AKADEMIE DER PÄDAGOGISCHEN WISSENSCHAFTEN DER DDR

Forschungsgruppe Physik/Astronomie

# Physikalisches Praktikum

## Klasse 10

Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung

Erprobungsmaterial
(Als Manuskript gedruckt)

- 1986 -

AKADEMIE DER PÄDAGOGISCHEN WISSENSCHAFTEN DER DDR

Forschungsgruppe Physik/Astronomie

# Physikalisches Praktikum

## Klasse 10

Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung

Herausgeber: Dr. Christian Hache

Erprobungsmaterial
(Als Manuskript gedruckt)

- 1986 -

## Einführung

### Ziele des physikalischen Praktikums

Das physikalische Praktikum ist ein wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts an Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung.
Es soll Ihnen nicht nur helfen, den im Unterricht erarbeiteten Stoff und die erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit Geräten zu festigen und zu vertiefen, sondern soll auch zeigen, wie vielfältig die Methoden sein können und müssen, um die in der Natur wirkenden Gesetze zu erforschen, ihren objektiven Charakter nachzuweisen und nutzbringend anzuwenden.
Sie erhalten durch die Lösung der Praktikumsaufgaben einen besseren Überblick über verschiedene Teilgebiete der Physik und ihren Zusammenhang.
Indem Sie die Praktikumsexperimente gründlich vorbereiten, sorgfältig durchführen und kritisch auswerten, lernen Sie Methoden des wissenschaftlichen Arbeitens kennen und schaffen gute Voraussetzungen für den Physikunterricht in der Abiturstufe und für Ihre spätere berufliche Tätigkeit.

### Inhalt und Durchführung des physikalischen Praktikums

Das physikalische Praktikum in der Klasse 10 bezieht sich auf zurückliegenden Unterrichtsstoff und beinhaltet Versuche aus den Stoffgebieten Elektrik und Mechanik. Zu den Versuchsaufgaben sind nur wenige Hinweise gegeben, so daß Sie die Planung, Durchführung und Auswertung weitgehend selbständig ausführen müssen.
Die Durchführung der Experimente setzt gewisse praktische Grundkenntnisse und Fähigkeiten voraus, wie Umgang mit Meßgeräten, Exaktheit, geschulte Beobachtungsgabe, experimentelles Geschick und gewissenhafte Protokollführung. Zur Versuchsvorbereitung sind die nötigen Grundlagen rechtzeitig

zu wiederholen und ist außerdem das Studium geeigneter Fachliteratur unbedingt erforderlich. Gute Leistungen im Praktikum können nur durch gute Vorbereitung der Versuche, einen rationellen Arbeitsstil, Sorgfalt bei den Messungen, Ordnung am Arbeitsplatz, kameradschaftliches Verhalten zu den Mitschülern und Einhaltung der Bestimmungen zum Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz erzielt werden.
Die Durchführung eines Experiments schließt die Erfassung der Meßwerte und die Anfertigung des Meßprotokolls ein. Besonders wichtig ist die kritische Einschätzung der Meßergebnisse.

## Fehlerbetrachtungen

Jedes Meßergebnis wird durch Unvollkommenheiten der Meßgeräte und Meßverfahren sowie durch subjektive Einflüsse und Störungen aus der Umgebung verfälscht. Bestandteil des Meßergebnisses muß also immer eine Aussage über das Vertrauen sein, das man ihm entgegenbringen darf. Die Fehlerbetrachtung ist deshalb eine wesentliche Tätigkeit in der Auswertung der Messung.
Im Praktikum der 10. Klasse erfolgt eine Fehlerbetrachtung, bei der die systematischen und zufälligen Fehleranteile abgeschätzt werden müssen. Dazu werden die bei der Messung auftretenden Fehlerursachen und Fehlerarten zusammengestellt und analysiert. Die Größe der auftretenden Meßfehler wird abgeschätzt und das Meßergebnis formuliert. Da direkte Meßwerte meist erst durch mathematische Beziehungen zur gesuchten Größe verknüpft werden müssen, gehen ihre Fehler auch in das Ergebnis ein, das sich dann aus ermittelten Meßwerten und der Meßunsicherheit (Einfluß aller zufälligen und abschätzbaren systematischen Fehler) zusammensetzt.
Die Berechnung des Fehlers bei indirekten Messungen erfolgt mit Formeln, in die die Größtfehler der einzelnen direkten Meßwerte eingesetzt werden.

Es gelten folgende Beziehungen:

- Bei Addition oder Subtraktion zweier Meßwerte $x_1$, $x_2$ zu einem Meßergebnis y ist der absolute Fehler $\Delta y$ des Meßergebnisses gleich der Summe der Beträge der absoluten Fehler der Meßwerte:

$$|\Delta y| = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$$

- Bei Multiplikation oder Division zweier Meßwerte $x_1$, $x_2$ zu einem Meßergebnis y ist der relative Fehler des Meßergebnisses gleich der Summe der Beträge der relativen Fehler der Meßwerte:

$$\left|\frac{\Delta y}{y}\right| = \left|\frac{\Delta x_1}{x_1}\right| + \left|\frac{\Delta x_2}{x_2}\right|$$

## Fehlergrenzen einiger im Praktikum verwendeter Meßgeräte

Alle im Praktikum verwendeten Meßgeräte weisen beim Messen einen systematischen Fehler auf, der in die Meßunsicherheit eingeht. Durch die folgenden Angaben sind Sie in der Lage, den bei der Messung zu erwartenden Meßfehler vorherzubestimmen, um die mit den verwendeten Mitteln erreichbare Genauigkeit abschätzen zu können.

| Meßgeräte | Fehler |
|---|---|
| UNI 7 | ± 1 % bzw. 1,5 % |
| Polytest | ± 2,5 % |
| Polyzet | ± 5 % |
| | jeweils des Endausschlages |
| Widerstandsmeßbrücke | |
| Bereich 0,9 Ω - 1,1 MΩ | ± 1 % |
| 0,9MΩ - 11 MΩ | ± 1,5 % |
| Stoppuhr | ± 0,2 s |
| Meßzylinder | ± 0,5 % bis 1 % |

| | |
|---|---|
| Thermometer | |
| org. Flüssigkeit (1/1 K.-Teil.) | ± 1 K bis ± 2 K |
| Quecksilber | |
| (1/10 K-Teilung) | ± 0,2 K |
| (1/1 K-Teilung) | ± 0,5 K bis 1 K |
| Waage | ± 0,3 ‰ |
| Stahlmeßstab | ± 0,1 ‰ |
| Feinmeßzeiger (Meßuhr) | ± 25 µm |

## Praktikumsexperimente

### 1. Bestimmen von Urspannung und Innenwiderstand einer Spannungsquelle

**Aufgaben:**

1. Bestimmen Sie die Urspannung der vorgegebenen Spannungsquelle!
2. Stellen Sie folgende Abhängigkeiten grafisch dar:
   Klemmenspannung vom äußeren Widerstand,
   Klemmenspannung von der Stromstärke,
   Stromstärke vom äußeren Widerstand!
3. Ermitteln Sie durch Auswerten verschiedener Belastungsfälle den Innenwiderstand der Spannungsquelle!

**Geräte und Hilfsmittel**

1 Spannungsquelle
2 Vielfachmeßgeräte
verschiedene Widerstände
1 Satz Verbindungsleiter

**Literaturempfehlung**

Kretschmar/Wende/Wollmann: Physikalisches Praktikum, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 122.

## 2. Bestätigen der Gesetze für den Transformator

Aufgaben:

1. Bestätigen Sie die in Klasse 9 formulierten Gesetze der Spannungsübersetzung und der Stromübersetzung!
   Stellen Sie für den unbelasteten Transformator das Verhältnis $\frac{U_2}{U_1}$ in Abhängigkeit von $U_1$ grafisch dar!
2. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Sekundärspannung vom Lastwiderstand und die Abhängigkeit des Primärstroms vom Sekundärstrom beim belasteten Transformator!
3. Bestimmen Sie den Wirkungsgrad eines Transformators in Abhängigkeit von der Belastung und stellen Sie den Zusammenhang $\eta = f(I_2)$ grafisch dar!
4. Wiederholen Sie die letzte Versuchsreihe mit einem massiven Eisenkern und tragen Sie das Ergebnis in das gleiche Koordinatensystem ein!
   Vergleichen Sie beide Kurven miteinander!

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
2 Vielfachmeßgeräte
1 Transformator (mit unterschiedl. Eisenkernen)
1 veränderbarer Widerstand
1 Satz Verbindungsleiter

Literaturempfehlung

Physik 10 Praktikum, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980, S. 19.

## 3. Untersuchen der Leistungsanpassung im Grundstromkreis

**Aufgaben:**

1. An eine Spannungsquelle werden der Widerstand R und ein veränderbarer Verbraucherwiderstand $R_v$ in Reihe angeschlossen. Leiten Sie eine Formel zur Berechnung der Verbraucherleistung in Abhängigkeit vom Verbraucherwiderstand her und stellen Sie diesen Zusammenhang grafisch dar!
2. Bestimmen Sie experimentell für 2 verschiedene Widerstände R die am Verbraucher $R_v$ umgesetzte Leistung und vergleichen Sie diese mit den unter Benutzung der hergeleiteten Formel errechneten Werten!
3. Formulieren Sie ausgehend von den Versuchsergebnissen die allgemeine Bedingung für die Leistungsanpassung und erläutern Sie die praktische Bedeutung!

**Geräte und Hilfsmittel**

1 Spannungsquelle
2 Vielfachmeßgeräte
Dekadenwiderstände
1 Satz Verbindungsleiter

**Hinweis**

Der eigentliche Innenwiderstand der Spannungsquelle kann bei diesem Versuch vernachlässigt werden. Der Widerstand R übernimmt hier die Rolle des Innenwiderstandes!

**Literaturempfehlung**

Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 138.

## 4. Erkennen von Bauelementen aus Black-box-Experimenten

Aufgaben:

1. Entwickeln Sie eine Schaltung, mit der Sie gezielt untersuchen können, welche Bauelemente in der jeweiligen Black-box enthalten sind!
   Erläutern und begründen Sie Ihr weiteres Vorgehen bei der Untersuchung!
2. Stellen Sie fest, welche elektrischen Bauelemente sich in den Kästen befinden!
3. Wie groß ist der Widerstand der untersuchten Bauelemente im Gleichstromkreis?

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
verschiedene Black-boxes (Zwei- und Vierpole)
2 Vielfachmesser
1 Satz Verbindungsleiter

Hinweis

Beachten Sie die auf den Kästen angegebenen maximalen Spannungswerte!

## 5. Untersuchen der Vorgänge beim Laden und Entladen von Kondensatoren

### Aufgaben:

1. Ermitteln Sie die Abhängigkeit der Lade- und Entladestromstärke eines Kondensators von der Zeit für drei verschiedene Widerstände und stellen Sie die Zusammenhänge grafisch dar!
2. Berechnen Sie für den Entladevorgang die Anfangsstromstärken und vergleichen Sie diese mit den aus den Diagrammen abgelesenen Werten!
3. Bestimmen Sie näherungsweise aus den Diagrammen die Ladung, die der Kondensator bei der Entladung abgegeben hat!

### Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
1 Kondensator
2 Vielfachmesser
1 Umschalter
verschiedene Widerstände
1 Uhr
1 Satz Verbindungsleiter

### Hinweise

Beachten Sie bei der Auswahl der Widerstände, daß der Lade- bzw. Entladevorgang so langsam erfolgt, daß ein Ablesen des Stromstärkemessers in bestimmten Zeitabständen möglich ist! Führen Sie vorher evtl. einige Probemessungen durch!

### Literaturempfehlung

1. Kretschmar/Wende/Wollmann: Physikalisches Praktikum, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 142.
2. Ilberg u. a.: Physikalisches Praktikum für Anfänger, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1985, S. 150.

## 6. Bestimmen des Wirkungsgrades eines Gleichstrommotors

Aufgaben:

1. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Stromstärke von der Bremskraft oder vom Drehmoment bei einem belasteten Gleichstrommotor!
2. Ermitteln Sie mit einer geeigneten Meßanordnung die aufgenommene und die abgegebene Leistung für verschiedene Belastungen!
3. Stellen Sie die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der abgegebenen Leistung grafisch dar!

### Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
1 Motor
2 Vielfachmesser
1 Abbremsvorrichtung
1 Kraftmesser
1 Drehzahlmesser
1 Meßstab
1 Satz Verbindungsleiter

### Hinweise

Der Motor wird unbelastet angelassen und durch eine Abbremsvorrichtung (Seilbremse bzw. Pronyscher Zaum) bis zum Stillstand belastet.

### Literaturempfehlung

1. Körner u. a.: Physik Fundament der Technik. 6. Auflage, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, S. 142.
2. Physik 9 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981, S. 29.

## 7. Elektrisches Messen von Temperaturen

### Aufgaben:

1. Nehmen Sie für das vorgegebene Halbleiterbauelement die $I-\vartheta$ -Kennlinie bei konstanter Spannung auf!
2. Fertigen Sie für eines der zur Verfügung stehenden Meßgeräte eine Temperaturskale entsprechend der Kennlinie an!
3. Stellen Sie eine Vorrichtung zur Temperaturmessung unter Verwendung des Halbleiterbauelementes zusammen und führen Sie Vergleichsmessungen mit einem Thermometer durch!
4. Schätzen Sie die Genauigkeit Ihrer Messung ab!

### Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
1 Halbleiterbauelement (Anschlußwerte erfragen)
1 Drehpotentiometer (50 Ohm, 25 Watt)
2 Vielfachmeßgeräte
1 Satz Verbindungsleiter
1 Thermometer
1 Kochbecher (oder Erlenmeyerkolben) mit Öl oder Sand
1 Heizplatte mit Geräteschnur
1 kl. V-Fuß

### Literaturempfehlung

1. Richter/Schreier/Träger/Wendt: Elektrische Messung nichtelektrischer Größen. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978, S. 32 bis 34.
2. Physik 9 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1976, S. 27/28.

## 8. Bestimmen des Wirkungsgrades bei Energieumwandlung

**Aufgaben:**

1. Erwärmen Sie mit Hilfe einer Heizwendel eine Flüssigkeitsmenge und bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Energieumwandlung!
2. Entscheiden Sie sich für eine strom- oder spannungsrichtige Schaltung der Meßgeräte und begründen Sie Ihre Entscheidung!
3. Ermitteln Sie den relativen Fehler $\Delta\eta / \eta$ des Wirkungsgrades!

**Geräte und Hilfsmittel**

1 Stromversorgungsgerät
1 Heizwendel (Betriebsspannung erfragen)
2 Vielfachmeßgeräte
1 Aluminiumtopf
1 Becherglas 100 ml
1 Thermometer
1 Meßzylinder 100 ml
1 Satz Verbindungsleiter
1 Deckel zum Kalorimeter
1 Stoppuhr
1 Rührstab

**Hinweise**

Erwärmen Sie ca. 10 min und messen Sie die Endtemperatur erst nach Entfernen der Heizwendel und nach nochmaligem guten Durchrühren der Flüssigkeit! (Warum?)
Berechnen Sie den relativen Größtfehler mit Hilfe der Gleichung:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \left|\frac{\Delta I}{I}\right| + \left|\frac{\Delta U}{U}\right| + \left|\frac{\Delta t}{t}\right| + \left|\frac{\Delta m}{m}\right| + \left|\frac{2\,\Delta\vartheta}{\vartheta_2 - \vartheta_1}\right|$$

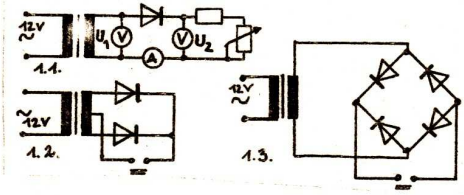
**Literaturempfehlung**


1. Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 117.
2. Physik 10 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980, S. 25/26.

## 9. Anwenden von Dioden in Gleichrichterschaltungen

**Aufgaben:**

1. Bauen Sie aus Aufbauteilen die Gleichrichterschaltungen nach Skizze 1.1. bis 1.3. auf!
   Entwerfen Sie die vollständigen Schaltbilder für 1.2. und 1.3. vor der Durchführung des Experiments!




2. Ermitteln Sie jeweils den Wirkungsgrad der Schaltung aus dem Verhältnis der Spannungen $U_2 : U_1$ für unterschiedliche Stromstärken von 0,1 bis max. 0,6 A in Schritten zu 0,1 A!
3. Zeichnen Sie die ermittelten Werte in Diagramme ($\eta = f(I)$)!

**Geräte und Hilfsmittel**

1 Stromversorgungsgerät
3 Vielfachmeßgeräte
1 Widerstand 10 Ohm/10 Watt
1 Potentiometer 50 Ohm/25 Watt
1 Satz Verbindungsleiter
2 Kastenspulen 750/1500 Windungen
1 geblätterter U-Kern mit Joch
4 Dioden 1 A
4 Grundbretter 3-buchsig

**Literaturempfehlung**

Burmeister/Häsel/Höppner: Elektronik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980, S. 44 bis 50.

## 10. Bestimmen der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit von Metallen

### Aufgaben:

1. Ermitteln Sie für Drähte unterschiedlicher Abmessungen und aus unterschiedlichen Metallen die spezifischen elektrischen Widerstände!
2. Werten Sie in Form von Diagrammen aus und vergleichen Sie mit Tabellenwerten!
   Untersuchen Sie dabei, welche Genauigkeit Ihre Ergebnisse aufweisen!
3. Leiten Sie aus Ihren Meßergebnissen Aussagen über die spezifische elektrische Leitfähigkeit der Metalle ab!

### Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
2 Vielfachmeßgeräte
1 Potentiometer 50 Ohm/25 Watt
1 Meterstab
1 Feinmeßschraube
1 Satz Verbindungsleiter
2 Isolatoren mit Rundfuß oder Tischklemme
Metalldrähte unterschiedlichen Materials

### Hinweis

Beachten Sie die Bedingung für die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes!

### Literaturempfehlung

1. Körner u. a.: Physik Fundament der Technik. 6. Auflage, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, S. 233.
2. Ilberg u. a.: Physikalisches Praktikum für Anfänger. 6., überarb. Auflage, BSB B. G. Teubner Verlag·gesellschaft, Leipzig 1982, S. 224 bis 226 und 227 bis 233.

## 11. Bestimmen der Fallbeschleunigung

**Aufgaben:**

1. Untersuchen Sie durch Aufnehmen einer Meßreihe von jeweils 10 Meßwerten den Zusammenhang zwischen der Fallhöhe h und der Fallzeit t für einen frei fallenden Körper (Stahlkugel) für 5 verschiedene Fallhöhen!
2. Stellen Sie die Funktionen $h(t)$ und $h(t^2)$ grafisch dar!
3. Bestimmen Sie die Fallbeschleunigung g als Mittelwert aus den insgesamt 50 Meßwertpaaren (t; h) sowie den relativen Fehler $\Delta g/g$ der Fallbeschleunigung!

**Geräte und Hilfsmittel**

1 Polydigit (komplett mit Lichtschrankeneinrichtung)
1 Meterstab
Stativmaterial
1 Stahlkugel

**Hinweis**

Der relative Fehler $\Delta g/g$ wird wie folgt bestimmt:

$$\frac{\Delta g}{g} = \left|\frac{\Delta h}{h}\right| + 2\left|\frac{\Delta t}{t}\right|$$

## 12. Untersuchen von Anwendungen des Newtonschen Grundgesetzes

### Aufgaben:

1. Untersuchen Sie bei geradliniger, gleichmäßig beschleunigter Bewegung eines Wagens (eines Luftkissenschlittens) den Zusammenhang zwischen der Kraft F und der Beschleunigung a!
2. Stellen Sie die funktionalen Zusammenhänge in einem F-a-Diagramm dar und formulieren Sie Ihre Ergebnisse verbal!
3. Schätzen Sie die Größe der Reibungskraft ab!

### Geräte und Hilfsmittel

1 Polydigit (komplett mit Lichtschrankeneinrichtung)
1 Satz Hakenkörper
1 Meterstab
1 Wasserwaage
1 Präzisionswaage mit Wägestücken
Schnur
und
1 Schiene mit Feinrolle
1 Wagen
2 Kippschalter dazu
oder
1 Luftkissenbahn mit Gebläse
1 Schlitten dazu mit Wägestücken
Stativmaterial

### Hinweise

1. Überprüfen Sie, ob die Schiene exakt waagerecht aufgebaut ist.
2. Führen Sie einige Probebewegungen des Fahrzeugs durch!

Achten Sie darauf, daß die Reibung möglichst gering gehalten wird und daß die Zeitmeßeinrichtung funktioniert.

Literaturempfehlung

1. Sprockhoff: Physikalische Schulversuche 1/2, Mechanik der festen Körper. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977, S. 154 bis 156.

2. Physik 9 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1976, S. 9/10.

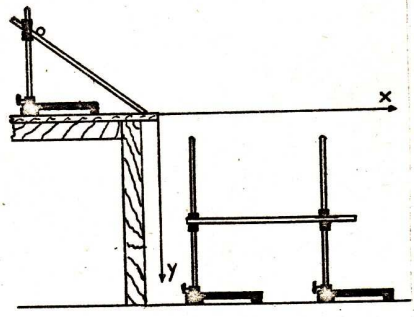
## 13. Ermitteln von Wurfbahnen

**Aufgaben:**

1. Lassen Sie aus 3 verschiedenen Höhen eine Kugel nach Ablaufen von einer geneigten Ebene über eine waagerechte Tischkante laufen, und nehmen Sie jeweils für den anschließenden waagerechten Wurf die Bahnkurven punktweise auf!
2. Berechnen Sie für die 3 unterschiedlichen Ablaufhöhen die Abwurfgeschwindigkeit $v_o$ der Kugel für die Ermittlung der jeweiligen theoretischen Bahnkurve und tragen Sie diese Kurven in ein x-y-Koordinatensystem ein!
3. Vergleichen Sie in je einem Diagramm die experimentell ermittelten und die theoretisch errechneten Bahnkurven und begründen Sie die Abweichung!

**Geräte und Hilfsmittel**

1 Ablaufrinne/ Gardinenschiene
1 Stahlkugel
3 v-Füße
2 Stativstäbe, 1000 mm lang
3 Stativstäbe, 250 mm lang
2 Stativstäbe, 60 mm lang
3 Kreuzklemmen
2 Tischklemmen
1 Stelltisch
1 Achszapfen
1 Meterstab
Zeichenpapier
Kohlepapier
Selbstklebeband



**Hinweise**

1. Sie finden den Versuchsaufbau einsatzbereit vor. Die Kugel soll auf der Tischplatte ca. 5 cm waagerecht rollen, bevor der waagerechte Wurf beginnt.
2. Probieren Sie Ablaufhöhen für die Kugel aus, damit Sie den Auftreffpunkt auch bei unterschiedlichen Höhen erfassen!

**Literaturempfehlung**

Physik 11/12 Schülerexperimente. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981, S. 12.

## 14. Ermitteln der Federkonstanten für Systeme aus mehreren Federn

### Aufgaben:

1. Bestimmen Sie für zwei gegebene Schraubenfedern jeweils die Federkonstante ($k_1$ und $k_2$)!
2. Erzeugen Sie durch Hintereinandersetzen der beiden Federn (Reihenschaltung) eine neue Feder und bestimmen Sie deren Federkonstante $k_r$!
3. Erzeugen Sie durch Nebeneinandersetzen der beiden Federn (Parallelschaltung) eine neue Feder und bestimmen Sie deren Federkonstante $k_p$!
4. Formulieren Sie die gesetzmäßigen Zusammenhänge $k_r$ ($k_1$, $k_2$) und $k_p$ ($k_1$, $k_2$)!

### Geräte und Hilfsmittel

2 Schraubenfedern
1 Tischklemme
Stativmaterial
1 Satz Hakenkörper
1 Meßstab
1 Waage mit Wägesatz

### Literaturempfehlung

Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 43.