungsvorgänge in Metallen und Halbleitern mit dem allgemeinen Modell des elektrischen Leitungsvorganges und dem Energiebändermodell werden Bedingungen und Grenzen des jeweiligen Modells hervorgehoben. Bei der methodischen Gestaltung soll die Erklärung physikalischer Vorgänge gegenüber der Vermittlung technischer Einzelheiten im Mittelpunkt stehen. Den Schwerpunkt in der methodischen Gestaltung bildet die experimentelle Arbeit der Schüler.

Abhängig vom Zeitpunkt der Durchführung dieses Teillehrgangs ist die Beziehung $E = h \cdot f$ zu erarbeiten oder zu festigen (vgl. Lehrplan Physik, Klasse 11).

2. Äußerer Fotoeffekt - Fotozelle

4 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorgangs; elektrischer Leitungsvorgang im Vakuum und im Gas

- Äußerer Fotoeffekt
 - . Darstellung mit dem Teilchenmodell
 - . Darstellung mit dem Energiebändermodell
- Aufbau und Wirkungsweise einer Fotozelle, Kenndaten gasgefüllter Fotozellen und Vakuumfotozellen (lichtempfindliche Fläche, Betriebsspannung, Belastbarkeit, Grenzfrequenz)
- Dunkelstrom, Hellstrom
- $I_F = f(E)$ für Fotozelle, I_F : Fotostrom, E: Beleuchtungsstärke
- spektrale Empfindlichkeitsverteilung: $I_F = f(\lambda)$ für Fotozelle
- Anwendungen der Fotozelle

Schülertätigkeiten

- Erklären des äußeren Fotoeffekts mit dem Energiebändermodell und mit dem Teilchenmodell (x)
- Begründen der starken Lichtabsorption von Metallen mit dem Energiebändermodell (x)
- Vergleichen einer Vakuumfotozelle mit einer gasgefüllten Fotozelle (x)
- Konzipieren und Halten eines Vortrages zum Thema:
 - . Aufbau und Wirkungsweise einer Fotozelle (1. S.)

- Aufbauen der Schaltung zum Aufnehmen von $I_F = f(E)$ für eine Fotozelle
- Aufbauen der Schaltung zum Aufnehmen von $I_F = f(\lambda)$ für eine Fotozelle
- Aufbauen der Schaltung zum Aufnehmen der I-U-Kennlinie von Edelgas- und Vakuumfotozelle
- Demonstrieren der Anwendung der Fotozelle in Sicherungs-, Alarm- und Zählanlagen

Methodische Hinweise

Die Experimente mit der Fotozelle können nur als Demonstrationsexperimente durchgeführt werden, da die benötigte Spannung über 42 V liegt. Der Aufbau dieser Experimente sollte aber durch die Schüler erfolgen.

Um die Kennlinien $I_F = f(E)$ verschiedener optoelektronischer Bauelemente aufnehmen zu können, wird den Schülern das Lambert'sche Entfernungsgesetz mitgeteilt ($E_1 : E_2 = r_2^2 : r_1^2$).

Für die Experimentierleuchte SEG Optik gilt $r_1 = 10$ cm, $E_1 = 200$ lx. Die physikalische Größe Beleuchtungsstärke und ihre Einheit werden dem Schüler ebenfalls nur mitgeteilt.

Aus den Kenndaten der optoelektronischen Bauelemente sollen die Schüler Schlussfolgerungen für deren Einsatz ziehen. Neben der Beherrschung der Darstellung des äußeren Fotoeffekts mit dem Energiebändermodell ist den Schülern zu verdeutlichen, daß die Fotozelle ein Lichtabsorptionselement ist.

3. Innerer Fotoeffekt - Fotowiderstand

4 Stunden

- Innerer Fotoeffekt
 - . Darstellung mit dem Teilchenmodell
 - . Darstellung mit dem Energiebändermodell: Grundgitterabsorption, Haftterme
- Aufbau und Wirkungsweise eines Fotowiderstandes, Kenndaten Dunkelstrom, Hellstrom
- $I_F = f(E)$ für Fotowiderstände
- $I_F = f(\lambda)$ für Fotowiderstände
- Anwendungen des Fotowiderstandes (z. B. Lichtschranke, Tonfilm, Messung der Beleuchtungsstärke).

Schülertätigkeiten

- Erklären des inneren Photoeffekts mit dem Energiebändermodell und mit dem Teilchenmodell (x)
- Vergleichen von innerem und äußerem Photoeffekt (x)
- Vergleichen von Fotowiderstand und Thermistor
- Erklären der Ursachen für große Ansprechempfindlichkeit, große Trägheit und begrenzte Einsatzwellenlänge beim Fotowiderstand
- Konzipieren und Halten eines Vortrages zum Thema:
 - . Aufbau und Wirkungsweise eines Fotowiderstandes (1. S.)
- Aufnehmen der I-U-Kennlinie von Fotowiderständen (x)
- Darstellen der I-U-Kennlinie von Fotowiderständen mit dem Elektronenstrahloszillographen
- Aufnehmen von $I_F = f(E)$ für einen Fotowiderstand (x)
- Aufnehmen von $I_F = f(\lambda)$ für einen Fotowiderstand (x)
- Demonstrieren einer Anwendung des Fotowiderstandes, z. B. Lichtsteuerung, Parkleuchterschalter, Dämmerungsschalter, Lichtschranke, Lichteinfallmelder, Foto-Alarmanlage oder elektronische Drehzahlmessung.

Methodische Hinweise

Neben der Erklärung des inneren Photoeffekts mit dem Energiebändermodell sollte der Vergleich mit dem äußeren Photoeffekt einen Schwerpunkt des Unterrichts bilden. Dabei können die Schüler Systematisierungsaspekte selbst finden.

Dem Schüler muß deutlich werden, daß der Fotowiderstand ein Lichtabsorptionselement ist. Die Experimente können auch in zyklischer Vertauschung durchgeführt werden.

Bei der Auswahl der Anwendungen des Fotowiderstandes sollten die Erfahrungen der Schüler aus der wissenschaftlich-praktischen Arbeit berücksichtigt werden.

4. Sperrschichtphotoeffekt - Fotoelement, Fotodiode, Fototransistor 7 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Aufbau und Wirkungsweise einer Halbleiterdiode

- Aufbau eines np-Übergangs in einem Kristall
- elektrisches Potential φ , Potentialdifferenz

- Sperrschichtfotoeffekt
 - . stromloser Zustand eines np-Übergangs:
 - Grenzschicht, Diffusionsfeld, Diffusionsspannung, Potentialdifferenz über der Grenzschicht
 - . Darstellung mit dem Teilchenmodell
 - . Darstellung der Potentialverläufe
 - . Darstellung mit dem Energiebändermodell
 - . Meßbarkeit der Diffusionsspannung
 - . Einfluß der Diffusionsspannung auf Elektronen und Defektelektronen bei Beleuchtung - Entstehung einer Fotospannung und ihre Meßbarkeit
- Aufbau und Wirkungsweise eines Fotoelements
- Leerlaufspannung U_L und Kurzschlußstrom I_K des Fotoelements in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke
- Aufbau und Wirkungsweise einer Fotodiode
 - . stromführender Zustand eines np-Übergangs - Darstellung mit dem Energiebändermodell
 - . Betrieb in Sperrichtung
 - . Dunkelstrom; ohne Beleuchtung fließender Sperrstrom I_R
 - . Hellstrom; durch Beleuchtung erhöhter Sperrstrom
- Aufbau und Wirkungsweise eines Fototransistors
 - . $U_{CE} - I_C$ -Kennlinienfeld mit Parameter E, E: Beleuchtungsstärke (anstelle I_B)
 - . $I_F = f(E)$ für Fotodiode und Fototransistor
- Kenndaten von Fotoelementen, Fotodioden und Fototransistoren

Schülertätigkeiten

- Erklären des Sperrschichtfotoeffekts mit dem Energiebändermodell und mit dem Teilchenmodell (x)
- Vergleichen des äußeren, inneren und Sperrschichtfotoeffektes (x)
- Lösen von Aufgaben zum Wirkungsgrad der Umwandlung von (Sonnen-) Lichtenergie in elektrische Energie
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu folgenden Themen: (1. S.)
 - . Aufbau und Wirkungsweise einer Fotodiode und eines Fotoelements
 - . Aufbau und Wirkungsweise eines Fototransistors

- Aufnehmen von $I_K = f(E)$ für ein Fotoelement (x)
- Aufnehmen der I-U-Kennlinie von Fotodioden und Darstellen der Kennlinie mit dem Elektronenstrahloszillographen
- Aufnehmen von $I_F = f(E)$ für eine Fotodiode
- Aufnehmen von $I_F = f(E)$ für einen Fototransistor

Methodische Hinweise

Der Unterricht geht vom konkreten Bauelement aus, sein Aufbau und seine Wirkungsweise werden erarbeitet und erklärt. Die Anwendung des Sperrschichtfotoeffekts wird erläutert. Neben der Darstellung mit dem Energiebändermodell sollte der Vergleich zwischen äußerem, innerem und Sperrschichtfotoeffekt einen Schwerpunkt des Unterrichts bilden.

Die Schüler erkennen Fotoelement, Fotodiode und Fototransistor als Lichtabsorptionselement. Den Zusammenhang zwischen der Stromstärke und der Beleuchtungsstärke für ein Fotoelement untersuchen alle Schüler in gleicher Front. Dagegen erfolgt das Aufnehmen von $I_F = f(E)$ für eine Fotodiode und für einen Fototransistor nur von einzelnen Arbeitsgruppen. Diese Ergebnisse werden vor allen Schülern vorgetragen.

Zur Einführung des Begriffs Potential sollten die methodischen Hinweise aus Teillehrgang 2, Abschnitt 2, berücksichtigt werden.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- Aufbau eines Fotosensorverstärkers
- Sensoren für Industrieroboter

5. Lumineszenz - Lumineszenzdiode

4 Stunden

- Lumineszenz:
 - . Fluoreszenz (Aktivatortermine); Phosphoreszenz (Aktivator- und Haftterme);
 - . Darstellung mit dem Energiebändermodell
 - . Darstellung mit dem Teilchenmodell
- Thermolumineszenz
- Aufbau und Wirkungsweise einer Lumineszenzdiode
- Trägheitsloses Verhalten einer Lumineszenzdiode
- Anwendung der Lumineszenzdiode bei der elektronischen Zifferanzeige; LED-Tableau

- Grundschialtung und I-U-Kennlinie einer Lumineszenzdiode;

$$R_V = \frac{U_B - U_{DU}}{I_{DU}} \quad (R_V \text{ Vorwiderstand, } U_B \text{ Betriebsspannung, } U_{DU} \text{ Schleusenspannung})$$

Schülertätigkeiten

- Erklären der Fluoreszenz und Phosphoreszenz mit dem Energiebändermodell und mit dem Teilchenmodell (x)
- Vergleichen von Fluoreszenz und Phosphoreszenz (x)
- Erklären der Vorgänge an einen Fluoreszenz- bzw. Phosphoreszenzschirm eines Oszillographen und in Leuchtstofflampen
- Konzipieren und Halten eines Vortrages zum Thema:
 - . Aufbau und Wirkungsweise von LED-Anzeigebau-elementen (l. S.)
- Aufnahme der I-U-Kennlinie einer Lumineszenzdiode (x)

Methodische Hinweise

Zur Unterstützung des Erkenntnisprozesses sollte der Lehrer bei der Erarbeitung des Begriffes Lumineszenz folgende Experimente durchführen:

- Anregen eines Leuchtstoffes zur Fluoreszenz im sichtbaren Bereich a) mit UV-Licht, b) mit radioaktiver Strahlung
- Nachweisen der Thermolumineszenz durch Bestrahlen eines phosphoreszierenden Körpers mit UV-Licht und nachfolgender Erwärmung
- Nachweisen des UV-Lichtes im Spektrum einer Bogenlampe bzw. UV-Lampe durch Phosphoreszenzstreifen

Im weiteren Verlauf des Unterrichts bildet die Erklärung des Fluoreszenz- und des Phosphoreszenzmechanismus im Energiebändermodell einen Schwerpunkt. Die Schüler erkennen die Lumineszenzdiode als Lichtemissionselement. Bei der Lumineszenzdiode ist zu beachten, daß ihre Wirkungsweise auf dem Phosphoreszenzmechanismus und der Umkehrung des Sperrschichtfotoeffekts beruht.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- Demonstration der LED zur Pegelanzeige am Gatterausgang
- Demonstration einer Optokopplerstufe aus Lumineszenzdiode und Fototransistor

Literatur

- L S Autorenkollektiv: Kleine Enzyklopädie, Atom-Struktur der Materie. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1970.
- L Autorenkollektiv: Physikalische Schulversuche, Teil 9. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.
- L Burmeister, R.: Optoelektronische Bauelemente. In: "Physik in der Schule", Heft 12/1979.
- S Buscherowsky/Gau/Schmitz/Wendt: Festkörperphysik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.
- L S Grimsehl: Lehrbuch der Physik Band IV. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1964.
- L Kedves/Kovács: Analogieversuche zum Energiebändermodell der Festkörper. In: "Physik in der Schule", Heft 6/1975.
- L S Müller, R.: Bedienung und Einsatz des Demonstrationsoszillographen ED 2 im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht, Handbuch Teil 2.
- L S Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik; Stufe 5, Grundlagen der Elektronik, Versuchsanleitungen Teil 2.
- L S Rumpf, K. H.: Bauelemente der Elektronik. VEB Verlag Technik, Berlin 1980.

Zusatzliteratur

- L Autorenkollektiv: Physikalische Schulversuche, Teil 11. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977.
- L Burmeister, R.: Entwicklungstendenzen in der Elektronik. In: "Physik in der Schule", Heft 10/1974.
- L Burmeister, R.: Zur Darstellung digitaler Schaltkreise. In: "Physik in der Schule", Heft 3/1979.
- L S Jakubaschk, N.: Das große Elektronikbastelbuch. Militärverlag der DDR, Berlin 1978.
- L S Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1958.
- L S Lindner/Brauer/Lehmann: Elektrotechnik-Elektronik-Nachschlagbücher für Grundlagenfächer. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.
- L S Müller, W.: Elektronische Anzeigenbauelemente. Amateurreihe electronica, Band 1971. Militärverlag der DDR, Berlin 1979.
- L S Schlenzig, K.: Selen-Optoelektronik, Fotoelektronische Effekte in der Amateurpraxis. Amateurreihe electronica. Militärverlag der DDR, Berlin 1973.

Teillehrgang 4

Magnetische und thermoelektrische Eigenschaften von Festkörpern

25 Stunden

Stoffübersicht

- | | |
|--|------------|
| 1. Magnetisches Feld und Magnetisierung von Festkörpern | 6 Stunden |
| 2. Magnetische Eigenschaften von Festkörpern und deren Anwendung | 10 Stunden |
| 3. Thermoelektrische Eigenschaften von Festkörpern und deren Anwendung | 9 Stunden |

Vorbemerkungen

Die Schüler werden mit wesentlichen magnetischen Eigenschaften von Festkörpern bekanntgemacht. Dabei geht es sowohl um eine phänomenologische Beschreibung des Verhaltens unterschiedlicher Stoffe im Magnetfeld als auch um eine atomphysikalische Deutung dieses Verhaltens mit Hilfe atomarer magnetischer Momente.

In diesem Teillehrgang bestehen Beziehungen zum Physikunterricht der Klasse 12 (Magnetische Flußdichte als Feldgröße, Permeabilität). Die Schüler lernen die magnetischen Erscheinungen als Wechselwirkung zwischen Strömen oder zwischen bewegten Ladungen kennen. Zur Kennzeichnung des magnetischen Feldes werden die Größen B und H erarbeitet. Die Größe B wird mit Hilfe der Kraftwirkung des magnetischen Feldes auf einen stromdurchflossenen Leiter eingeführt. Die Schüler werden mit den Ursachen für den Magnetismus vertraut gemacht.

Bei der Behandlung der Anwendungen wird die Bedeutung magnetischer Eigenschaften von Festkörpern für die Technik und Produktion an einigen Beispielen verdeutlicht. Dabei stehen Verfahren der Informationsspeicherung im Vordergrund.

Möglichkeiten der Direktumwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie lernen die Schüler bei der Behandlung des thermoelektrischen Effekts und seiner Anwendung kennen.

Inhalt des Lehrgangs

1. Magnetisches Feld und Magnetisierung von Festkörpern

6 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Magnetisches Feld, elektromagnetische Induktion, Atomaufbau

- Magnetische Erscheinungen als Wechselwirkung zwischen Strömen oder zwischen bewegten Ladungen
- Magnetische Flußdichte B ; $B \sim F$ (qualitativ)
- magnetische Flußdichte für das homogene Magnetfeld einer Spule,

$$B = \mu_0 \cdot \mu_{\text{rel}} \cdot \frac{I \cdot N}{l}$$

- Kennzeichnung des magnetischen Feldes durch die magnetische Feldstärke H , $B = \mu \cdot H$ und $\mu = \mu_0 \cdot \mu_{\text{rel}}$
- atomare magnetische Momente im Festkörper (Bahnmoment, Spinnmoment)

Schülertätigkeiten

- Bestimmen der magnetischen Flußdichte im Innern einer Spule
- Planen eines Experiments zur Messung der relativen Permeabilität (χ)
- Lösen physikalischer Aufgaben zur magnetischen Flußdichte (χ)
- Erarbeiten von Kenntnissen über atomare magnetische Momente aus der Literatur (l. S.)

Methodische Hinweise

Angeknüpft wird an das Wissen der Schüler über magnetische Felder von Dauermagneten und von stromdurchflossenen Spulen. Wird dieser Teillehrgang vor der Behandlung des magnetischen Feldes in Klasse 12 durchgeführt, dann ist die Erarbeitung der magnetischen Flußdichte analog zum obligatorischen Unterricht durchzuführen. Im anderen Fall steht die Festigung des Stoffes im Vordergrund.

Bei der Behandlung der atomaren magnetischen Momente ist den Schülern der Übergang von der makrophysikalischen Erscheinung zu den mikrophysikalischen Erklärungen bewußtzumachen.

Unterstützt werden kann dieser Prozeß durch den Bau eines Modells zur Demonstration der Eigenschaften magnetischer Elementarbereiche.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- Magnetisierung (quantitativ)
- Kernmoment

2. Magnetische Eigenschaften von Festkörpern und deren Anwendung

10 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Aufbau der Stoffe aus Teilchen; Atommodell

- Verhalten der Stoffe im Magnetfeld
 - . Diamagnetismus
 - Paramagnetismus: Sättigungsmagnetisierung,
 - . Ferromagnetismus: Weißsche Bezirke, Wandverschiebungs- und Drehprozesse, Barkhausensprünge; Hysterese, Remanenz, hart- und weichmagnetische Stoffe;

Curie-Weißsches Gesetz

$$\mu_{\text{rel}} - 1 = \frac{C}{T - T_c}$$

(C: Curie-Konstante,

T_c : Curie-Temperatur)

- . Ferrimagnetismus
- Anwendung magnetischer Eigenschaften von Festkörpern in Wissenschaft, Technik und Produktion
 - . Überblick über Anwendungen in der Elektrotechnik (u. a. Kerne für Elektromagnete, Transformatorkerne, Dauermagnete und magnetische Werkstoffprüfung)
 - . Prinzipien der Informationsspeicherung, Wirkungsweise von Strukturspeichern, technische Realisierung magnetischer Speichermethoden
- Historische Entwicklung der Erkenntnisse über magnetische Eigenschaften der Stoffe

Schülertätigkeiten

- Beschreiben des Verhaltens unterschiedlicher Stoffe im Magnetfeld (x)
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu folgenden Themen: (1. S.)
 - . Merkmale des Diamagnetismus und ihre mikrophysikalische Deutung
 - . Merkmale des Paramagnetismus und ihre mikrophysikalische Deutung

- Begründen der Temperatur und Feldstärkeabhängigkeit der Permeabilität (χ)
- Interpretieren des Curieschen Gesetzes (χ)
- Anwenden des Energieerhaltungssatzes bei der Hysteresis (χ)
- Würdigen der Leistungen von Weiß, Barkhausen, Curie
- Anfertigen einer Übersicht über Haupterzeugnisse und über den Entwicklungsstand auf dem Gebiet der magnetischen Datenspeicherung (1. S.)
- Erläutern der Funktionsweise einer Speichermatrix
- Erläutern der Tonaufnahme, der Tonwiedergabe und des Löschsens eines Tones am Tonbandgerät
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu den Themen: (1. S.)
 - . Aufbau und Wirkungsweise von Magnetkernspeichern
 - . Aufbau und Wirkungsweise von Magnetschichtspeichern

Methodische Hinweise

Bei der methodischen Gestaltung wird zunächst von der Beschreibung des makrophysikalischen Verhaltens einzelner Arten des Magnetismus ausgegangen. Daran anknüpfend werden die mikrophysikalischen Ursachen für dieses Verhalten untersucht.

Der Lehrer erläutert anhand von Experimenten, daß quantitative Unterschiede im Verhalten verschiedener Stoffe deutlich gemacht werden können, wenn sich diese Stoffe in sehr starken Magnetfeldern befinden. In daran anschließenden Schülervorträgen zum Dia- und Paramagnetismus werten die Schüler die Experimente aus.

In einem Lehrervortrag werden wesentliche Merkmale des Ferromagnetismus und seine mikrophysikalischen Ursachen dargelegt. Der Begriff Weißscher Bezirk wird eingeführt. Im Experiment wird der Barkhauseneffekt durchgeführt. Die Hystereseschleife kann vom Lehrer mit dem Elektronenstrahloszillographen vorgeführt werden.

Bei der Behandlung der Anwendung der magnetischen Eigenschaften gibt der Lehrer zunächst einen Überblick über Prinzipien der Informationsspeicherung. Er erläutert dabei die physikalische Wirkungsweise von Strukturspeichern und die technische Realisierung magnetischer Speichermethoden, ohne dabei auf den Aufbau und die Wirkungsweise konkreter Magnetkern- und Magnet-

schichtspeicher einzugehen. In Schülervorträgen, bei denen die Bandspeicherung praktisch durchgeführt wird, kann diesbezüglich eine Ergänzung und Vertiefung zum Lehrervortrag erfolgen. Der Lehrer kann aber auch andere Anwendungen magnetischer Eigenschaften einbeziehen. Zur Ergänzung bzw. Präzisierung können in einem Schülervortrag z. B. Verfahren der magnetischen Werkstoffprüfung vorgestellt werden.

Über den angegebenen Stoff hinaus können behandelt werden:

- Magnetische Eigenschaften als Grundlage der Strukturaufklärung.

3. Thermoelektrische Eigenschaften von Festkörpern und deren

Anwendung

9 Stunden

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:

Atommodell, allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorgangs

- Grundlagen der thermoelektrischen Effekte
 - Seebeck-Effekt in Metallen und Halbleitern, Berührungs- oder Kontaktspannung als Ursache für die Thermospannung
 - Thermoelektrische Spannungsreihe für Metalle, Wirkungsgrad eines Thermoelements
 - Materialien für Thermoelemente, Vorteile von Halbleiterbauelementen
 - Peltier-Effekt als Umkehrung des Seebeck-Effekts; Wirkungsgrad von Peltier-Elementen
- Anwendung thermoelektrischer Effekte
 - Thermosäule, Thermomagnet
 - Thermoelektrische Modelle des Kleinkältesektors im wissenschaftlichen Gerätebau (z. B. IR-Detektorkühlung), im Bereich der Mikroelektronik (Mikro-Thermogeneratoren als Quelle für Mikroschaltkreise) und in der Medizin.

Schülertätigkeiten

- Erklären des Seebeck- und des Peltier-Effekts (x)
- Interpretieren der Kennlinien verschiedener Thermoelemente (x)
- Nutzen der thermoelektrischen Spannungsreihe zum Festlegen der Polarität einer Spannungsquelle

- Durchführen eines Experiments zum Herstellen und Eichen eines Thermoelements, Messen von Temperaturen mit dem geeichten Thermoelement
- Berechnen von Thermospannungen
- Würdigen der Leistung von Joffé
- Erklären des Aufbaus und der Wirkungsweise einer Thermoskule
- Konzipieren und Halten von Vorträgen zu den Themen: (1. S.)
 - . Thermoelektrische Generatoren und Thermoelemente als Meßfühler
 - . Thermoelektrischer Magnet und Thermoskule

Methodische Hinweise

Bei der Erklärung des Seebeck- und Peltiereffektes wird von den Eigenschaften der Leitungselektronen eines unterschiedlich erwärmten metallischen Leiters ausgegangen. Bei Kenntnis des Bändermodells aus den Teillehrgängen 2 und 3 kann auch dieses zur Erklärung herangezogen werden.

Ausgehend von der Erklärung des Seebeck-Effekts bei Metallen ist der Schwerpunkt auf den Aufbau und die Untersuchung der Eigenschaften von Halbleiter-Thermoelementen zu legen. Der thermoelektrische Effekt wird den Schülern demonstriert (Thermoelement mit zwei Berührungstellen, Verwendung eines Thermobügels mit Kompaßnadel). Es können mit der Thermoelektrizität zusammenhängende Probleme (z. B. Meßgrößenumwandlung) immanent wiederholt werden.

Bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente sind den Schülern die Vorteile des arbeitsteiligen Vorgehens bei der Lösung experimenteller Aufgaben bewußt zu machen. In diesem Abschnitt sollten die guten Möglichkeiten, an die bereits im Einführungslehrgang durchgeführten historischen Betrachtungen zur Entwicklung der Kristallphysik anzuknüpfen, genutzt werden.

Literatur

- L Autorenkollektiv: Physikalische Schulversuche, Teil 9. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1975.
- L S Buscherowsky/Gau/Schmitz/Wendt: Festkörperphysik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.

- L Gau/Wendt: Zur Behandlung magnetischer Eigenschaften von Festkörpern im fakultativen Lehrgang "Festkörperphysik". In: "Physik in der Schule", Heft 11/1978.
- L Grimsehl: Lehrbuch der Physik, Band II. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1976.
- L Heber/Kozik: Physik. Eine Einführung. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1970.
- L Kirenski, L. W.: Magnetismus. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1969.
- L S Lindner, M.: Grundriß der Festkörperphysik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978.
- L Recknagel, A.: Physik Elektrizität und Magnetismus. VEB Verlag Technik, Berlin 1965.
- L Richter/Schreier/Träger/Wendt: Elektrische Messung nicht-elektrischer Größen. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1975.

Zusatzliteratur

- L Autorenkollektiv: Werkstoffkunde für Elektroberufe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1973.
- L Gau/Helbig: Demonstration der Hystereseschleife ferromagnetischer Stoffe mit dem Katodenstrahloszillographen. In: "Physik in der Schule", Heft 9/1977.
- L Autorenkollektiv: Kleine Enzyklopädie, Atom-Struktur der Materie. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1970.

A u s s t a t t u n g s p l a n
für Unterrichtsmittel der erweiterten
allgemeinbildenden polytechnischen
Oberschule der DDR
Fakultativer Unterricht Klassen 11 und 12
Lehrgang Festkörperphysik

Hinweise zum Ausstattungsplan

Der Ausstattungsplan enthält alle für die Durchführung des Lehrganges notwendigen Unterrichtsmittel.

Bis auf die mit "N" gekennzeichneten Positionen wurden diese Unterrichtsmittel für den obligatorischen Unterricht bzw. die außerunterrichtliche Arbeit entwickelt und befinden sich bereits an den Einrichtungen.

Sie können im Bedarfsfall beim Staatlichen Kontor für Unterrichtsmittel und Schulmöbel bezogen werden. Die Bestell-Nr. ist den jeweils gültigen Bestellunterlagen zu entnehmen.

Die mit "N" gekennzeichneten Positionen sind spezifische Neuentwicklungen. Die Ausstattung der Einrichtungen erfolgt nach Abschluß der Entwicklung und Aufnahme der Produktion aus dem zentralen Fonds des Ministeriums für Volksbildung.

Die mit "S" gekennzeichneten Unterrichtsmittel sind durch Selbstbeschaffung bzw. Selbstanfertigung bereitzustellen.

Für die ordnungsgemäße Erfassung der Unterrichtsmittel an der Einrichtung gelten die im "Gesamtausstattungsplan für Unterrichtsmittel der erweiterten allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule" getroffenen Festlegungen.

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2	3	4		
<u>1. Filme</u>							
<u>1.1. 16 mm-Filme</u>							
F 918 Chemische Reaktion VI: Bildung von Makromolekülen	x				315800	aus Chemie mitnutzen	KfU
F 810 Schmelzen und Erstarren		x			275703		KfU
TBF 493 Mikroelektronik			x	x	575907	aus BGF oder fak. Lehrgang "Elektronik" mitnutzen	KfU
<u>1.2. 8 mm-Filme</u>							
KF 114 Ausdehnung fester Körper beim Erwärmen	x				276288		FUR
KF 22 Störstellenleitung in Halbleitern p-Leitung			x		286152		FUR
KF 23 Störstellenleitung in Halbleitern n-Leitung			x		286160		FUR
KF 24 Eigenleitung in Halbleitern			x		286177		FUR
KF 83 Elektrischer Leitungsvorgang			x		286193		FUR
KF 73 Aufbau der Stoffe				x	296199		FUR
KF 62 Brownische Bewegung	x				276230		FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2	3	4		
KP 49 Auflösen von Natriumchlorid in Wasser		X			316207	aus Chemie mitnutzen	FUR
2. <u>Lichtbildreihen und Diafilme</u>							
2.1. <u>Lichtbildreihen</u>							
R 653 Diafundus: Morphologie der Kristalle		X			315006	S oder aus POS Chemie mitnutzen, wird abgelöst durch R ... "Diafundus: Morphologie und Struktur von Kristallen"	FUR
R 714 Diafundus: Struktur der Kristalle		X			315013	S oder aus POS Chemie mitnutzen, wird abgelöst durch R ... "Diafundus: Morphologie und Struktur von Kristallen"	FUR
R 792 Diafundus: Molekülmodelle von Kohlenwasserstoffen		X			315046	S oder aus POS Chemie mitnutzen, wird abgelöst durch Projektionsfolienreihe "Darstellungen zur Struktur der Moleküle organischer Verbindungen"	FUR
BR 272 Grundlagen der Elektronik I			X	X	575007	aus BGF mitnutzen	FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	8	1	2	3	4		
BR 277 Grundlagen der Elektronik II		x	x		575015	aus BGF mitnutzen	KfU
R 1002 Diafundus: Herstellung und Verwendung von PVC	x				315087	aus Chemie mitnutzen	FUR
2.2. <u>Diafilme</u>							
keine							
3. <u>Tonbildreihen und Tondiafilme</u>							
keine							
3.1. <u>Tonbildreihen</u>							
keine							
3.2. <u>Tondiafilme</u>							
keine							
4. <u>Magnettonbänder</u>							
keine							
5. <u>Schallplatten</u>							
keine							
6. <u>Projektionsfolien</u>							
Halbleiter I	x	x	x	x			FUR
Halbleiter II	x	x	x	x			FUR
Halbleiter III	x	x	x	x			FUR
Folienreihe: Grundbegriffe zur Kristallografie	x					S	FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	1	2	3	4			
Prinzip des Vielfachmeßgerätes	x	x			427615		FUR
Schülervielfachmeßgerät "Polytest I"	x	x				1 je 1 SAP	FUR
7. <u>Anschauungstafeln und -bilder</u> keine							
8. <u>Karten</u> keine							
9. <u>Applikationen</u> keine							
10. <u>Geräte und Modelle</u>							
10.1. <u>Allgemeines</u>							
Präzisionsstativmaterial	x	x	x	x	260030		FUR
Grundausstattung I	x	x	x	x	260047		FUR
Grundausstattung II	x	x				S	FUR
Gittermodell (14 Bravaiszellen)							
- Sortiment Hartplastkugeln							
- Holz- oder Plaststäbchen							
- Kleber							
Ionenkristall von Natriumchlorid (Packungs- und Schwerpunktgitter)	x				313286		FUR
Atomkristall von Diamant (Grund- und Ergänzungsmaterial)	x				313300 313294		FUR
						Wurstspeiler o. ä. Plastfix o. ä. aus Chemie mitnutzen	
						aus Chemie mitnutzen	

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2	3	4		
10.2. SEG-System							
SEG Halbleiter-Hochfrequenz-Elektronik	x	x	x	x	x	1 je 2 SAP	FUR
SEG Halbleiter-Hochfrequenz-Elektronik Ergänzung P 12		x	x			1 je 2 SAP	FUR
SEG Elektrik, Grundsatz	x	x	x	x	x	1 je 2 SAP	FUR
SEG Elektrik, Zusatz	x	x	x	x	x	1 je 2 SAP	FUR
SEG Kalorik	x	x				1 je 4 SAP	FUR
SEG Optik I				x		1 je 4 SAP	FUR
Grundgerät "Geometrische Optik"							FUR
SEG Optik II				x			FUR
Teilgerät "Ebene geometrische Optik"							FUR
SEG Optik III	x			x		1 je 4 SAP	FUR
Zusatzgerät "Wellenoptik"							FUR
SEG Glasgerätesatz	x	x				1 je 4 SAP	FUR
Schülermeßgerät "Polytest I"	x	x	x	x		1 je 1 SAP	FUR
SEG Blackbox		x				1 je 4 SAP	FUR
Satz Verbindungsleitungen mit Aufbewahrungsvorrichtung	x	x	x	x		1 je 2 SAP	FUR
Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik		x				aus fakultativem Lehrgang Elektronik mitnutzen	FUR
Stufen 5 und 6						1 je 2 SAP	
Baukasten Elektronik/Mikroelektronik Stufe A		x	x			N, 1 je 2 SAP löst Elektronik 5/6 ab aus fakultativem Lehrgang Elektronik mitnutzen	FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge E 1 2 3 4	Art der Be- schaffung	Bemerkungen	Standort
Baukasten Elektronik/Mikro- elektronik Stufe B	x x		N, 1 je 2 SAP aus fakultativem Lehrgang Elektronik mitnutzen	FUR
Baukasten Elektronik/Mikro- elektronik Zusatz C	x x		N, 1 je 2 SAP aus fakultativem Lehrgang Elektronik mitnutzen	FUR
Schülerstromversorgungsgerät, Grundgerät	x x	282157	1 je 2 SAP	FUR
Schülerstromversorgungsgerät, Ergänzung Halbleiterelektronik	x x		N, 1 je 2 SAP aus fakultativem Lehrgang Elektronik mitnutzen	FUR
<u>10.3. Meßgeräte</u>				
Präzisionswaage	x	260578		FUR
Wägesatz	x	260658		FUR
Kursmikroskop (monokular)	x x	360106	aus Biologie mitnutzen	FUR
ROW-Kleinmikroskop C	x	361002	aus Biologie mitnutzen	FUR
Vertikalmaßstab	x	260874		FUR
Handwägestücke aus Eisen (Auswahl)				
- 500 g	x	260586		FUR
- 100 g	x	260594		FUR
- 200 g	x	260600		FUR
- 1 kg	x	260617		FUR
- 2 kg	x	260625		FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2	3	4		
- 5 kg	x				260633		FUR
- 10 kg	x				260658		FUR
Satz kombinierte Zug- und Druckkraftmesser	x				260795		FUR
Gerät zur Messung in elektrischen und magnetischen Feldern				x	282124	Normativ: 1 je EOS	FUR
Gerät zur Erzeugung des elektrischen und magnetischen Feldes				x	282011		FUR
Spiegelgalvanometer				x		S über VEB Maschinenaubandel Dresden	FUR
Einstufiger Meßverstärker				x		S oder VEB Maschinenaubandel Berlin	FUR
Zweistufiger Meßverstärker oder Rundfunkgerät mit Tonabnehmerbuchsen				x		S	FUR
Meßzylinder 100 ml	x	x			310933		FUR
Laborthermometer 0 ... 200 °C	x	x			260930		FUR
Bimetallstreifen		x			272050		FUR
Universalmesser 7			x		282435		FUR
Thermoelement		x		x	280210	S	FUR
Demonstrations-Vielfachmeßgerät DVG			x		282116	N, löst DsD und Röhrenvoltmeter ab; Normativ: 2 je FUR	FUR
Digitalzählgerät mit Zeitmeßeinrichtung "Polydigit"				x	260721	Normativ: 1 je FUR	FUR
Lichtschrankenordnung				x	260754	in Verbindung mit "Polydigit"	FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2	3	4		
Demonstrationsoszillograph ED 2 oder Demonstrationsoszillograph ED 1-AB		x	x	x	282212	Normativ: 1 je EOS	FUR
10.4. Geräte							
Infrarotstrahler	x				x	S über VEB Maschinen- bauhandel FA Schwach- stromtechnik	FUR
Thermoskule					x	S	FUR
Peltier-Kühlbatterien					x	S über VEB Kälte- technik Haldens- leben	FUR
Widerstandsthermometer (metall.)			x			S über VEB Maschinen- bauhandel FA Schwach- stromtechnik	FUR
Wheatstonsche Meßbrücke			x			S über VEB Maschinen- bauhandel FA Schwach- stromtechnik	FUR
Elektronischer Schalter			x		282237		FUR
Gerät zur Ausdehnung der Körper durch Erwärmung	x				272188		FUR
Tafelschaltgerät	x	x			282630		FUR
Hg-Spektrallampe			x		280276		FUR
Drosselspule für Hg-Spektrallampe			x		280284		FUR
Fassung für Hg-Spektrallampe			x		280292		FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge			Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2			
Grundgerät Optische Bank	x	x	x	280042	Normativ: 1 je EOS	FUR
Ergänzungsausstattung Wellen- optik zur Optischen Bank	x	x	x		N	FUR
Stromversorgungsgerät für Niederspannung	x	x	x	282132		FUR
Stromversorgungsgerät für Mittelspannung	x	x	x	282140		FUR
Vakuumfotозelle (für h-Bestimmung)		x	x	28225		FUR
Fotозelle		x	x	282245		FUR
Leuchtschirm (Perlux)		x	x	282358		FUR
Fotoapparat (Spiegelreflex)	x	x	x		S in Verbindung mit Kurzmikroskop	FUR
Aufnahmetubus	x	x	x		S	FUR
Aufbaugerätesatz zur Elektrizitätslehre			x	282446	Normativ: 1 je FUR	FUR
Universalarlingwiderstände I und II oder Gleitwiderstände 14/5 A			x			
140/1,6 A			x	282052		FUR
305/1 A			x	282060		FUR
Dekadenwiderstände			x	282077		FUR
Funktionsmodell Diode		x	x	282044		FUR
Kugel mit Ring		x	x	282325		FUR
		x	x	272042	S oder Ausleihe POS	FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2	3	4		
Satz radioaktiver Strahlungsquellen (mit Präparatehalter und Aufbewahrungsbehälter)				x		Bestellung über Isocommerz	FUR
<u>10.5. Glasgeräte und anderes Zubehör</u>							
Becherglas, 250 ml	x				311050		FUR
Becherglas, 800 ml	x				311067		FUR
Erlenmeyerkolben W 500 ml	x				311227		FUR
Objekträger	x	x			382212	aus Biologie mitnutzen	FUR
Glasröhren $\varnothing$ 7 - 8 mm	x				310484		FUR
Uhrglas 75 mm	x	x			311678	aus Chemie mitnutzen	FUR
Gasbrenner nach Landmann	x	x			312517		FUR
Dreifuß 18 (aus Eisen) Höhe 180 mm	x	x			312775	aus Chemie mitnutzen	FUR
Drahtgewebe K	x	x			312855		FUR
Spatellöffel 12 cm	x	x			313060	aus Chemie mitnutzen	FUR
Schmelzlöffel	x				313028	aus Chemie mitnutzen	FUR
Schmelztiiegel	x				313036	aus Chemie mitnutzen	FUR
Tiegelzange 20	x				313093	aus Chemie mitnutzen	FUR
<u>10.6. Verbrauchsmaterial</u>							
Drähte aus Kupfer, Eisen, Aluminium $\varnothing$ 0,5 - 1,0 mm	x	x				S über VEB Walzwerk Hettstedt oder Fachhandel	FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	E	1	2	3	4		
Thermdraht		x			x	S über VEB Walzwerk Hettstedt	FUR
PVC-Stab (Gardenleiste 1 m)	x					S über Fachhandel	FUR
Filterpapierstreifen	x	x				S oder aus Chemie mitnutzen	FUR
Industrielles Waschmittel (mit optischem Aufheller)	x	x				S über Fachhandel	FUR
Film (NP 15, NP 20)	x					S über Fachhandel	FUR
<u>11. Chemikalien</u>							
Kaliumnitrat 2. AB DDR	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Kaliumbromid	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Äthanol	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Methanol	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Salzsäure	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Salpetersäure 2. AB DDR	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Magnesiumsulfat 2. AB DDR	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Natriumthiosulfat-5-hydrat	x					aus Chemie mitnutzen	FUR

Unterrichtsmittel	Lehrgänge				Art der Beschaffung	Bemerkungen	Standort
	I	2	3	4			
Kupfer-(II)-Sulfat-5-hydrat	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Kaliumhexacyanoferrat III	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Blei fein gekörnt		x				aus Chemie mitnutzen	FUR
Kaliumaluminiumsulfat	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Kaliumatriumtertrat	x					aus Chemie mitnutzen	FUR
Kupfer-II-chlorid-2-hydrat		x				aus Chemie mitnutzen	FUR
Eisen-III-chlorid kristallin		x				aus Chemie mitnutzen	FUR
Ammoniak 25 %		x				aus Chemie mitnutzen	FUR
Gesteine, Minerale	x	x				S oder aus Chemie mitnutzen	FUR
Fluorescein			x			S	FUR
Einkristalle	x	x				S	FUR
Kleine Metallplatten aus Messing, Aluminium, Kupfer, Zinn, Zink, Eisen (oberflächenvergütet), Graugußstücke	x	x				S	FUR
Öl (Nähmaschinenöl)			x			S über Fachhandel	FUR

Kurzwort: 02 30 69 Lehrs.,Festk.,Physik