

SINUS - TRANSFER Programm Thüringen

Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts



Naturwissenschaftliches Praktikum in Klassenstufe 10

HEFT 136 · 2007

MATERIALIEN

Thilm

Thüringer Institut für Lehrerfortbildung,
Lehrplanentwicklung und Medien

Die Reihe „Materialien“ wird vom Thüringer Institut für Lehrerfortbildung, Lehrplanentwicklung und Medien im Auftrag des Thüringer Kultusministeriums herausgegeben, sie stellt jedoch keine verbindliche, amtliche Verlautbarung des Kultusministeriums dar.

2007

ISSN: 0944-8691

Herausgeber:

Thüringer Institut für Lehrerfortbildung, Lehrplanentwicklung
und Medien, ThILLM Bad Berka

Heinrich-Heine-Allee 2-4

PF 52

99438 Bad Berka

Telefon: 03 64 58/56-0

Telefax: 03 64 58/56-300

E-Mail: institut@thillm.thueringen.de

Internet: www.thillm.de

Redaktion: Jörg Triebel, Thillm

Autoren:

Beck, Martina

Gymnasium "Oskar Gründler" Gebesee

Beck, Winfried

Lessingschule Erfurt

Dahlke, Elke

Gymnasium "Oskar Gründler" Gebesee

Haußen, Catharina

Regelschule „Steigerblick“ Erfurt

Hepp, Ralph

Kooperative Gesamtschule Erfurt

Hues, Klaus

Kooperative Gesamtschule Erfurt

Kritzmöller, Gitta

Kooperative Gesamtschule Erfurt

Kurze, Thomas

Marie-Curie-Gymnasium Bad Berka

Paasch, Jürgen

Regelschule „Friedrich Ebert“ Erfurt

Pirk, Uta Integrierte

Gesamtschule Erfurt

Rothämel, Siegbert

Kooperative Gesamtschule Erfurt

Rudolph, Hans-Dieter

Kooperative Gesamtschule Erfurt

Schoele, Matthias

Marie-Curie-Gymnasium Bad Berka

Stadler, Wolfgang

Gymnasium "Philipp Melanchthon" Schmalkalden

Quednau, Klaus

Integrierte Gesamtschule Erfurt

Für die dargestellten Sachverhalte zeichnen die Autorinnen und Autoren verantwortlich, bitte richten Sie an diese Hinweise, die zur Weiterentwicklung der Materialien führen. Ebenso sind die Mitwirkung in der Arbeitsgruppe „Naturwissenschaftliches Praktikum“ und die Ausarbeitung von weiteren Experimentieranleitungen für interessierte Lehrerinnen und Lehrer möglich. Bitte wenden sie sich in diesem Fall an den Herausgeber.

Fotos: Ralph Hepp, Jörg Triebel Erfurt, Bad Berka

Umschlaggestaltung: timelyprint Bad Berka

Druck: SATZ + DRUCK Centrum, Saalfeld

Dem Land Thüringen, vertreten durch das ThILLM, sind alle Rechte der Veröffentlichung, Verbreitung, Übersetzung und auch die Einspeicherung und Ausgabe in Datenbanken vorbehalten. Die Herstellung von Kopien in Auszügen zur Verwendung an Thüringer Bildungseinrichtungen, insbesondere für Unterrichtszwecke, ist gestattet.

Die Publikation wird gegen eine Schutzgebühr von 6 € abgegeben.



SINUS - TRANSFER Programm Thüringen

Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts



**Naturwissenschaftliches Praktikum
in Klassenstufe 10**

Inhalt	Seite
1. Experimentelle Praktika im naturwissenschaftlichen Unterricht	5
2. Konzeption für ein naturwissenschaftliches Praktikum	8
3. Dokumentation zu den Unterrichtsmaterialien für das Praktikum	14
4. Anleitungen für die Praktikumsversuche	
4.1.1. Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme - Musteranleitung	16
4.1.2. Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme – Lehrerhinweise	19
4.2. Astronomisches Fernrohr	25
4.3. Bau und Funktionsweise des Auges	28
4.4. Bildentstehung und Brennweite bei Sammellinsen	34
4.5.1. Brechzahl und Totalreflexion I	37
4.5.2. Brechzahl und Totalreflexion II	38
4.6.1. Black Box I	39
4.6.2. Black Box II	42
4.7. Brennstoffzelle	44
4.8. Dichte von Stoffen	46
4.9.1. Freier Fall und Fallbeschleunigung I	51
4.9.2. Freier Fall und Fallbeschleunigung II	54
4.10.1. Hook´sches Gesetz I	56
4.10.2. Hook´sches Gesetz II	59
4.11. Resonanz gekoppelter Pendel	61
4.12. Bestimmung der Wellenlänge von Licht	63
5. Hilfen für die organisatorische Durchführung des Praktikums	
5.1. Informationen zum naturwissenschaftlichen Praktikum für Schüler und Eltern	65
5.2. Vorschlag für Einwahllisten	67
5.3. Material- und Gerätelisten (Auswahl)	68
6. Fragen für den Kurztest (Auswahl)	71
7. Hinweise zur Fehlerrechnung	74

Auf der Internetseite von SINUS - Thüringen, unter der Adresse www.sinus-th.de, stehen alle veröffentlichten Dokumente in digitaler Form im PDF-Format zum Download und zur Anpassung an Ihre schulischen Gegebenheiten zur Verfügung.

Vorwort

Mit der Reihe „Materialien“ möchte das Thüringer Institut für Lehrerfortbildung, Lehrplanentwicklung und Medien Arbeitsergebnisse veröffentlichen und Anregungen für die Gestaltung von Unterricht geben.

Die vorliegende Broschüre wurde mit dem Ziel entwickelt, sofort handhabbare Materialien für jede Lehrerin und jeden Lehrer in den naturwissenschaftlichen Fächern anzubieten.

Die Materialien entstanden in enger Lehrerkooperation innerhalb des BLK-Programms SINUS-Transfer in Thüringen.

Die Broschüre enthält eine erste Sammlung von im Unterricht erprobten Anleitungen für naturwissenschaftliche Experimente, ergänzt durch Materialien, die die Vorbereitung und Durchführung eines naturwissenschaftlichen Praktikums an der Schule unterstützen.

Wir hoffen, dass viele Lehrerinnen und Lehrer diese Anregungen nutzen, um ihren eigenen Unterricht weiterzuentwickeln und wünschen beim Einsatz des Materials viel Erfolg.

Dr. Bernd Uwe Althaus
Direktor ThILLM

Jörg Triebel
Landeskoordinator SINUS-Thüringen

Einleitung

Angeregt durch die Ergebnisse der TIMS-Studie erarbeitete 1997 eine Expertengruppe ein Gutachten über Möglichkeiten der Verbesserung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland. Im Ergebnis dieser Expertise startete 1998 das erste BLK-Programm „Steigerung der Effektivität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ – kurz SINUS genannt - mit einer Laufzeit von fünf Jahren. Damals nahmen in 15 Bundesländern 180 Schulen teil, von denen je sechs ein lokales Netzwerk (Schulset) bildeten. Von Beginn an waren die beteiligten Lehrerinnen und Lehrer bereit, über Schulgrenzen hinweg zusammenzuarbeiten, Materialien für einen veränderten Unterricht zu entwickeln und via Internet auszutauschen bzw. durch landesspezifische Publikationen zu veröffentlichen.

Nach diesen Erfolg versprechenden Anfängen begann im Jahre 2003 das SINUS-Transfer-Programm als zweistufige Fortsetzung. Waren es in Thüringen im Zeitraum 1998-2003 zunächst nur 10 beteiligte Schulen, so sind es jetzt in unserem Bundesland weit über 100 Schulen, im Bereich Erfurt, Weimar, Jena allein 32 Schulen, in denen Kolleginnen und Kollegen an der Umsetzung dieses Programms mitwirken. Insbesondere in den letzten beiden Jahren haben sich im genannten Bereich viele überregionale Kooperationen zwischen den am Programm beteiligten Schulen ergeben. In den einzelnen Arbeitsgruppen arbeiten Kolleginnen und Kollegen unabhängig von der Schulform zusammen, nur getragen von der Idee und dem Wunsch, auf der Basis des Bewährten etwas Neues, Wertvolles für ihr Fach oder für den fächerübergreifenden Unterricht zu schaffen und zu erproben.

Mit dem Ziel, gemeinsam an der Erarbeitung und Erprobung von Experimenten und der Entwicklung einer Konzeption für ein naturwissenschaftliches Praktikum zu arbeiten, bildete sich 2005 im Set Erfurt, Weimar, Jena eine Arbeitsgruppe „Naturwissenschaftliches Praktikum“.

Naturwissenschaftliche Praktika gehören heute in der Ausbildung von Physikern, Chemikern, Biologen und Technikern zur Selbstverständlichkeit und dienen vornehmlich dazu, erworbenes Wissen und Können in größerer Komplexität anzuwenden, zu festigen, zu vertiefen und zu erweitern. Zunächst nahmen sich die Arbeitsgruppenmitglieder vor, für die Klassenstufe 10 des Gymnasiums naturwissenschaftliche Experimente zu entwickeln, die dem Anspruch an fächer- und schuljahresübergreifende Inhalte gerecht werden.

Auch wenn dies noch nicht durchgängig erreicht wurde und die ursprüngliche Idee, ein fächerübergreifendes Praktikum für die Fächer Physik, Chemie und Biologie zu entwickeln, noch ein Wunsch für die zukünftige Arbeit bleibt, so bewiesen die vorliegenden Anleitungen und Materialien doch im ersten Durchlauf im Schuljahr 2005/ 2006 an verschiedenen Thüringer Gymnasien ihre Praxistauglichkeit. Die Varianten zu einzelnen Experimenten belegen, wie tragfähig das Konzept ist und wie gut sich die Anleitungen eignen, konkret auf die Bedingungen an den jeweiligen Schulen zugeschnitten zu werden.

Den Forderungen der Bildungsstandards wird mit einem solchermaßen angelegten Praktikum in mehrfacher Hinsicht entsprochen: Für die eigenständige Vorbereitung und die Durchführung in Partnerarbeit ist nicht nur ein umfassendes Verständnis der fachlichen Zusammenhänge notwendig, in gleichem Maße sind wichtige naturwissenschaftliche Arbeitsweisen – z. B. sorgfältiges messen, protokollieren, auswerten, interpretieren und werten der Ergebnisse – erforderlich. Ein solcher Praktikumsversuch gelingt nur, wenn sich die Schülergruppe gemeinsam gut vorbereitet und die entsprechenden Aufgaben in Teamarbeit zielgerichtet und effektiv bewältigt. Damit werden nicht zuletzt wertvolle Beiträge zur Entwicklung und Festigung von Sozial- und Selbstkompetenzen der Schülerinnen und Schüler erbracht.

Wir hoffen, dass viele Lehrerinnen und Lehrer diese Anregungen nutzen, um ihren eigenen Unterricht weiterzuentwickeln und würden uns wünschen, weitere Interessenten für die Mitwirkung in der Arbeitsgruppe zu finden.

Für die Durchführung von Praktika unter hohem Bildungsanspruch kann es hilfreich sein, sich der zum Teil guten Erfahrungen bewusst zu werden, die in vielen Jahren des naturwissenschaftlichen Unterrichts gesammelt wurden. In allen allgemeinbildenden Schulen der DDR hatten experimentelle Praktika ihren festen Platz. Ziel dieser in der 9 und 10. Klassenstufe etwa zum halben Jahr und auch im Physikunterricht durchgeführten Praktika war es, den Schülern und Schülerinnen Gelegenheit zu geben, ihr erworbenes Wissen und Können in größerer Komplexität anzuwenden und damit zu festigen, zu vertiefen und zu erweitern. Bereits vor den Praktika übten die Lehrerinnen – von den Lehrplänen aller Klassenstufen gefordert – Schülerexperimenten systematisch das Ablesen von Messwerten, das Aufbauen einfacher Experimentieranordnungen und das Erfassen und Auswerten von Messergebnissen in Messprotokollen und Diagrammen. Auf dieser Basis wurden im Praktikum dann umfangreichere, komplexere und selbstständigere Aufgaben abgefordert.

Wie war das Praktikum organisiert?

Um einen kurzen Einblick zu gewinnen, wird im Folgenden am Beispiel des Physikunterrichts erläutert, wie das Praktikum organisiert war. In der 9 und 10. Klassenstufe wurden im Regelfall jeweils 10 Unterrichtsstunden¹ für das Praktikum eingeplant. Neben einer Einführungsausschusstunde standen damit vier Doppelstunden zur Verfügung, damit die Schülerinnen und Schüler in Partnerarbeit insgesamt 4 Experimente im hängigen Jahr lernen. Hatte ein Protokoll anzufertigen, so half die Praktikumsprotokolle / V bzw. / Z² schriftlich vorzubereiten und das jeweilige Experiment durchzuführen und auszuwerten. Dem Lehrer oblag die Auswahl der vier Praktikumsexperimente aus einer Vorgabe von zwölf, er konnte dies entsprechend dem Leistungsstand der Klasse, den geräte-technischen Voraussetzungen und der persönlichen Neigung vornehmen. Für leistungsstärkere Schülergruppen gab es die Möglichkeit, Experimente mit höherem Schwierigkeitsgrad durchzuführen. Das Praktikum war bei acht bis zehn Schülergruppen pro betrauten Lehrer nach einem Durchlaufplan organisiert, damit die Schülerinnen und Schüler zusammen mit den Praktikumsprotokollanten Vor- und Nacharbeiten hatten.

Beurteilung

Die Note ergab sich zu einem Teil aus den schriftlichen Vorarbeiten, aus dem Protokoll – es wurde aber aus Zeitgründen oft ein Protokoll pro Praktikumsgruppe kontrolliert – und dem während des Experimentes geführten Gespräch am Arbeitsplatz der Gruppe. In diesem Gespräch ging es um das Erfassen der Aufgabenstellung, um Klarheit über die Vorgehensweise und das zu erwartende Ergebnis.

Organisatorische Hilfen

Während der Doppelstundezeit hatte, mit allen Praktikumsgruppen, das Gespräch zu führen, war eine gute technische Organisation notwendig. In vielen Schulen wurden dafür die ausgewählten Praktikumsexperimente von den Kollegen gemeinsam vorbereitet und ausprobiert, um mögliche Fehlerquellen zu erkennen. Die benötigten Geräte, mit Ausnahme von Mess- und Messgeräten, wurden oft über Jahre hinweg gesammelt, damit in jedem Jahr reibungslos und nicht nur in allen Klassen des jeweiligen Jahrganges das Praktikum durchgeführt werden konnte. Eine wichtige Hilfe waren für die Lehrer auch die „Erdbecker“ Schüler, die sich freiwillig meldeten, um an Nachmittagen zusammen mit den Lehrern die Experimente auszubereiten, defekte Geräte zu reparieren und Versuchsaufbauten für den Unterricht vorzubereiten. Sie wurden zwar nicht von Praktikumsfreiheit, waren aber gerne bereit, bei der Vorbereitung auf die Experimente und bei auftretenden Fragen ihren Mitschülern zu helfen.

Schülerinnen und Schüler, die

¹ Dabei hatten wir im Physikunterricht noch jeweils 3 Vorstunden zur Verfügung des Praktikums, die also ebenfalls waren.

² Interessierte Lehrerinnen und Lehrer können sich an eine Schule in den neuen Bundesländern wenden. Die Praktikumsstoffe werden klassenstufenweise bestellt und sind sicher noch in vielen Schulen vorhanden.

Wie lichte wenvogsdur?

Ward vir dese Zien hier schraien ud an de Egebnisse der HSASude drien, wird us wieder einmal ndr bewusst, wie sich der Physikunterricht in den neuen Bundesländern in den letzten Jahren, „weiterentwickelt“ hat.

Obwohl das Fachkulturfür Lehrer und Schüler gleichermaßen eine anstrengende und aufwändige Prozedur war und durch viele Vorhaben erheblicher Druck ausgeht wird, werden die Erfolge nicht von der Hand zu weisen intensive Festigung des Grundwissens der jeweiligen Klassenstufe Vorbereitung auf die obligatorische schriftliche Prüfung im Fach Ausprägung von Ausdauer, Zielstrebigkeit, Ehrlichkeit, Selbstständigkeit, aber auch Freude am Experimentieren, Erfolgsergebnisse und eine Möglichkeit zur Vertiefung der Fachkenntnisse. Und diese Erfolge erzielen nicht nur einzelne Schülerinnen und Schüler einer Schule, sondern Tausende des jeweiligen Jahrganges in der DDR. Schaut man sich die Überschriften der einzelnen Themen an, aus denen der Lehrer jeweils einen Versuchskomplex auswählt, wird deutlich, wie sehr der Physikunterricht nach der Wende qualitativ revidiert worden ist.

Themen der Physik in Klasse 9 bzw 10

9 Klasse

1. Komplex

- 1.1 Bestätigung der Gesetze der geradlinig gleichförmigen Bewegung
- 1.2 Bestätigung des Newtonsches Grundgesetzes
- 1.3 Untersuchung der Abhängigkeit der Bahnlänge von der Masse des sich bewegenden Körpers und von der Bahngeschwindigkeit

2. Komplex

- 2.1 Zerlegung einer Kraft in zwei Komponenten
- 2.2 Untersuchung der Abhängigkeit des elektrischen Widerstands eines Metalls und eines Halbleiters von der Temperatur
- 2.3 Bestimmung der Art eines elektrischen Bauelementes (Isolator, Widerstand, Kondensator oder Halbleiterdiode)

3. Komplex

- 3.1 Nachweis der Selbstinduktion in einem Gleichstromkreis durch Spannungsausgleich beim Zerschneiden des Gleichstroms
- 3.2 Spannungsfall einer Spannungsquelle bei Belastung
- 3.3 Aufbau von Schaltungen zur Erweiterung des Messbereichs von Spannung- und Strommessgeräten

4. Komplex

- 4.1 Aufbau einer Vorrichtung zur elektrischen Messung von Temperaturen
- 4.2 Untersuchung der Abhängigkeit der Stromaufnahme eines Elektronenröhre von seiner Belastung
- 4.3 Aufbau einer Anlage zur elektrischen Messung eines Widerstands

10 Klasse

1. Komplex

- 1.1 Newtonsches Grundgesetz
- 1.2 Die geradlinig gleichförmige Bewegung
- 1.3 Die gleichförmige Bewegung

2. Komplex

- 2.1 Die Spule im Wechselstromkreis
- 2.2 Der Kondensator im Wechselstromkreis
- 2.3 Der Widerstand im Wechselstromkreis

3 Komplex

- 31 Fachpendel
- 32 Resonanz gekoppelter Pendel
- 33 Erzeugung elektrischer Strömungen

4 Komplex

- 41 Verstärker in Gleichstromkreis
- 42 I-U-Diagramm von Bauelementen
- 43 Windmühlen

(vgl. /1/ und /4/)

Neuansätze nach der Wite

Mit der Wite, die man Lehrpläne und vor allem die Realisierung des Sachverständigen in den naturwissenschaftlichen Fächern, in Fachphysik von der auf zwei Veranstaltungen, werden auch die Praktika abgeschafft. Es gilt zwar in einigen Bundesländern, z.B. für die Gymnasien in Sachsen und Thüringen, Empfehlungen ein Praktikum durchzuführen, verbindlich ist es jedoch nicht /5/, /6/ und /7/. Als das BKK-Programm „Seigerung der Effizienz des naturwissenschaftlichen Unterrichts“ 1988 gestartet wurde (vgl. /8/), ermutigten sich Lehrinnen und Lehrer aus Eisenach und Bietungen an die Praktika zu denken und suchten nach Wegen, trotz des datisch reduzierten Unterrichtsplans in Fachphysik die Experimentpraktika durchzuführen (vgl. /9/ und /10/).

Mit der Arbeitsgruppe „Naturwissenschaftliches Praktikum“ ist es gelungen, diese ersten Initiativen aufzugreifen und weiterzuführen. Statt man sich die meisten vorliegenden Materialien an, so zeigen sich nicht nur von der Kreativität und fähigen Kompetenz der Lehrerinnen und Lehrer, sie sind auch ein hervorragendes Beispiel für die durch das SINS-TERRIS-Programm initiierte Zusammenarbeit von Lehrerinnen und Lehrern über ihre eigene Schule hinaus, ja sogar über Schulatzen hinweg.

Praktika können eine wichtige Form der experimentellen Leistungskontrolle sein. Daher werden nach dem vorangegangenen geschichtlichen Rückblick – Möglichkeiten vorgestellt, unter hütiger Sichtweise solche Experimentpraktika durchzuführen. Es handelt sich dabei um Vorschläge von Lehrerinnen und Lehrern, die an dem BKK-Versuch „Seigerung der Effizienz des naturwissenschaftlichen Unterrichts – SINS-TERRIS“ beteiligt sind. Ich lassen wir die Lehrerinnen und Lehrer anheben selbst zu „Wite“ kommen, im folgenden während derzeit vorliegenden und geplanten Praktikumsversuche vorgestellt.

Literatur:

- /1/ Fischer, H., Silberlich, R., Pader, H. Physik Praktikum Klasse 9 Verlag Volk und Wissen Berlin 1988
- /2/ Rabe, B. Physik Praktikum Klasse 10 Verlag Volk und Wissen Berlin 1988
- /3/ Kowalik, U. Auch im Praktikum zur Entwicklung jedes Schülers beitragen! In Physik in der Schule, 26 1988, H 78, S 30ff.
- /4/ Ministerium für Volksbildung (Hrsg.): Lehrplan Physik Klasse 9 und 10 Verlag Volk und Wissen Berlin 1985
- /5/ Thüringer Kultusministerium (Hrsg.): Lehrplan für das Gymnasium Physik 1999
- /6/ Sächsisches Staatsministerium für Kultus (Hrsg.): Lehrplan Physik Gymnasium 1992
- /7/ Biedert, U., Shilling, D. Praktikumsexperimente mit erhöhten Anforderungen an die Selbstständigkeit der Schüler in Sekundarstufe I und II. In Physik in der Schule, 33 1995, H 3, S 10ff.
- /8/ Pöndel, M. Dit, R. Ansatzpunkte für einen besseren Unterricht. In dem BKK-Versuch „Seigerung der Effizienz des naturwissenschaftlichen Unterrichts“ Naturwissenschaften im Unterricht Physik 6 (1999), H 54, S 32
- /9/ Rabe, B. Experimentelles Physikpraktikum – Erfahrungen aus der 4. Realschule in Eisenach. In Naturwissenschaften im Unterricht Physik 13 (2000), H 7/ 72, S 30ff.
- /10/ Meier, A. K. Naturwissenschaftliches experimentelles Praktikum – Erfahrungen aus der Satliden Realschule in Bietungen. In Naturwissenschaften im Unterricht Physik 13 (2000), H 7/ 72, S 38ff.

In

Konzeption für ein naturwissenschaftliches Praktikum für die (Gymnasial-) Klassen 9 und 10 - ein SINUS-Transfer Projekt an der KGS Erfurt

*Atung! Hlta lndt es sichurere Dksionsgu
dr Ddfilug ds Pktikus an dr Kperten Gatschle Efat im Shjdr 2005
2006 Se ist gt gigt, de Hlde ul dn organistaisden Af an em lsd zu d
kuntieren Vndlrreinen ul Lhrem dr Abttsgrpe ,Pktikultvrtz, T lra-
vndvndent Vfdhensweisen ptkiziet.*

Ziele des naturwissenschaftlichen Praktikums

Die überwiegend guten Erfahrungen des im Schuljahr 2005/ 2006 durchgeführten Praktikums in Klasse 10 bieten die Voraussetzung für eine erweiterte Planung für die Gymnasialklassen 9 und 10 unter Einbeziehung der naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie, Physik, Astronomie, Geographie, Mathematik und Informatik.

Mit der Planung und Durchführung eines naturwissenschaftlichen Praktikums in Klassenstufe 9 bzw. Klassenstufe 10 sollen mehrere Ziele anvisiert werden:

- Festigung und Anwendung grundlegender naturwissenschaftlicher Kenntnisse aus Klassenstufe 7 – 10,
- Verknüpfen von fachlichen Inhalten verschiedener Fachdisziplinen / Fächer unter jeweils einem gemeinsamen Gesichtspunkt,
- Weiterentwickeln experimenteller Fähigkeiten und Fertigkeiten,
- Nutzung von einfachen informationstechnischen und statistischen Auswerteverfahren durch die Verknüpfung von Mathematik, Informatik und Experiment,
- Schaffung eines weiteren Bewertungsrahmens für die Note im naturwissenschaftlichen Bereich des Gymnasiums,
- Erarbeitung eines konkreten Unterrichtsmaterials in Teamarbeit im Rahmen des SINUS-TRANSFER Programmes.

Grundsätzliche Überlegungen

- Das Praktikum ist für alle Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Klassenstufe 9 und 10, die das naturwissenschaftliche Profil belegen, verbindlich. Darüber hinaus können Schülerinnen und Schüler des sprachlichen Profils entsprechend den konkreten Gegebenheiten und den vorhandenen Möglichkeiten das Praktikum freiwillig absolvieren. Über eine Möglichkeit, das Praktikum in späteren Schuljahren auch für Real- und Hauptschüler anzubieten, sollte prinzipiell nachgedacht werden.
- Der Zeitraum für das Praktikum in Klassenstufe 9 liegt nach dem Notenschluss zum Halbjahr (letzte zwei Wochen vor den Halbjahreszeugnissen), um eine Doppelung mit Klassenarbeiten etc. zu vermeiden. Der Zeitraum für das Praktikum in Klassenstufe 10 liegt nach der schriftlichen Besonderen Leistungsfeststellung (BLF), aber noch vor Beginn der schriftlichen Prüfungen für den Realschulabschluss und der evtl. mündlichen BLF. Es wird daher im Halbjahr der Klassenstufe 9 bzw. 10 keine Note im naturwissenschaftlichen Bereich erteilt.
- Innerhalb von 2 Unterrichtswochen wird an 6 Nachmittagen (2 x 3) für je 2 Zeitstunden die Möglichkeit gegeben, in den Fachräumen Biologie, Chemie und Physik die von den Schülerinnen und Schülern ausgewählten Praktikumsexperimente durchzuführen. Die Betreuung erfolgt in der Regel durch je einen Fachlehrer. Ein Durchlaufplan, der weitestgehend und langfristige auf der Basis der Wünsche der Praktikumsgruppen entsteht, sichert den organisatorisch reibungslosen Ablauf.
- Für Schüler, die krankheitsbedingt ein oder mehrere Praktikumsexperimente nicht zu den regulären Zeiten absolvieren können, besteht prinzipiell die Möglichkeit, diese zu einem späteren Termin nachzuholen. Hierfür ist neben einer Bestätigung der Eltern über den krankheitsbedingten

Ausfall des betreffenden Schülers eine schriftliche Begründung einzureichen, warum er die anderen möglichen Termine nicht zum Nachholen genutzt hat.

- Der reguläre Unterricht im Fach für die am Praktikum teilnehmenden Klassen findet in diesem Zeitraum nicht statt. Die Schüler haben aber die Möglichkeit, eine fest geplante Stunde pro Woche und pro Fach für Konsultationen zum Praktikum zu nutzen (für Informationen zu den einzelnen Experimenten, zur Anlage der Protokolle und zur einfach gehaltenen Fehlerrechnung). Die übrige Zeit steht zur Verfügung, um mit ihren Partnern die Experimente vorzubereiten bzw. die Auswertung vorzunehmen.
- Über die Themen und Aufgabenstellungen der Praktikumsexperimente werden die Schülerinnen und Schüler in Klassenstufe 9 vor den Weihnachtsferien, in Klassenstufe 10 vor den Osterferien durch Aushang in den Fachräumen informiert. Die Schülerinnen und Schüler haben damit die Möglichkeit, sich langfristig über die Inhalte der einzelnen Experimente zu informieren. Die Versuchsanleitungen der einzelnen Experimente können sie auch von der Homepage der Schule herunterladen. Sollten die Schüler keinen Computerzugang haben, können sie die Anleitungen für die von ihnen ausgewählten Experimente bei ihrem Fachlehrer als Kopie erbitten.
- Innerhalb des regulären Unterrichts erhalten alle Schüler in einer Praktikumseinweisung nach den Weihnachtsferien (Klassenstufe 9) bzw. nach den Osterferien (Klassenstufe 10) Informationen zu den einzelnen Experimenten, zur Anlage der Protokolle und zur einfach gehaltenen Fehlerrechnung. Hier ist eine Absprache insbesondere auch hinsichtlich einheitlicher Protokollanforderungen unter den Fachlehrern sinnvoll und notwendig.
- Alle Schüler führen in der Regel in Zweiergruppen mindestens drei Praktikumsexperimente durch, können aber auf freiwilliger Basis und bei gegebenen Möglichkeiten auch weitere Versuche realisieren. Dabei müssen mindestens zwei Experimente aus verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächern sein.
- Für jedes Praktikumsexperiment sind schriftliche Vorbetrachtungen anzufertigen, die vor der Durchführung abzugeben sind. Die Protokolle müssen eine Beschreibung des Versuchsaufbaus (hier sind auch Fotografien zulässig); der Versuchsdurchführung, die Messtabellen und Ergebnisse, sowie die Auswertung mit einfacher Fehlerrechnung enthalten. Zu Beginn des jeweiligen Praktikumsexperimentes bearbeiten die Schülerinnen und Schüler gleichzeitig in maximal 15 min einen schriftlichen Test, dessen Fragen auf der Basis der Vorbetrachtungen erstellt werden und die auch im Verlaufe des gesamten Praktikums variiert werden können. Hiermit sollen zum einen die individuellen Vorbereitungen unterstützt und kontrolliert werden, andererseits bietet dieser Test eine Möglichkeit der Bewertung.
- Die Bewertung der Praktikumsexperimente erfolgt zu 30 % für die Vorbetrachtungen (z. B. durch Abfrage in einem Kurztest), zu 40 % für die Durchführung und zu 30 % für die Auswertung. Diese bilden in der Gesamtheit die Grundlage für die Note im Fach Naturwissenschaften. Aus der Erfahrung im Schuljahr 2005/ 2006 haben sich zwei Noten bewährt, eine Note für die Vorbetrachtungen incl. Test, eine Note für Durchführung und Auswertung. Die Bewertung der Durchführung und Auswertung erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage der schriftlichen Aufzeichnungen. Dies bedeutet insbesondere, dass für ein nicht abgegebenes Protokoll die Note 6 vergeben wird! Daher müssen von jeder Schülerin und jedem Schüler auch zwei Praktikumsexperimente verbindlich durchgeführt werden.
- Sollte durch Krankheit oder entschuldigtes Fehlen von einem Jugendlichen an einem der Praktikumstage kein Experiment durchgeführt werden können, muss der betreffende Schüler bzw. die betreffende Schülerin möglichst versuchen, dies an einem der anderen Tage nachzuholen, gegebenenfalls auch mit einem anderen Versuchsthema. Bei unentschuldigtem Fehlen kann der Fachlehrer entscheiden, ob dem Schüler bzw. der Schülerin die Möglichkeit gegeben wird, den Praktikumsversuch im Rahmen der Möglichkeiten nachzuholen, gegebenenfalls auch mit einem anderen Versuchsthema. Kann dies nicht gewährleistet werden bzw. nimmt der betreffende Jugendliche die

gebotene Möglichkeit nicht wahr, wird zweimal die Note 6 erteilt (für die fehlende Teilnahme am Kurztest und für die fehlende Durchführung und Auswertung).

- Die Zeugnisnote im Bereich Naturwissenschaften wird durch Abstimmung zwischen den Fachlehrern gebildet und kann noch weitere Elemente enthalten (z. B. Ökologieexkursion, Exkursion und Messungen von Geschwindigkeiten auf dem Erfurter Hauptbahnhof, Sternenbeobachtung in der Sternwarte Kirchheim, Laufbahnprotokolle zu den Gestirnen, ISS-Schüttelexperiment etc.).
- Um den fachübergreifenden Charakter des Praktikums zu wahren, werden einerseits in den Materialien und Fragen zur Vorbetrachtung bewusst Bezüge zwischen den Fächern Ma, Bio, Ch, Ph und Astronomie (auch Geographie und Technik) hergestellt. Andererseits kann prinzipiell durch das parallele, zeitgleiche Praktikum in den Fächern Biologie, Chemie und Physik ein wirkliches naturwissenschaftliches Praktikum angeboten werden, das viele Möglichkeiten der Gestaltung bietet. Einmal können die Schüler je ein Experiment in verschiedenen Fächern bewältigen, dann aber auch fachübergreifende Experimente unter einer gemeinsamen Aufgabenstellung (z. B. zum Thema Energie) mit Telexperimenten in Chemie, Biologie oder/ und Physik durchführen. Es ist aber auch denkbar, dass sie den Rahmen des Praktikums nutzen, um sich mit Ihrem Partner gezielt einer experimentell zu lösenden Aufgabe zuzuwenden und hier entsprechend von verschiedenen Fachlehrern unterstützt werden.
- Damit wäre auch prinzipiell die Möglichkeit gegeben, Schülerinnen und Schüler vom Praktikum zu befreien, wenn sie sich langfristig einer solchen experimentellen Aufgabe zuwenden. Bei erfolgreicher und kreativer Lösung können eine Auszeichnung in der Schule und eine Delegation zu „Schüler experimentieren“ bzw. „Jugend forscht“ erfolgen. In diesem Zusammenhang können auch die bestehenden Kooperationsbeziehungen zum Elektronikmuseum in Erfurt, zur Fachhochschule und zur TU Ilmenau genutzt werden, um ansprechende Aufgabenstellungen bzw. Betreuerkapazitäten zu erschließen.
- Die Erarbeitung der Aufgabenstellungen sowie die Bereitstellung der Materialien und der Handreichungen für den Lehrer erfolgt in Teamarbeit der Fachlehrer. Zurzeit sind für 10 Experimente die Materialien vorbereitet, allerdings sind diese noch zu sehr physiklastig. Es sollen für das Praktika vor allem solche Versuche ausgewählt und vorbereitet werden, die eine enge Verbindung zwischen mindestens zwei Fächern ermöglichen.
- Die Möglichkeiten, die experimentell gewonnenen Daten mit Hilfe des Computers auszuwerten, sollten gezielt überprüft und ermöglicht werden. Damit wird nicht nur eine konkrete Anwendung der Software-Programme Word und Excel erreicht, durch die Berechnung von Mittelwerten und der Standardabweichung können einfache statistische Methoden in der Praxis demonstriert und geübt werden. Hier ist auch die Verwendung des normalen Taschenrechners möglich.
- Bereits bei der Planung aller weiteren Experimente sind die sichere und möglichst eindeutige Durchführbarkeit und die experimentellen Möglichkeiten an der Schule zu berücksichtigen. Es ist vorgesehen, die notwendigen Geräte und Materialien auf Paletten zu deponieren, um sie auf dem Boden zu lagern. Damit wäre ein schneller, möglichst mit geringem zusätzlichem Aufwand verbundener Zugriff in jedem Schuljahr gewährleistet. Die Geräteausstattung des Fachbereiches Physik an der KGS Erfurt erlaubt auch die Verwendung von Demonstrationsgeräten.
- In diesem Zusammenhang sollte unbedingt eine enge Zusammenarbeit mit dem Elektronikmuseum in Erfurt, Schlachthofstraße, angestrebt werden, weil dort einerseits schon sehr gute Erfahrungen mit der Durchführung von Praktika bestehen, andererseits sehr gute experimentelle Voraussetzungen gegeben sind (Gerätebestand des Praktikums der ehemaligen PH Erfurt). Es wäre also durchaus denkbar, bestimmte Experimente in dieser Einrichtung durchzuführen (z. B. Halbwertszeit). Verantwortlich für die Organisation und inhaltliche Gestaltung der Praktika im Elektronikmuseum ist Herr Fiebich (rfiebich@tiscali.de), mit ihm sind konkrete Terminabsprachen zu treffen.

- Ebenso ist ein intensiver Erfahrungsaustausch mit den Schulen anzustreben, die selbst ein naturwissenschaftliches Praktikum durchgeführt haben. Hierfür wird regelmäßig ein Treffen aller Interessenten an der KGS Erfurt organisiert.
- In den Fachschaftssitzungen sollte diese Konzeption vorgestellt, diskutiert und Vorschläge zur Veränderung und Mitwirkung an der Erarbeitung von Praktikumsexperimenten aufgenommen werden. Über die gegebenenfalls überarbeitete Konzeption ist ein Beschluss aller naturwissenschaftlichen Fachschaften – insbesondere die Verfahrensweisen der Notengebung in Klassenstufe 9 und 10 im naturwissenschaftlichen Profil betreffend anzustreben. Im Anschluss sind die Schüler der Klassenstufen 9 und 10, die Klassenleiter und in den Elternabenden auch die Eltern über die beschlossene Konzeption zu informieren.

Vorbereitet und erprobt (einschließlich Musterprotokolle) sind derzeit folgende Experimente:		
Thema	fachliche Inhalte und mögliche fachübergreifende Verbindungen	für die Erarbeitung verantw. Fachlehrer
Schmelzwärme	<i>experimentelle Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme</i> <u>Anwendung:</u> Land- und Seewind, Schutz von Obstbäumen vor Nachtfrösten, Entstehung von Schnee, Hagel und Reif	Herr Hepp (KGS Erfurt)
Welle-Teilchen-Dualismus des Lichtes	<i>experimentelle Bestimmung der Wellenlänge von roten Licht</i> <u>Anwendung:</u> Energie des Lichtes, Extraktion des Farbstoffes Chlorophyll aus Pflanzenmaterial, Photosynthese	Herr Rudolph (KGS Erfurt)
Black-Box	<i>Untersuchung verschiedener Bauelemente ihrer Strom-Spannungs-Charakteristik</i> <u>Anwendung:</u> elektrische Spannung beim Zitteraal (Kondensator), Netzgleichrichter (Graetzschaltung – Diode), Temperaturfühler in der Regelungstechnik (Heißleiter)	Frau Kritzmöller, Herr Rothämel (KGS Erfurt), Herr Paasch (8. RS Erfurt)
Resonanz	<i>experimentelle Untersuchung der Resonanzfrequenz</i> <u>Anwendung:</u> Resonanzvorgänge in der Natur und Technik (Hören, Schwingen von Brücken und Fundamenten, Erdbeben, Stoßdämpferfest), Verkehrssicherheit	Herr Hepp (KGS Erfurt)
Totalreflexion	<i>Nachweis der Abhängigkeit der Totalreflexion vom Einfallswinkel, experimentelle Bestimmung des Grenzwinkels der Totalreflexion</i> <u>Anwendung:</u> Wärmehaushalt der Tiere (z. B. Eisbärenfell), Anwendung im Bauwesen (Fassadengestaltung), Lichtleiterkabel, Diamanten	Herr Hues (KGS Erfurt)
Freier Fall	<i>experimentelle Bestimmung der Fallbeschleunigung mit Hilfe eines Pendels und des freien Falls, Nachweis der Unabhängigkeit des freien Falls von der Masse</i> <u>Anwendung:</u> Gravitation, Wachstum der Pflanzen, Fallversuche von Galilei, Nachweis der Erddrehung (Foucault-Pendel)	Frau Beck, Frau Dahlke (Gymnasium Gebeesee), Herr Hepp (KGS Erfurt), Frau Haußen (RS 10)
Hook'sches Gesetz	<i>experimentelle Bestätigung des Hook'schen Gesetzes, Bestimmung der Federkonstanten von Materialien</i> <u>Anwendung:</u> Bau von Federkraftmessern, mathematische Bestimmung von Materialgrößen aus dem Anstieg linearer Funktionen, Wirkungen von Kräften zur elastischen und plastischen Verformung	Herr Kurze, Herr Schoele, (Gymnasium Bad Berka), Herr Hepp (KGS Erfurt)

Astronomisches Fernrohr	<i> Bau und Erprobung eines Fernrohrs, experimentelle Bestimmung der Vergrößerung und des Sehkreises</i> <u>Anwendung:</u> Erd-, Mond- und Sonnenbeobachtungen, Auszählen von Sonnenflecken	Herr Beck, (Lessingschule Erfurt)
Bildentstehung im Auge	<i> experimentelle Untersuchung des Sehvorgangs im Auge, Linsensätze und Abbildungsbedingungen</i> <u>Anwendung:</u> Auge, Kurz- und Weitsichtigkeit, Kamera	Herr Quednau, Frau Pirk (IGS Erfurt)
Brennstoffzelle	<i> experimentelle Untersuchung der Vorgänge bei der Hydrolyse von Wasser mit Hilfe einer PEM-Brennstoffzelle, Bestimmung der Vorkonzentrationen von Sauerstoff und Wasser, Oxidation und Messung der Ionenleitfähigkeit</i> <u>Anwendung:</u> Energiespeichersysteme, Wasserstofftechnologie, moderne Antriebe (Brennstoffzellenauto), chemische Prozesse in PME-Brennstoffzellen, Wirkung von Katalysatoren	Herr Stadler, (Gymnasium Schmalkalden)

Weitere mögliche Versuchsthemen (hier liegen z. T. bereits umfangreiche Vorarbeiten und Erprobungen vor, eine Übernahme oder Mitarbeit bzw. weitere Vorschläge sind aber wünschenswert)		
Dispersion des Lichtes	<i> Brechung und experimentelle Bestimmung des Lichtbrechungsindex an Flüssigkeiten, Nachweis der Dispersion in Flüssigkeiten und in einem wassergefüllten Glasgitter, Reflexions- und Reflexionsgitter</i> <u>Anwendung:</u> Regenbogen, Spektralanalyse, Fraunhofer'sche Linien, Hg-Spektrum und Na-D-Linie	Herr Rudolph (KGS Erfurt), N.N.
Farben in der Natur	<i> Nachweis und experimentelle Untersuchung der Substrat- und aktiven Farbstoffe</i> <u>Anwendung:</u> Körperfarben, Farben in der Natur, Farbphotographie, Farbfernsehen. Farbdias, Farblehre von Goethe und Newton, Newton'sche Ringe	N.N
Bestimmung der Solarkonstanten	<i> experimentelle Bestimmung der Solarkonstanten</i> <u>Anwendung:</u> Kernfusion, Sonnenbeobachtung, Wachstum der Pflanzen, Energiespeicher, Katalyse	Herr und Frau Schoele (KGS Erfurt, Gymnas. Bad Berka), N.N
Polarisation	<i> experimentelle Untersuchung der Polarisation von Licht an dünnen Schichten und Flüssigkeiten, Bestimmung des Brewster-Winkels</i> <u>Anwendung:</u> Diabetestest, Spannungspolarisation, Nachweis der Drehung der Polarisationsebene beim Kristallwachstum und in Flüssigkeiten, Polarisation in der Natur	N.N
Kreisbewegung	<i> experimentelle Untersuchung der Abhängigkeit der Zentrifugalkraft</i> <u>Anwendung:</u> Bedeutung für das Verhalten im Straßenverkehr (Kurvenfahrten), Bewegung der Planeten und Satelliten, Autorennen	N.N.
Reibung	<i> experimentelle Untersuchung der Abhängigkeit der Reibkraft von Mehl- und Sandpartikeln und Gitterkraft</i> <u>Anwendung:</u> Bedeutung der Reibung in der Natur und Technik, insbesondere aber auch im täglichen Leben (Schreiben, Kleidung, Putzen), Notwendigkeit im Verkehrswesen	N.N.

Newton'sches Grundgesetz	<i>experimenteller Nachweis des reziproken Grundgesetzes mit der Luftkissenbahn und dem Riffapparat</i> <u>Anwendung:</u> Verkehrswesen, Gravitation	N.N.
Isolation der DNS	<i>experimentelle Erktion von Güten und Glanz der rhyll</i>	N.N.
Halbwertszeit	<i>experimentelle Bestimmung der Aktivität von Zigarettenasche, Rauchen und Luftstabil</i> <u>Anwendung:</u> Halbwertszeit, C-14-Methode der Altersbestimmung, Radioaktivität in der Natur, Radon in Kellerräumen,	N.N.
Energieumwandlungsprozesse	<i>experimentelle Untersuchung von Energieumwandlungen in der Natur, bei chemischen Prozessen, bei physikalischen Experimenten, experimentelle Bestätigung der Gültigkeit für die kinetische Energie</i> <u>Anwendung:</u> Energieumwandlungsprozesse in Natur und Technik	Hepp (KGS Erfurt, Triebel (ThILLM), N. N.
Lärm	<i>experimentelle Untersuchung des Lärmpegels, Messung der Absorption von Schall durch Medien</i> <u>Anwendung:</u> Freizeit-, Industrie- und Verkehrslärm, Lärm und Gesundheitsschutz, Absorption von Lärm, Musikaufnahmen beim MDR (Besichtigung des Landesfunkhauses), Lärmschutzzonen, Vorgaben für Wohngebiete (Expertenbefragung)	N.N.

<i>Bezeichnung</i>	Arbeitsgruppe „Naturwissenschaftliches Praktikum“	
<i>Klassenstufe:</i>	9 und 10	
<i>Fach:</i>	Naturwissenschaften – fächerübergreifend (Physik, Biologie, Chemie, Astronomie)	
<i>Autoren:</i>	Hepp, Ralph; KGS Erfurt	Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme (Musterversuch)
	Beck, Winfried; Lessingschule Erfurt	Astronomisches Fernrohr
	Quednau, Klaus; IGS Erfurt Pirk, Uta; IGS Erfurt	Bau und Funktionsweise des Auges
	Stadler, Wolfgang; PMG Schmalkalden	Bildentstehung und Brennweite bei Sammellinsen
	Hues, Klaus; KGS Erfurt	Brechzahl und Totalreflexion I
	Rothämel, Siegbert; KGS Erfurt	Brechzahl und Totalreflexion II
	Kritzmöller, Gitta; KGS Erfurt Paasch, Jürgen; RS „F. Ebert“ Erfurt	Black Box I
	Rothämel, Siegbert; KGS Erfurt	Black Box II
	Stadler, Wolfgang; PMG Schmalkalden	Brennstoffzelle
	Paasch, Jürgen; RS „F. Ebert“ Erfurt	Dichte von Stoffen
	Beck, Martina; OGG Gebesee Dahlke, Elke; OGG Gebesee Haußen, Catharina; Regelschule 10 Erfurt	Freier Fall und Fallbeschleunigung I
	Hepp, Ralph; KGS Erfurt	Freier Fall und Fallbeschleunigung II
	Kurze, Thomas; MCG Bad Berka Schoele, Matthias; MCG Bad Berka	Hook´sches Gesetz I
	Hepp, Ralph; KGS Erfurt	Hook´sches Gesetz II
	Hepp, Ralph; KGS Erfurt	Resonanz gekoppelter Pendel
Rudolph, Hans-Dieter; KGS Erfurt	Bestimmung der Wellenlänge von Licht	

<i>Zielstellung:</i>	Durchführung eines fächerübergreifenden Praktikums unter Einbeziehung der Fächer Physik, Biologie, Chemie und Astronomie zur Bewertung der Schüler der Gymnasialklassen 9 und 10 im Fach Naturwissenschaften. Die Versuche können auch in etwas veränderter Form im Regelschulbereich eingesetzt werden.
<i>Organisationsform / Zeitbedarf:</i>	Partnerarbeit, ca. 90 min. inklusive Auswertung
<i>Bewertung der Schülerleistungen</i>	Zur Vorbereitung auf das Praktikum bearbeiten die Schüler die Vorbe-trachtungen in schriftlicher Form zu Hause. Diese werden zu Beginn des Prakti-kumsversuches beim Lehrer abgegeben. Ihre Kenntnisse werden anschließend durch einen Kurztest (3 Fragen, z. B. Herleitung der Gleichung für die Versuchs-variante II) überprüft. Sie erhalten damit die Erlaubnis, das Experiment durchzu-führen. Innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit (3 x 45 min) muss das Expe-riment komplett durchgeführt und ausgewertet werden. Für den Kurztest, die Durchführung und die Auswertung erhalten die Schüler jeweils Punkte, die zu einer Note zusammengefasst werden.
<i>Materialbedarf</i>	siehe Anleitungen
<i>Methodische Hinweise:</i>	siehe Lehrermaterial
<i>Schüler-materialien:</i>	Protokoll, Tafelwerk, Taschenrechner
<i>Literatur:</i>	<p>/1/ Wilke, H. J. (Hrsg.): Physikalische Schulexperimente, Band 1-3, Mechanik, Thermodynamik. Volk und Wissen Verlag GmbH, Berlin 1997. S. 278 ff.</p> <p>/2/ Autorenkollektiv: Physikalische Freihandexperimente, Bd. 1 und 2. Aulis Verlag Deubner 2004.</p> <p>/3/ Berge, O., Volkmer, M. (Hrsg.): Themenheft: Experimente als Lernerfolgs-kontrolle. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 13 (2002), H. 71/ 72.</p> <p>/4/ Volkmer, M., Willer, J.: Themenheft: Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 15 (2004), H. 80/81.</p> <p>In vielen Heften der Zeitschrift Naturwissenschaften im Unterricht des Friedrich Verlages in Seelze werden aktuelle Themen angesprochen und auch gut geeigne-te Experimente beschrieben. Beispielhaft seien hier erwähnt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berge, O. (Hrsg.): Themenheft: Photovoltaik. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 14 (2003), H. 77 • Kuhn, J.: Themenheft: Brennstoffzelle. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 14 (200), H. 79. • Wiesner, H.: Themenheft: Lebendige Physik. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 16 (2005), H. 85/86. • Berge, O. (Hrsg.): Themenheft: Windenergie In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 16 (2005), H. 88. • Girwidz, R. (Hrsg.): Themenheft: Sensoren. In: Naturwissenschaften im Un-terricht Physik, 17 (2006), H. 91.

1. Die Luft über dem Wasser erwärmt sich durch die Verdunstung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Seewind bezeichnet wird.

2. Die Luft über dem Land erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Landwind bezeichnet wird.

3. Die Luft über dem Wasser erwärmt sich durch die Verdunstung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Seewind bezeichnet wird.

4. Die Luft über dem Land erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Landwind bezeichnet wird.

5. Die Luft über dem Wasser erwärmt sich durch die Verdunstung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Seewind bezeichnet wird.

6. Die Luft über dem Land erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Landwind bezeichnet wird.

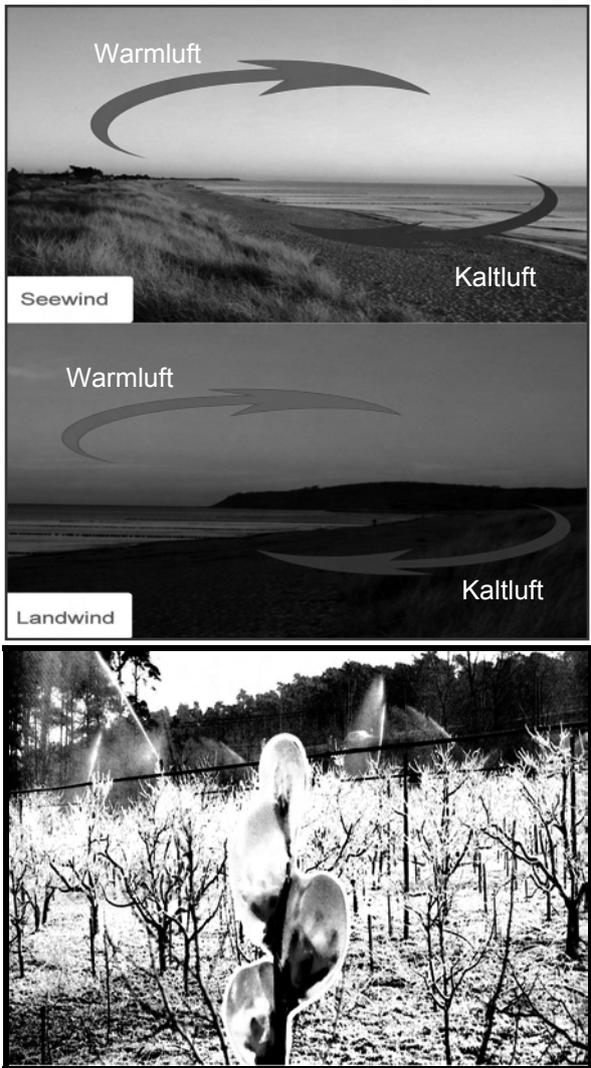
7. Die Luft über dem Wasser erwärmt sich durch die Verdunstung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Seewind bezeichnet wird.

8. Die Luft über dem Land erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Landwind bezeichnet wird.

9. Die Luft über dem Wasser erwärmt sich durch die Verdunstung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Seewind bezeichnet wird.

10. Die Luft über dem Land erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung und wird dadurch leichter. Sie steigt auf und wird durch die Abkühlung wieder schwerer. Dies führt zu einer Zirkulation, die als Landwind bezeichnet wird.

K
 M
 t
 d
 r
 m
 m
 d
 d
 t



$$C_K = \frac{w \cdot h \cdot (T_h - T_m)}{(T_m - T_k)} e_w \cdot m_k$$

$$c_{wE} = \frac{w \cdot h \cdot (T_h - T_m) - (m_E \cdot C_K) \cdot (T_m - T_E)}{m_E}$$

$$c_{wE} = \frac{w \cdot h \cdot (C_K \cdot T_h) \cdot T_m - c_w - m_E \cdot (T_m - T_E)}{m_E}$$

②

C_K	T_E	T_m
m_h	T_h	c_W
m_E	T_k	c_E

③

④

⑤

⑥

⑦

⑧

⑨

⑩

⑪

⑫

⑬

⑭

⑮

⑯

⑰

⑱

⑲

⑳

㉑

㉒

㉓

㉔

㉕

㉖

㉗

㉘

㉙

㉚

㉛

㉜

㉝

㉞

㉟

㊱

㊲

㊳

㊴

㊵

①

K

e

h

h

h

K

h

T_k

T_h

h

$h(T_m)$

s

h

T_h

h

h

h

T_m

h

h in b

h

o

h

(T_m)

C_k	M_E	m_E	M_h	m_h	T_E	T_h	T_m

Aufgaben:

1. Bestimmen Sie die Wärmekapazität C_K eines Kalorimeters.
2. Bestimmen Sie die Schmelzwärme von Eis mit zwei verschiedenen Methoden und diskutieren Sie die Messergebnisse.

Vorbetrachtungen:

1. Erläutern Sie anhand von Abb. 1 und mit Ihrem Wissen über die spezifische Wärmekapazität von Wasser bzw. Sand das Entstehen von Seewind (am Tage) und Landwind (in der Nacht) an der Küste.

Das Land-Seewind-System lässt sich durch den Zusammenhang von regionalen thermischen Druckunterschieden und entsprechenden Ausgleichswinden erklären. Es ist an allen Meeresküsten und größeren Seengebieten anzutreffen, die Windzirkulation bildet sich jedoch nur bei ungestörter Thermik aus.

Am Tag werden Land und Wasser von der Sonne gleichermaßen bestrahlt. Auf dem Wasser erwärmt die zugeführte Energie ein großes Volumen Flüssigkeit, denn durch den ständigen Austausch von Oberflächenwasser mit den tieferen Wasserschichten gelangt immer wieder kühleres Wasser an die Oberfläche. Auf dem Land kann sich dagegen nur eine dünne Schicht Sand aufheizen, tiefere Sandschichten werden von der Sonnenstrahlung nicht erreicht. Da die spezifische Wärmekapazität von Sand ($c_{\text{Sand}} \approx 2,1 \text{ kJ/ kg} \cdot \text{K}$) zudem wesentlich geringer als die von Wasser ist, führt die gleiche Bestrahlungsdauer und Energiemenge in der Gesamtheit zu einer deutlich höheren Temperatur des Sandes. Die über dem Sand befindlichen Luftmassen erwärmen sich folglich schneller, steigen nach oben und erzeugen am Boden ein Unterdruckgebiet. Über dem Wasser kann sich die Luft nicht so schnell erwärmen und steigt nicht oder wesentlich langsamer nach oben. Der Ausgleich der Luftdruckunterschiede in Bodennähe führt zu einer vom Meer zum Land gerichteten kühleren Luftströmung (Seewind) und in größerer Höhe zu einer vom Land zum Meer erfolgenden Bewegung der Luftmassen.

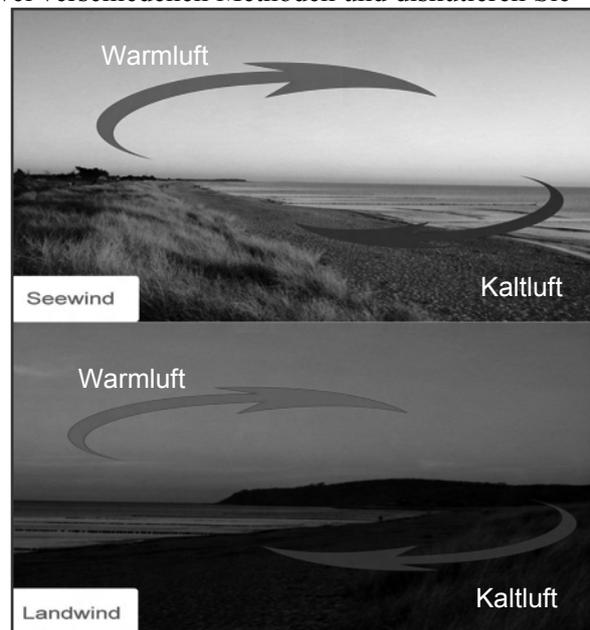
In der Nacht kühlen sich Wasser und Sand ab. Aufgrund der im Wasser gespeicherten wesentlich größeren Energiemengen (größeres erwärmtes Wasservolumen und größere spezifische Speicherfähigkeit) geschieht dies langsamer als auf dem Land. Die Luftschichten über dem Wasser werden durch die größeren gespeicherten und abgegebenen Energiemengen erwärmt und steigen nach oben. Auf dem Land kühlen sich die Luftschichten dagegen insgesamt schneller ab, sinken nach unten und strömen in Richtung Meer (Landwind), um die entstehenden Druckunterschiede auszugleichen (vgl. /2/).

2. Erläutern Sie das Entstehen von Schneekristallen, Hagelkörnern und von Reif. Gehen Sie dabei auf die Aggregatzustände und die notwendigen Temperaturen ein.

Vgl. hierzu Lehrbuchtext Regen, Schnee, Hagel, Reif in /3/ Autorenkollektiv: Physik für die Sekundarstufe I, Teilband 1.2. Cornelsen Verlag, Berlin, 1991. S. 116.

3. Im Sommer kann man im Hochgebirge an schattigen Stellen häufig noch „Schneeflecken“ beobachten, obwohl die Temperaturen weit über 0°C liegen. Erklären Sie.

Zum Schmelzen von Eis sind spezifische Energiemengen notwendig ($q_{\text{Eis}} = 334 \text{ kJ/ kg}$), die durch die Sonneneinstrahlung bereitgestellt werden müssen. Im Hochgebirge kann es aufgrund der insgesamt niedrigen Umgebungstemperatur und der in Abhängigkeit von der Tageszeit möglichen Schattenbildung in der Nähe von Berghängen zu einer für das Schmelzen zu geringen Bestrahlungsstärke pro Flächeneinheit kommen. Der Schnee schmilzt dann nur an der Oberfläche und



kann in der Nacht durch die darunter liegenden Eismassen wieder abkühlen und gefrieren (verharschen). Je steiler das Gebirge ist, umso wahrscheinlicher sind solche Schneeflecken. Ebenso bleiben Mulden gegenüber der Umgebung häufig mit Schnee gefüllt, da Schnee ein schlechter Wärmeleiter ist und die am Tag erfolgende Sonneneinstrahlung damit nicht in tiefere Schichten vordringen kann.



4. Wenn im Frühjahr Obstbäume und Weinreben austreiben, tritt häufig noch Frost auf – vor allem nachts und in den frühen Morgenstunden. Die Bauern schützen die jungen Triebe vor dem Erfrieren, indem sie die Bäume und Weinreben mit Wasser besprühen. Blätter und Blüten sind dann mit einer dünnen Eisschicht überzogen (Abb. 2). Erklären Sie.

Da Schnee ein schlechter Wärmeleiter ist, können viele Pflanzen unter einer Schneedecke häufig den Winter schadlos überstehen (z.B. Wintergetreide). Die Oberflächentemperatur unter einer geschlossenen Schneedecke kann bis zu 11 K höher als die Umgebungstemperatur sein. Ebenso schützt die gefrierende Wasserschicht die darunter liegenden Blüten wie ein Schutzfilm während der Nacht. Zusätzlich wird beim Gefrieren Erstarrungswärme ($q_{\text{Eis}} = 334 \text{ kJ/kg}$) frei, die an die Umgebung und damit auch nach innen an die Blüten abgegeben wird und diese „heizt“.

5. Leiten Sie anhand der Versuchsdurchführung die Gleichung zur Bestimmung der Wärmekapazität C_K eines Kalorimeters her.

$$Q_{\text{ab}} = Q_{\text{auf}}$$

$$c_w \cdot m_h \cdot (T_h - T_m) = c_w \cdot m_k \cdot (T_m - T_k) + C_K \cdot (T_m - T_k)$$

$$C_K = \frac{c_w \cdot m_h \cdot (T_h - T_m)}{(T_m - T_k)} - c_w \cdot m_k$$

6. Leiten Sie anhand der Versuchsdurchführung zu Variante I bzw. II und unter Berücksichtigung der Wärmekapazität des Kalorimeters die Gleichungen zur Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis her.

$$Q_{\text{ab}} = Q_{\text{auf}}$$

$$c_w \cdot m_h \cdot (T_h - T_m) = q_{\text{Eis}} \cdot m_{\text{Eis}} + c_w \cdot m_{\text{Eis}} \cdot (T_m - T_{\text{Eis}}) + C_K \cdot (T_m - T_{\text{Eis}})$$

$$q_{\text{Eis}} = \frac{(c_w \cdot m_h \cdot (T_h - T_m) - (c_w \cdot m_{\text{Eis}} + C_K) \cdot (T_m - T_{\text{Eis}}))}{m_{\text{Eis}}}$$

$$Q_{\text{ab}} = Q_{\text{auf}}$$

$$c_w \cdot m_h \cdot (T_h - T_m) + C_K \cdot (T_h - T_m) = q_{\text{Eis}} \cdot m_{\text{Eis}} + c_w \cdot m_{\text{Eis}} \cdot (T_m - T_{\text{Eis}})$$

$$q_{\text{Eis}} = \frac{(c_w \cdot m_h + C_K) \cdot (T_h - T_m) - c_w \cdot m_{\text{Eis}} \cdot (T_m - T_{\text{Eis}})}{m_{\text{Eis}}}$$

Typische Messergebnisse

Kalorimetergefäß: doppelwandig (2 ineinander stehende Bechergläser auf Isoliermaterial, Ummantelung des inneren Becherglases mit Schaumstoff, Abdeckung)						
	Masse m_h des Wassers	Masse m_h des Wassers	Temperatur T_k des kalten Wassers	Temperatur T_h des heißen Wassers	Mischungstemperatur T_m	Ergebnisse
	0,1 kg	je 0,1 kg	295 K (22 °C)	353 K (80 °C)	322 K (49 °C)	$C_K = 0,062$ kJ/kg
Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes	Masse m_{Eis} des Eises	Masse m_h des Wassers	Temperatur T_{Eis} des Eises	Temperatur T_h des heißen Wassers	Mischungstemperatur T_m	Ergebnisse
$C_k = 0,062$ kJ/kg	0,1 kg	0,1 kg	271,5 K (-1,5 °C)	358 K (85 °C)	276,1 K (3,1 °C)	$q_{Eis} = 321$ kJ/kg
$C_k = 0,062$ kJ/kg	0,04 kg	0,18 kg	273 K (0 °C)	310 K (37 °C)	291,8 K (18,8 °C)	$q_{Eis} = 274$ kJ/kg
Kalorimetergefäß: doppelwandig (2 ineinander stehende Bechergläser auf Isoliermaterial, Abdichtung des Innenraumes zwischen den Bechergläsern mit Malerkreppband, Abdeckung)						
	Masse m_h des Wassers	Masse m_h des Wassers	Temperatur T_k des kalten Wassers	Temperatur T_h des heißen Wassers	Mischungstemperatur T_m	Ergebnisse
	0,1 kg	je 0,1 kg	296 K (23 °C)	353 K (80 °C)	323 K (50 °C)	$C_K = 0,046$ kJ/kg
Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes	Masse m_{Eis} des Eises	Masse m_h des Wassers	Temperatur T_{Eis} des Eises	Temperatur T_h des heißen Wassers	Mischungstemperatur T_m	Ergebnisse
$C_k = 0,046$ kJ/kg	0,1 kg	0,1 kg	269,3 K (-3,7 °C)	358 K (85 °C)	276,5 K (3,5 °C)	$q_{Eis} = 308$ kJ/kg
$C_k = 0,046$ kJ/kg	0,04 kg	0,18 kg	273 K (0 °C)	313 K (40 °C)	291 K (18 °C)	$q_{Eis} = 364$ kJ/kg
Kalorimetergefäß: doppelwandig (2 ineinander stehende Bechergläser auf Isoliermaterial, Abdichtung des Innenraumes zwischen den Bechergläsern mit Malerkreppband, Abdeckung)						
	Masse m_h des Wassers	Masse m_h des Wassers	Temperatur T_k des kalten Wassers	Temperatur T_h des heißen Wassers	Mischungstemperatur T_m	Ergebnisse
	0,1 kg	je 0,1 kg	295 K (22 °C)	353 K (80 °C)	322 K (49 °C)	$C_K = 0,062$ kJ/kg
Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes	Masse m_{Eis} des Eises	Masse m_h des Wassers	Temperatur T_{Eis} des Eises	Temperatur T_h des heißen Wassers	Mischungstemperatur T_m	Ergebnisse
$C_k = 0,062$ kJ/kg	0,1 kg	0,1 kg	273 K (0 °C)	356 K (83 °C)	275 K (2 °C)	$q_{Eis} = 330$ kJ/kg
$C_k = 0,062$ kJ/kg	0,04 kg	0,18 kg	273 K (0 °C)	310 K (40 °C)	291,8 K (20 °C)	$q_{Eis} = 324$ kJ/kg

Hinweis: Es ist dem Lehrer überlassen, absolute oder °C-Temperaturen zu verwenden! In diesem Material wurden einheitlich absolute Temperaturen berücksichtigt.

Geräte und Hilfsmittel:

Kalorimetergefäß (doppelwandig, aus 2 ineinander stehenden Bechergläsern auf Isoliermaterial, Abdichtung des Innenraumes zwischen den Bechergläsern mit Malerkreppband, Abdeckung) oder Thermosgefäß, 2 Thermometer (möglichst mit 1/10 °C Einteilung), Aluminiumtopf, Rührer, Stativheizplatte mit Anschluss (evtl. Tauchsieder – dann aber Änderung der Gleichungen notwendig!), Messzylinder, Waage, Papier von der Küchenrolle, Wasser, Eis

Hinweise zur Versuchsdurchführung:

Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes:

Da hierbei die Mischungstemperatur von kaltem und heißem Wasser relativ hoch über der Umgebungstemperatur liegt (bei ca. 50 °C), stellt sich kein konstanter Wert ein. Es muss daher der sich nach dem Mischen ergebende Anfangswert der Mischungstemperatur zur Berechnung herangezogen werden. Das heiße Wasser sollte nicht sieden (Masseverlust durch Verdampfen). Das Umgießen des heißen Wassers muss vorsichtig, aber zügig erfolgen, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung relativ gering zu halten. Beim Rühren und Messen der Mischungstemperatur ist darauf zu achten, dass das Kalorimetergefäß abgedeckt ist. Für die Messung der Temperatur des kalten und heißen Wassers sind zwei Thermometer sinnvoll, weil die Trägheit der Thermometerflüssigkeit und die damit verbundene Wartezeit sonst zu größeren Messfehlern führen können. Steht ein elektronisches Thermometer zur Verfügung, sollte dies zur Messung der Mischungstemperaturen verwendet werden. Bei geringer zeitlicher Verschiebung der Versuchsdurchführung können alle Gruppen mit dem digitalen Messgerät messen.

Bestimmung der Schmelzwärme von Eis (Variante I):

Das Kalorimetergefäß sollte unmittelbar vor dem Versuch mit kaltem Wasser (etwas geschmolzenes Eis) ausgespült werden, um dessen Temperatur zu erniedrigen und so eine Wärmeabgabe vom Gefäß an das Eis möglichst zu verringern. Das Eis hat im Innern eine andere Temperatur als an der Oberfläche, vor allem wenn es aus dem Tiefkühlfach genommen wird. Aus diesem Grunde sollte es einige Minuten auf Küchenpapier liegen, ehe es gewogen und ohne Schmelzwasser in das gekühlte, aber trockene Kalorimetergefäß gegeben wird. Eine Berührung mit der Hand sollte hierbei vermieden werden, die Oberflächentemperatur des Eises wird mit einem zwischen den Eisstücken steckenden Thermometer gemessen. Unmittelbar danach ist das heiße Wasser zügig zuzugießen (Versuchsablauf daher gut optimieren!) und ständig umzurühren, dabei die Abdeckung des Gefäßes nicht vergessen. Sobald das Eis vollständig geschmolzen ist, wird die Mischungstemperatur bestimmt. Das Thermometer sollte zu diesem Zweck die ganze Zeit im Becherglas sein oder es wird mit einem elektronischen Thermometer gemessen.

Bestimmung der Schmelzwärme von Eis (Variante II):

Bei dieser Versuchsvariante wird der Wärmeaustausch mit der Umgebung durch die niedrigere Temperatur des erwärmten Wassers verringert. Die Hinweise hinsichtlich der Temperatur des Eises, ebenso zur Messung der Mischungstemperatur sind analog zu Variante I.

Auswertung und Vergleich der Varianten:

Hinsichtlich der prinzipiellen Eignung der Versuchsvarianten zur Bestimmung der Schmelzwärme von Eis gibt es keine gravierenden Einschränkungen, alle Werte liegen im Bereich um den Tabellenwert. Es fällt aber auf, dass sich bei Versuchsvariante II häufiger etwas geringere Werte für die Schmelzwärme ergeben als bei Variante I (im Vergleich von sechs Versuchsgruppen). Welche Ursachen dies haben könnte, muss aber noch weiter untersucht werden. Entscheidend für gute Messergebnisse sind eine gute Organisation der Versuchsdurchführung innerhalb der Gruppen und die möglichst exakte Bestimmung der Mischungstemperatur.

Weniger von Bedeutung ist, dass das Eis evtl. nicht exakt eine Temperatur von 0 °C hat, da die zuzuführende spezifische Wärme zum Erreichen der Schmelztemperatur wesentlich geringer ist als die Schmelzwärme ($c_{\text{Eis}} \approx 2,09 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$) und damit in die Größenordnung der relativen Fehler fällt. Trotzdem sollte möglichst nicht unmittelbar mit tiefgekühltem Eis experimentiert werden. Eine

Berücksichtigung in den Gleichungen ist zwar prinzipiell möglich, erschwert aber den Überblick für die Schülerinnen und Schüler.

Zur Verringerung des Wärmeaustausches mit der Umgebung beim Umgießen sollte die Temperatur des heißen Wassers nicht zu hoch liegen (zwischen 60 und 80 °C). Günstiger wäre das Zugießen von kaltem Wasser in heißes Wasser bei den Experimenten, nur lässt sich das Wasser schlecht im Kalorimetergefäß erhitzen. Dies wäre nur mit einem Tauchsieder möglich, dann müssen aber die Gleichungen angepasst werden. Die von den Schülergruppen ermittelten Werte für die Wärmekapazität liegen alle im Bereich von 0,046 bis 0,065 kJ/ K und sind mit Literaturwerten vergleichbar (vgl. /4/).

Hinsichtlich der Isolierung des Kalorimeters hat sich die Variante mit zwei ineinander gestellten Bechergläsern und einer Isolierung des Innenraumes mit Malerkreppband (inneres Becherglas am oberen Becherrand mehrfach mit Kreppband umwickeln, das innere Becherglas steht auf Isoliermaterial (Styroporscheibe) als günstigste erwiesen. Natürlich kann auch ein Thermosgefäß verwendet werden.

Fehlerbetrachtung:

systematische Fehler	subjektive Fehler
Isolierung des Kalorimeters	Fehler bei der Volumen, Massen und Temperaturmessung
Eichung und Genauigkeit der Thermometer	zu langes Zögern bei den Mischungsvorgängen
Trägheit des Thermometers bei der Anpassung an verschiedene Temperaturen	nicht gut koordinierte Versuchsdurchführung (evtl. zu lange Wartezeiten, und damit Wärmeaustausch mit der Umgebung)
Eichung und Ungenauigkeit der Schülerwaagen	subjektive Einschätzung der Mischungstemperatur
Temperatur des Eises nicht 0 °C	
Temperatur des Eises nicht genau bestimmbar (nur Oberflächentemperatur)	
Mischungstemperatur ist nicht konstant	
Wärmeabgabe an die Umgebung beim Umgießen und Mischen	
geringer Masseverlust beim Erhitzen (Verdunsten)	
bereits Schmelzwasser beim Eiszugeben	

Abschätzung des relativen Fehlers:

Im Vergleich zu den subjektiven Fehlern und dem nicht vermeidbaren Wärmeaustausch mit der Umgebung ist der Einfluss der Fehler, bedingt durch die Genauigkeit der Messgeräte, als geringer hinsichtlich der Auswirkung auf das Messergebnis einzuschätzen. Es genügt daher eine einfache Abschätzung (Addition der relativen Größtfehler der einzelnen Messgrößen):

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}, \text{ also } \frac{\Delta q}{q} = \frac{0,1 \text{ K}}{2 \text{ K}} + \frac{1 \text{ g}}{40 \text{ g}} + \frac{2 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 0,095$$

Bezogen auf die Endergebnisse (jeweils Mittelwert der beiden Messergebnisse) bei den Messbeispielen bedeutet dies:

	spezifische Schmelzwärme I	spezifische Schmelzwärme II	Mittelwert	relativer Fehler	Endergebnis
Messung 1	$q_{Eis} = 321 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 274 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 297 \text{ kJ/kg}$	$\Delta q_{Eis} = 28 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 297 \pm 28 \text{ kJ/kg}$
Messung 2	$q_{Eis} = 308 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 364 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 336 \text{ kJ/kg}$	$\Delta q_{Eis} = 32 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 336 \pm 32 \text{ kJ/kg}$
Messung 3	$q_{Eis} = 330 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 324 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 327 \text{ kJ/kg}$	$\Delta q_{Eis} = 29 \text{ kJ/kg}$	$q_{Eis} = 327 \pm 29 \text{ kJ/kg}$

Damit liegen alle Messergebnisse innerhalb des Tabellenwertes. Insgesamt werden für die Durchführung und vollständige Auswertung ca. 90 min benötigt.

Literatur:

- /1/ Ralph Hepp u.a.: *Umwelt Physik, Ausgabe A, Teil 1*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 2001. S. 220, Abb. 3.
- /2/ Götz, R. u. a.: *Handbuch des Physikunterrichts – Sekundarstufe I, Wärmelehre/ Wetterkunde*. Aulis Verlag 2001. S. 127.
- /3/ Autorenkollektiv: *Physik für die Sekundarstufe I, Teilband 1.2*. Cornelsen Verlag, Berlin, 1991. S. 112, Abb. 2 und S. 116.
- /4/ Wilke, H. J. (Hrsg.): *Physikalische Schulexperimente, Band 1, Mechanik, Thermodynamik*. Volk und Wissen Verlag GmbH, Berlin 1997. S. 278 ff.

Die Erfindung des Fernrohrs geht auf die Zeit um 1600 in Holland zurück. Jedoch war es Galileo Galilei, der das Fernrohr nachbaute und als erster gegen den Himmel richtete. So entdeckte er z.B. die Mondgebirge und die vier großen Jupitermonde. Der Astronom Johannes Kepler entwickelte auf der Grundlage der Gesetze der Bildentstehung ebenfalls ein Fernrohr.

Aufgabe 1:

- Informieren Sie sich über den Aufbau des Galileieschen und des Keplerschen Fernrohres. Erläutern Sie den Unterschied im Aufbau und in der Bildentstehung?
- Bauen Sie aus Teilen des Schülerexperimentiersatzes „Optik“ die beiden Fernrohrarten nach. Visieren Sie einen entfernten Gegenstand (z. B. Haus, Auto, Person) an und beobachten Sie. Beschreiben Sie Ihre Beobachtung.

Aufgabe 2:

- Zeichnen Sie an die Tafel oder auf einen Schirm aus weißem Karton 15 parallele Striche, die etwa 50 cm lang sind und einen Abstand von 5 cm haben.
- Bauen Sie ein Fernrohr auf der optischen Bank mit folgenden Parametern auf: Brennweite des Objektivs: $f = + 250$ mm, Brennweite des Okulars: $f = + 50$ mm
- Richten Sie das Fernrohr auf die gezeichneten Striche und erzeugen Sie ein scharfes Bild. Der Abstand Fernrohr – Striche sollte dabei mindestens 5 m betragen.
- Messen Sie den Abstand zwischen Objektiv und Okular.
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Abstand der beiden Linsen und den Brennweiten?

Aufgabe 3:

- Bestimmen Sie die Vergrößerung des von Ihnen aufgebauten Fernrohres.
- Dazu blicken Sie mit dem einen Auge durch das Fernrohr und mit dem anderen Auge seitlich am Fernrohr vorbei auf die gezeichneten Striche. Die beiden Bilder sollen dicht nebeneinander liegen. Zählen Sie, wie viele Teilstriche des unvergrößerten Bildes einer bestimmten Anzahl von vergrößert gesehenen Teilstrichen entsprechen. Das Verhältnis beider Zahlen ist die gesuchte Vergrößerung.
- Man kann die Vergrößerung eines Fernrohres auch aus dem Verhältnis der beiden Brennweiten nach folgender Formel ermitteln:

$$V = \frac{f_{\text{Ob}}}{f_{\text{Ok}}}$$

- Berechnen Sie die Vergrößerung des Fernrohres nach dieser Formel und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse. Woran kann es liegen, dass beide Werte nicht ganz übereinstimmen?

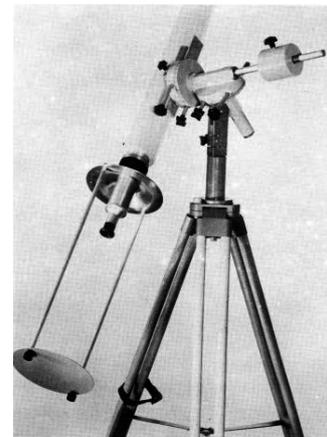
Variante I

Mit Hilfe des Schulfernrohres kann man nicht nur den Mond und die Planeten beobachten, sondern auch unsere Sonne. Dabei müssen aber besondere Sicherheitsmaßnahmen unbedingt eingehalten werden.

1. **Verwenden Sie zur Beobachtung der Sonne nur den Sonnenprojektionsschirm und als Okularlinse das Huygens-Okular $f=25\text{ mm}$!**
2. **Niemals mit ungeschütztem Auge oder direkt durch das Fernrohr die Sonne beobachten!**
3. **Um die Sonne genau in das Gesichtsfeld des Fernrohres zu bekommen, beobachtet man den Schatten des Rohres. Ist er genau kreisrund, dann steht die Sonne genau im Gesichtsfeld des Fernrohres.**

Aufgabe 4:

- Bauen Sie das Schulfernrohr nach der Abbildung auf.
- Beobachten Sie die Sonnenflecken am Praktikumstag.
- Dazu befestigen Sie ein Blatt Zeichenpapier, auf dem ein Kreis mit einem Durchmesser von 6 cm gezeichnet ist, auf dem Sonnenprojektionsschirm. Zentrieren Sie das Sonnenbild auf diesem Kreis und stellen sie es scharf ein.
- Zeichnen Sie die Lage der Sonnenflecken (Umrisse der Flecken) mit einem Bleistift ein.



Fertigen Sie ein Protokoll an, in dem alle Aufzeichnungen zu den einzelnen Aufgaben enthalten sind.

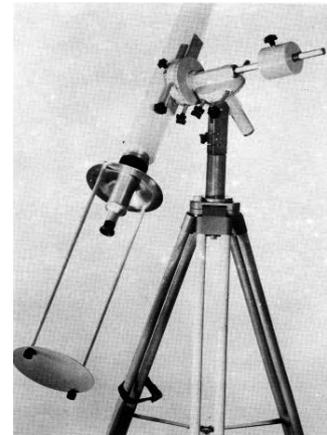
Variante II

Mit Hilfe des Schulfernrohres kann man nicht nur den Mond und die Planeten beobachten, sondern auch unsere Sonne. Dabei müssen aber besondere Sicherheitsmaßnahmen unbedingt eingehalten werden.

1. **Verwenden Sie zur Beobachtung der Sonne nur den Sonnenprojektionsschirm und als Okularlinse das Huygens-Okular $f=25\text{ mm!}$**
2. **Niemals mit ungeschütztem Auge oder direkt durch das Fernrohr die Sonne beobachten!**
3. **Um die Sonne genau in das Gesichtsfeld des Fernrohres zu bekommen, beobachtet man den Schatten des Rohres. Ist er genau kreisrund, dann steht die Sonne genau im Gesichtsfeld des Fernrohres.**

Aufgabe 4:

- Bauen Sie das Schulfernrohr nach der Abbildung auf.
- Beobachten Sie die Sonnenflecken am Praktikumstag.
- Dazu befestigen Sie ein Blatt Zeichenpapier, auf dem ein Kreis mit einem Durchmesser von 6 cm gezeichnet ist, auf dem Sonnenprojektionsschirm. Zentrieren Sie das Sonnenbild auf diesem Kreis und stellen sie es scharf ein.
- Zeichnen Sie die Lage der Sonnenflecken (Umrisse der Flecken) mit einem Bleistift ein.
- Bestimmen Sie annähernd den Durchmesser des größten Sonnenflecks am Praktikumstag.



Hinweis: Wenn Sie Hilfe benötigen sollten, wenden Sie sich an Ihren Lehrer. Dies kann jedoch mit einem Punktabzug verbunden sein.

Zählen Sie die Anzahl der Fleckengruppen und die darin enthaltenen einzelnen Flecken, sowie die Flecken, die keiner Gruppe angehören. Berechnen Sie daraus die Sonnenfleckenrelativzahl für den betreffenden Beobachtungstag.

Die Formel dazu lautet:

$$R = 10g + f$$

g – Anzahl der Gruppen
 f – Gesamtzahl der Flecken

Sollten am Beobachtungstag schlechte Beobachtungsbedingungen herrschen, dann rufen Sie im Internet die Seite www.sternwarte-herne.de/galerie/images/sonne_20000721.jpg auf. Hier finden Sie eine Aufnahme von der Sonne, so dass Sie die gestellte Aufgabe bearbeiten können.

Auf der Erde sind einige Observatorien damit beschäftigt, monatlich die Sonnenfleckenrelativzahlen zu bestimmen. Ein solches Sonnenobservatorium ist die Kanzelhöhe bei Villach in Österreich. Dort wurden für die Jahre 1990-2005 folgende Werte ermittelt:

Jahr	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
R	141	146,6	96,7	52,2	31,4	18,6	8,6	21,1	63,1	95,8	117,1
Jahr	2001	2002	2003	2004	2005						
R	113,3	104,2	65,9	41,4	30,8						

Fertigen Sie mit Hilfe des Computers ein geeignetes Diagramm an und interpretieren Sie es!

Legen Sie ein Protokoll an, in dem alle Aufzeichnungen zu den einzelnen Aufgaben enthalten sind!

Aufgaben:

1. Untersuchen Sie mit Hilfe paralleler Lichtbündel den Lichtverlauf bei einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse und bei Kombinationen aus diesen beiden Linsen.
2. Untersuchen Sie mit Hilfe einer Lochkamera die Abhängigkeit der Bildqualität von der Lochgröße (ohne Linse) und die Abhängigkeit der Bildweite von der Gegenstandsweite (mit Linse).
3. Untersuchen Sie mit Hilfe eines zu präparierenden Rinder- oder Schweineauges dessen Aufbau und Funktionsweise.
4. Simulieren Sie mit einer flexiblen Linse den Vorgang des Scharfstellens des Netzhautbildes im menschlichen Auge (Akkommodation).
5. Untersuchen Sie am Augenmodell (Ray-Box) die Wirkung verschiedener Augenlinsen (L1, L2, L3) auf die Lage des Brennpunktes. Verschieben Sie die vor die Augenlinse gelegten Korrekturlinsen (L4, L5) so, dass der Brennpunkt für alle Linsen genau auf die Netzhaut fällt. Welche Augenfehler können mit welchen Linsen und damit welcher Dioptrienzahl (positiv/ negativ) aufgehoben werden?

Vorbetrachtungen:

1. Zeichnen Sie den Strahlenverlauf paralleler Lichtstrahlen bei einer Sammel- und Zerstreuungslinse und markieren Sie Brennpunkt und Brennweite (achten Sie auf die Vorzeichen). Welcher mathematische Zusammenhang besteht zwischen der Brennweite und der Dioptrienzahl einer Linse?
2. Beschreiben Sie den Aufbau und die Funktionsweise einer Lochkamera.
3. Beschaffen Sie sich ein frisches Rinder- oder Schweineauge und lassen Sie es nach Säuberung in einem Plastikbeutel im Tiefkühlfach gefrieren. Schneiden Sie es danach längs durch, untersuchen Sie den Bau und vergleichen Sie die Schichten mit der Abbildung in einem Lehrbuch. Benennen Sie die auf dem Arbeitsblatt I dargestellten Teile des menschlichen Auges und geben Sie die jeweilige Funktion an.
4. Vergleichen Sie eine analoge Kamera und das Auge unter folgenden Gesichtspunkten: lichtbrechendes System, Bildentstehung, Blende, Scharfstellung. Nutzen Sie hierfür ebenfalls das Arbeitsblatt I.
5. Erläutern Sie, wie beim Auge das Problem gelöst wird, dass bei unterschiedlichen Abständen der beobachteten Gegenstände (verschiedene Gegenstandsweiten) auf der Netzhaut stets ein scharfes Bild entstehen muss.
 - Wie wird dieses Problem bei einem herkömmlichen (nicht digitalen) Fotoapparat gelöst?
 - Informieren Sie sich über die Begriffe Akkommodation und Adaptation. Erläutern Sie in diesem Zusammenhang die Funktion des Ziliarmuskels beim Auge.
 - Die Augenlinse besteht aus Eiweißen. Wiederholen Sie Aufbau und Eigenschaften dieser Makromoleküle.
6. Informieren Sie sich über die Begriffe Kurz-, Über-, Alters(weit)sichtigkeit sowie Rot-Grün-Blindheit und ihre Ursachen. Unterscheiden Sie nach angeborenen und erworbenen Augenfehlern.

Durchführung und Auswertung der Experimente:

1. Verwenden Sie für diesen Versuchsteil Geräte aus dem Schülerexperimentiersatz Heftoptik.
 - Justieren Sie die Heftleuchte (paralleles Licht) und verwenden Sie die Dreispaltblende.
 - Zeichnen Sie vor Beginn der Versuche die Umriss der Sammell- bzw. Zerstreuungslinse auf ein Blatt Papier.
 - Markieren Sie den Verlauf der Lichtbündel mit Kreuzchen und zeichnen Sie diesen anschließend mit Bleistift und Lineal nach.
 - Messen Sie den Abstand von der Sammellinsenebene zum Schnittpunkt. Hinweis: Bei der Zerstreuungslinse entsteht der Schnittpunkt durch die rückwärtige Verlängerung der Strahlen. Geben Sie jeweils die Brennweite und die Dioptrienzahl an.
 - Wiederholen sie dieses Experiment für zwei verschiedene (Lage-)Kombinationen der Sammell- und Zerstreuungslinse.
- 2.1 Wählen Sie für eine gegebene Lochkamera feste Abstände zwischen der Lampe mit L und der Lochkamera und vom Loch zum Schirm. Verändern Sie nun den Lochdurchmesser und untersuchen Sie, wie sich dadurch die Schärfe und die Helligkeit des Bildes verändern.
- 2.2 Befestigen Sie die Linse vor dem Loch der Kamera! Wählen Sie den größten Lochdurchmesser Wählen Sie verschiedene Abstände zwischen der Lampe mit L und der Lochkamera (z. B. 0,12 m; 0,15 m; 0,17 m) und verändern Sie jeweils den Abstand Linse-Schirm so, dass Sie ein scharfes Bild erhalten. Messen Sie jeweils diesen Abstand.
3. Präparieren Sie ein Schweine- bzw. Rinderauge folgendermaßen:
 - Betrachten Sie zunächst das Äußere des Augapfels und suchen Sie die von außen erkennbaren Bestandteile: weiße Lederhaut, Hornhaut, Bindegewebe, Augenmuskeln, Iris, Pupille, Sehnerv.
 - Schneiden Sie in das Auge mit Skalpell oder Rasierklinge ein Fenster von etwa 1 x 1 cm in die Rückwand, legen Sie ein feuchtes Transparentpapier als Mattscheibe auf einen Objektträger und drücken Sie die Mattscheibe mit den Fingern gegen das Fenster in der Augentrückwand.
 - Halten Sie das so präparierte Auge in einem ausreichenden Abstand vor eine brennende Kerze oder ein Fensterkreuz. Was erkennen Sie auf der Mattscheibe? Vergleichen Sie Ihre Beobachtung mit einem Blick durch eine farblose Glaskugel oder durch einen wassergefüllten Rundkolben. Was stellen Sie fest?
 - Präparieren Sie aus dem Auge die Linse heraus. Schneiden Sie in einen Pappstreifen ein Loch, auf das Sie die Linse legen. Betrachten Sie durch die Linse kleine Schrift oder Zeichnungen. Welche Wirkung erkennen Sie? Drücken Sie vorsichtig von oben und von den Seiten die Linse zusammen. Beschreiben Sie die Verformbarkeit und Ihre Beobachtungen.
4. Das menschliche Auge nutzt eine flexible Linse, um verschieden entfernte Objekte scharf auf der Netzhaut abzubilden. Strecken Sie in einem Vorversuch zunächst ihren rechten Arm aus und fixieren Sie ihren Daumen. Wie sehen Sie den Hintergrund? Fixieren Sie nun den Hintergrund und achten Sie darauf, wie Sie ihren Daumen sehen. Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.
 - Dieser Akkommodationsvorgang des menschlichen Auges soll nun mit einem flexiblen Augenmodell simuliert werden. Halten Sie die noch ungefüllte flexible Linse über eine kleine Zeichnung und blasen Sie mit Hilfe der Spritze Luft in das Augenmodell. Beobachten Sie dabei die flexible Linse und die Zeichnung. Füllen Sie nun Wasser in die flexible Linse und beobachten Sie wieder.
 - Montieren Sie die flexible Linse anstatt einer starren Linse auf der optischen Bank. Stellen Sie den Geräteaufbau so ein, dass der Gegenstand bei ca. halber Wasserfüllung scharf auf dem Schirm abgebildet wird. Betrachten Sie die Wölbung der Linse und lesen Sie an der Spritze ab, wie viel Wasser sich in der Linse befindet.
 - Nähern Sie nun den Gegenstand der Linse. Wie muss die Wölbung der Linse verändert werden, damit man wieder ein scharfes Bild erhält? Vergrößern Sie anschließend den Ab-

stand des Gegenstandes von der Linse und stellen Sie das Bild durch Veränderung der Wasserfüllung wieder scharf.

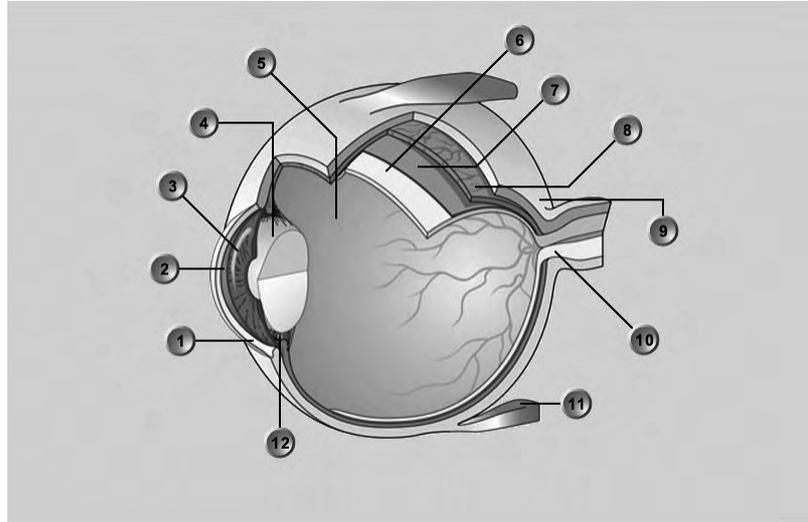
- Übertragen Sie ihre Erkenntnisse aus den Versuchen auf den Akkommodationsvorgang beim Menschen und formulieren Sie den Zusammenhang zwischen Fernakkommodation bzw. Nahakkommodation und Linsenwölbung.
5. Untersuchen Sie am Augenmodell (Ray-Box) die Wirkung der verschiedenen Linsen (L1, L2, L3) auf die Lage des Brennpunktes.
- Stellen Sie einen Zusammenhang zwischen Linsenwölbung und Brennweite sowie Linsenwölbung und Dioptrienzahl her und formulieren Sie daraus einen Satz.
 - Verschieben Sie am Augenmodell die vor die Augenlinse gelegten Korrekturlinsen (L4, L5) so, dass der Brennpunkt für alle Linsen genau auf die Netzhaut fällt.
 - Beschreiben Sie, welche Augenfehler mit welchen Linsen und damit welcher Dioptrienzahl (positiv/ negativ) aufgehoben werden können! Ergänzen Sie anschließend auf dem Arbeitsblatt II die fehlenden Linsen farbig.

Fertigen Sie ein Protokoll an, in dem alle Aufzeichnungen zu den einzelnen Aufgaben enthalten sind.

Arbeitsblatt I

Name :

Bau des Auges



Nummer	Name des Teiles	Funktion
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Vergleiche Kamera und Auge

unter folgenden Gesichtspunkten:

- Wie ist das lichtbrechende System beschaffen?
- Wo und wie entsteht das Bild?
- Welche Struktur entspricht der Blende?
- Wie wird die optimale Einstellung der Blende bestimmt und wie wird sie festgelegt?
- Welche Mittel sind zum Scharfstellen des Bildes notwendig?
- Welchen Informationsspeicher gibt es?

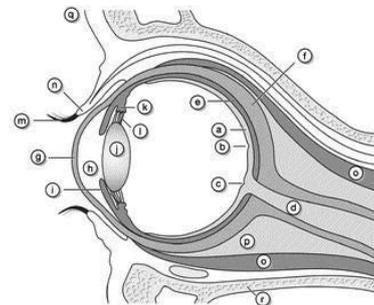


Abb. 1

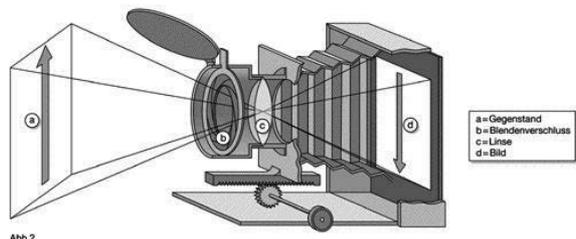


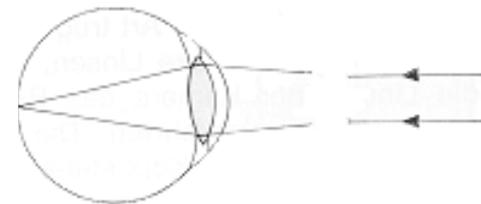
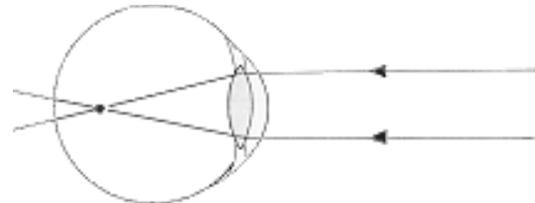
Abb. 2

Arbeitsblatt II

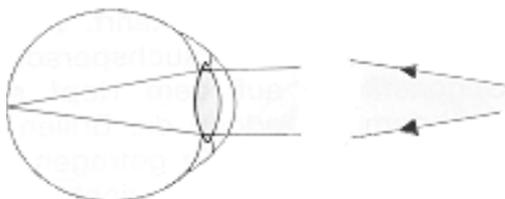
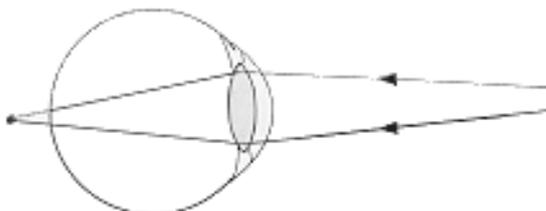
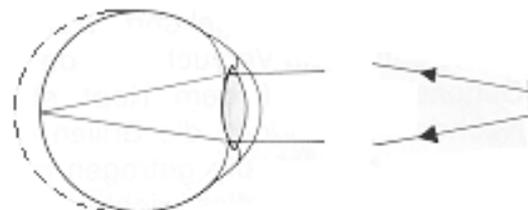
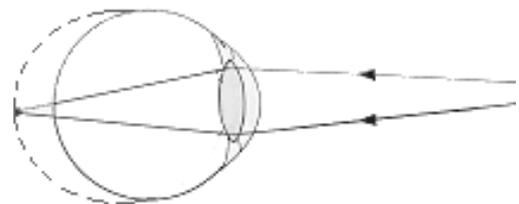
Name :

Warum tragen manche Leute eine Brille?

Ist die Augenlinse normal, der *Augapfel* aber zu *lang*, können weiter entfernte Gegenstände nicht mehr scharf abgebildet werden; das Bild liegt vor der Netzhaut. Man spricht von **Kurzsichtigkeit**.



Ist die Linse normal, aber der *Augapfel* von Natur aus zu *kurz*, entstehen auf der Netzhaut unscharfe Bilder von nahen Gegenständen. Hier wird von **Übersichtigkeit** gesprochen.



Ist die Linse nicht genügend *elastisch*, entsteht das Bild hinter der Netzhaut, nahe Gegenstände sind nicht scharf abgebildet. Diesen Zustand nennt man **Alters(weit)sichtigkeit**.

Diese Sehfehler können beseitigt werden, indem man eine optische Linse zwischen Auge und Gegenstand einschiebt, die **Brille**. Die Art der Linse hängt davon ab, ob und wie stark man Kurz-, Über- und Alters(weit)sichtig ist.

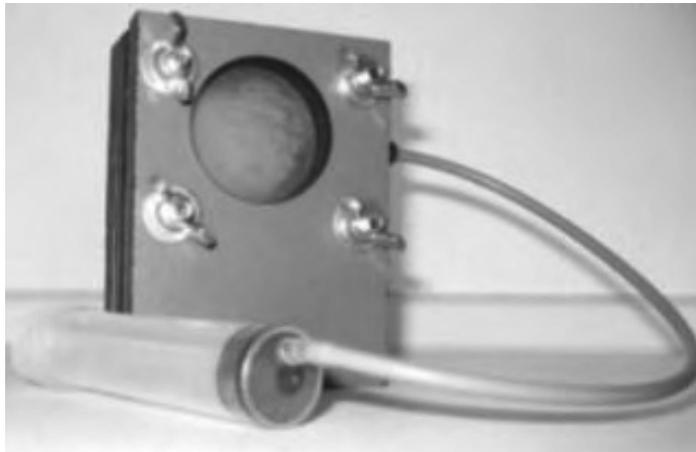
Zeichnen Sie in den oberen Abbildungen die entsprechenden (Korrektur-)Linsen mit farbigem Stift ein und ergänzen Sie den Strahlenverlauf durch die Linsen!

Bauanleitung für eine flexible Linse

(zu Durchführung 4)

Benötigtes Material:

- 8 Unterlegscheiben
- 4 Maschinenschrauben M6
- 1 Spritze, ca. 30 ml
- 4 Flügelmuttern
- 2 Nullringe
- 1 Pneumatikschlauch
- 1 Anschluss mit Gewinde
- 3 Hartfaserplatten (ca. 12 cm x 8 cm x 1,5 cm)
- 1 Kondom
- Bohrmaschine mit Bohrmaschinenständer
- Steckdosesäge (Aufsatz für Bohrmaschine)
- Holzbohrer $\varnothing = 6$ mm
- Gewindeschneider
- 2 Schraubzwingen



Die drei Hartfaserplatten übereinander legen und mit Klebeband an den Rändern fixieren. Mit der Steckdosesäge, welche einen geringeren Durchmesser als die Nullringe haben sollte, das Loch für die flexible Linse aussägen. Es empfiehlt sich einen Mundschutz zu tragen. Es sollte im Freien gesägt werden. Danach werden die vier Löcher für die Schrauben gebohrt. Die Kanten der mittleren Hartfaserplatte sollten gebrochen werden, damit das Kondom nicht beschädigt wird. Durch den Rand der mittleren Platte ein Loch bohren und mit dem Gewindeschneider das Gewinde für den Pneumatikschlauchanschluss schneiden (alternativ kann der Kunststoffschlauch auch mit Heißkleber angeklebt werden, allerdings leidet dabei meistens die Dichtigkeit). Das Kondom über die mittlere Platte ziehen (eventuell mit Klebeband die Kanten abkleben). Unter das Kondom auf jeder Seite einen Nullring legen. Die Außenplatten in Position bringen und mit den zwei Schraubzwingen fixieren (gleichmäßig anziehen). Die Schrauben durch die Bohrungen stoßen und gleichmäßig anziehen.

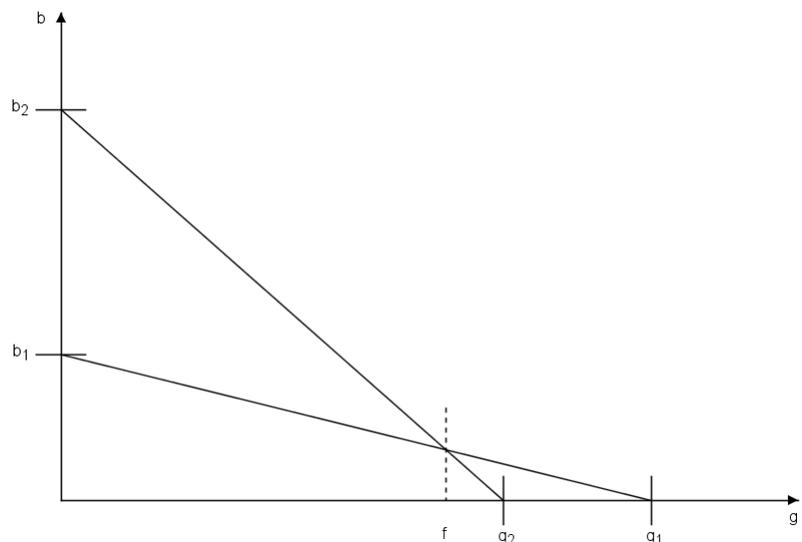
Aufgaben:

1. Bestimmen Sie bei der Abbildung eines Gegenstandes durch eine Sammellinse mit bekannter Brennweite die Bildweite und die Bildgröße.
2. Bestimmen Sie die Brennweite von einer vorgegebenen Konvexlinse mit unterschiedlichen Methoden.

Vorbetrachtungen:

Bearbeiten Sie die folgenden Fragen schriftlich.

1. Der Mensch und die meisten Tiere haben Linsenaugen. Alle Linsenaugen haben einen ähnlichen Aufbau. Zeichnen Sie einen Längsschnitt durch ein Linsenauge und benennen Sie die wesentlichen Teile des Linsenauges.
2. Erklären Sie die Bildentstehung im Auge. Wie passen sich die Augen an die jeweilige Entfernung an?
3. Konstruieren Sie das Bild eines Gegenstandes (Pfeil) an einer Konvexlinse, wenn der Gegenstand außerhalb der doppelten Brennweite steht. Benennen und bezeichnen Sie in der Konstruktion alle wichtigen Punkte, Linien und Entfernungen.
4. Trägt man verschiedene Gegenstandsweiten und die dazugehörigen Bildweiten in ein Diagramm ein und verbindet die einander entsprechenden Punkte, so erhält man einen Schnittpunkt P (x/y) aller Geraden. (siehe Abbildung).
Zeigen Sie, dass für die Brennweite f gilt: $x = y = f$. Verwenden Sie den Strahlensatz und die Linsengleichung (Tafelwerk).



5. Die Brennweite von Konvexlinsen kann auch mit Hilfe der Bessel'schen Methode bestimmt werden. Beschreiben Sie, wie man mit dieser Methode die Brennweite einer Sammellinse experimentell bestimmen kann.

Durchführung:

Aufgabe 1

Für den Versuch werden benötigt:

- Experimentierleuchte mit Zubehör
- L-Blende als Gegenstand
- Lineal, Zirkel
- 1 Sammellinse mit bekannter Brennweite, 1 Sammellinse mit unbekannter Brennweite
- Auffangschirm
- optische Schiene mit Reitern

Hinweise:

1. Bauen Sie die Experimentieranordnung auf und bilden Sie den Gegenstand (L) mit Hilfe der Sammellinse mit bekannter Brennweite scharf auf den Bildschirm ab.
2. Messen Sie mit dem Lineal die Gegenstandsweite und die Bildweite und mit dem Zirkel die Gegenstandsgröße und die Bildgröße.
3. Wiederholen Sie das Experiment für andere Gegenstandsweiten. Tragen Sie die Messwerte in die Tabelle auf ihrem Protokoll ein.

Mustertabelle

Nr.	Brennweite f in cm	Gegenstandsweite g in cm	Bildweite b in cm	Gegenstandsgröße G in cm	Bildgröße B in cm
1					
2					
3					
4					

Auswertung:

1. Berechnen Sie für jede Gegenstandsweite die Bildweite und die Bildgröße und vergleichen Sie die berechneten Werte mit den gemessenen Werten.
2. Geben Sie die prozentuale Abweichung des gemessenen Wertes vom berechneten Wert an.
3. Nennen Sie objektive und subjektive Fehlerquellen, die Einfluss auf das Messergebnis haben.

Aufgabe 2

1. Ersetzen Sie in der Experimentieranordnung nach Aufgabe 1 die Sammellinse mit bekannter Brennweite durch die Sammellinse mit unbekannter Brennweite.
2. Messen Sie die Bildweiten für mindestens fünf Gegenstandsweiten.
3. Ermitteln Sie zur Bestimmung der Brennweite mit der Methode von Bessel die notwendigen Entfernungen. Führen Sie mindestens zwei Messungen aus. Nutzen Sie hierbei die Symmetrie der Anordnungen.

Auswertung:

1. Berechnen Sie die mittlere Brennweite der Linse aus den gemessenen Werten von Gegenstands- und Bildweiten mit Hilfe der Linsengleichung.
2. Tragen Sie die Gegenstands- und Bildweiten aus dem ersten Teil des Experiments in ein Diagramm ein und verbinden Sie einander entsprechende Werte. Verwenden Sie Millimeterpapier. Lesen Sie die Brennweite der Linse aus diesem Diagramm ab.
3. Bestimmen Sie die Brennweite der Linse nach der Methode von Bessel.
4. Vergleichen Sie die mit verschiedenen Methoden gemessenen Brennweiten der Linse miteinander und nennen Sie Ursachen für die aufgetretenen Fehler.

Aufgaben:

1. Bestimmen Sie experimentell den Grenzwinkel einer Totalreflexion.
2. Bestimmen Sie experimentell die Brechzahl n für ein Stoffpaar Luft/Glas.

Vorbetrachtungen:

1. Wiederholen Sie wesentliche Aspekte zur Lichtbrechung beim Übergang des Lichtes von einem optisch dünneren (z. B. Luft) in ein optisch dichteres Medium (z. B. Glas). Beschäftigen Sie sich dabei auch mit dem Snelliusschen Brechungsgesetz.
2. Informieren Sie sich über wesentliche Aspekte des physikalischen Vorganges „Totalreflexion“. Arbeiten Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Totalreflexion und des oben genannten Vorganges der Lichtbrechung heraus.
3. Entwerfen Sie zur Durchführung einen Versuchsaufbau und eine Messtabelle. Erstellen Sie dazu eine Liste der benötigten Materialien.
4. Suchen Sie aus verschiedenen Quellen (z. B. Bücher, Zeitungen, Zeitschriften, Internet,...) praktische Beispiele zur Anwendung der Totalreflexion.
5. Überlegen Sie in der Auswertung, welche Fehlerquellen die Messergebnisse negativ beeinflussen können.

Durchführung der Experimente

1. Bauen Sie den Versuch mit Teilen aus dem Schülerexperimentiersatz „Optik“ auf. Achten Sie beim Anschluss der Experimentierleuchte auf die Betriebsspannung der Glühlampe.
2. Messen Sie Einfallswinkel und Brechungswinkel (Ausfallswinkel) beim Übergang des Lichts von Glas in Luft. Notieren Sie die Messwerte in einer Tabelle. Beobachten Sie, wie sich der Brechungswinkel in Abhängigkeit vom Einfallswinkel verändert.
3. Ermitteln Sie den Grenzwinkel der Totalreflexion.

Hinweise zur Auswertung:

1. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen bei den einzelnen Experimenten.
2. Berechnen Sie mit verschiedenen Wertepaaren (Einfallswinkel / Ausfalls- oder Brechungswinkel) die Brechzahl n für das Medium „Glas“. Vergleichen Sie die errechneten Werte miteinander.
3. Berechnen Sie einen Mittelwert und vergleichen Sie diesen mit entsprechenden Brechzahlen für bestimmte Stoffe.
4. Notieren Sie mögliche Messfehler, die das Ergebnis beeinflusst haben könnten. Gehen Sie dabei auf systematische Fehler (bedingt durch die Experimentieranordnung und die Messgeräte) und subjektive Fehler (bedingt durch den Experimentator) ein.
5. Formulieren Sie eine Antwort zum Ergebnis Ihres Experimentes.

Aufgaben:

1. Bestimmen Sie experimentell die Brechzahl n für eine Glassorte.
2. Bestimmen Sie experimentell den Grenzwinkel der Totalreflexion für eine Glassorte.

Vorbetrachtungen:

1. Wiederholen Sie wesentliche Aspekte zur Brechung des Lichtes beim Übergang von einem optisch dünneren (z. B. Luft) in ein optisch dichteres Medium (z. B. Glas) und umgekehrt.

Beschäftigen Sie sich dabei auch mit dem Snelliusschen Brechungsgesetz.

Informieren Sie sich über den physikalischen Vorgang „Totalreflexion“, insbesondere auch zu Möglichkeiten der Berechnung des Grenzwinkels.

Benennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Totalreflexion und der Lichtbrechung.

- 2.1 Entwerfen Sie zur Durchführung der Experimente einen Versuchsaufbau und entsprechende Messtabellen und erstellen Sie eine Liste der benötigten Materialien. Bitten Sie zu diesem Zweck ggf. Ihren Physiklehrer um Unterstützung.
- 2.2 Planen Sie gemeinsam mit Ihrem Experimentierpartner eine sinnvolle und effektive Versuchsdurchführung.
- 3 Informieren Sie sich in verschiedenen Quellen (z. B. Bücher, Zeitschriften, Internet,...) über praktische Beispiele zur Anwendung der Totalreflexion und beschreiben Sie diese.
4. Erläutern Sie die Begriffe subjektive und objektive Messfehler und überlegen Sie, welchen Einfluss diese auf Ihr Experiment haben können.

Hinweise zur Durchführung:

Führen Sie den Versuch mit Teilen aus dem Schülerexperimentiersatz „Optik“ durch. Achten Sie beim Anschluss der Experimentierleuchte auf die Betriebsspannung der Glühlampe.

Hinweise zur Auswertung:

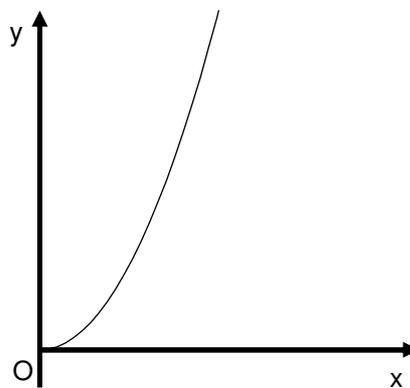
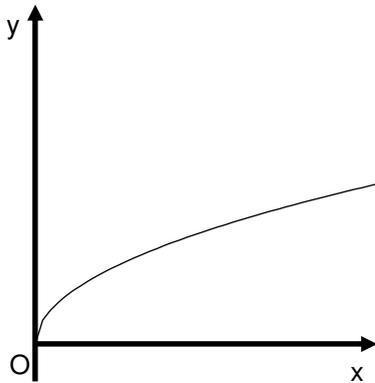
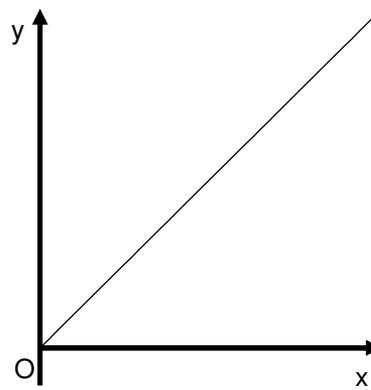
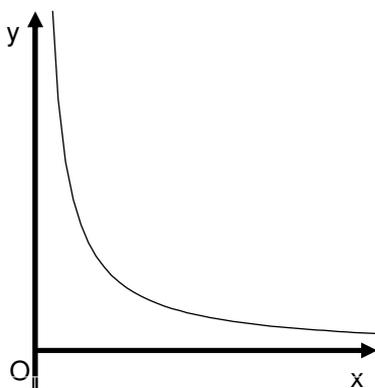
1. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen bei den einzelnen Experimenten.
2. Berechnen Sie mit verschiedenen Wertepaaren die Brechzahl n für die gegebene Glassorte, bilden Sie einen Mittelwert und vergleichen Sie mit Tabellenwerten.
3. Berechnen Sie, welchen Einfluss eine um 1° falsche Messung der Winkel auf Ihr Ergebnis hat. Geben Sie diesen Fehler auch in Prozent an.
4. Überprüfen Sie den experimentell bestimmten Grenzwinkel für Ihre Glassorte durch Berechnung.
5. Notieren Sie mögliche Messfehler, die das Ergebnis beeinflusst haben könnten. Gehen Sie dabei auf systematische und subjektive Fehler ein.

Aufgaben:

1. Untersuchen Sie, welche Bauelemente in den vier Black-Box enthalten sind.
2. Nehmen Sie dazu für jede Black-Box die Messwerte für ein I - U -Diagramm auf.
3. Untersuchen Sie den elektrischen Widerstand einer Glühlampe und eines Heißleiters im kalten und im heißen Zustand.

Vorbetrachtungen:

1. Interpretieren Sie die folgenden Diagramme und geben Sie für jede graphische Darstellung ein praktisches Beispiel an.



2. Beschreiben Sie das Verhalten von ohmschen Bauelementen, Spulen und Kondensatoren im Gleich- und Wechselstromkreis. Gehen Sie bei Ihren Betrachtungen auf folgende Gesichtspunkte ein:
 - Art und Ursache des elektrischen Widerstandes,
 - experimentelle Bestimmung der Widerstände,
 - zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke,
 - Energieumwandlungen.
3. Nennen Sie Anwendungen von Dioden, Kondensatoren, ohmschen Widerständen, Heißleitern und Spulen. Beschreiben Sie eine Anwendung ausführlich.
4. Der Zusammenhang von Spannung und Stromstärke bei einer Glühlampe ist bei Temperaturänderung nicht linear. Begründen Sie und entwerfen Sie einen Schaltplan zur Untersuchung dieses Zusammenhanges.

5. Auf einer Platine (siehe Abb. 1) soll ein Bauelement ausgewechselt werden, dessen elektrische Daten wie folgt vorliegen:

$$\begin{array}{l} \begin{array}{c} + \quad - \\ \text{---} \bigcirc \quad \bigcirc \text{---} \end{array} \quad U = 5,5 \text{ V} \quad I = 0 \text{ mA} \\ \begin{array}{c} \text{---} \bigcirc \quad \bigcirc \text{---} \\ - \quad + \end{array} \quad U = 5,5 \text{ V} \quad I = 30 \text{ mA} \end{array}$$

Begründen Sie, um welches Bauelement es sich handeln könnte.

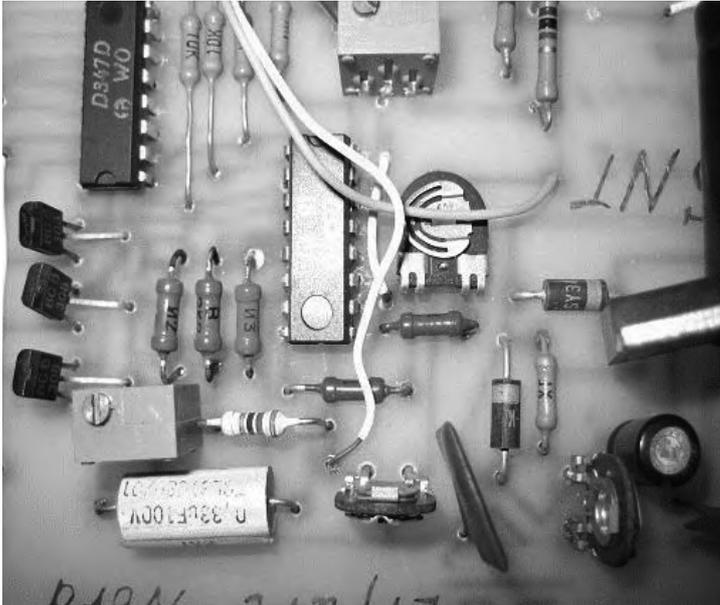


Abb.1

Durchführung:

Für die experimentelle Aufgabe ist der folgende Schaltplan (Abb.2) vorgesehen. Notieren Sie alle erforderlichen Geräte und fertigen Sie ein vollständiges Protokoll (Aufgaben, Geräte und Hilfsmittel, Messtabellen) an.

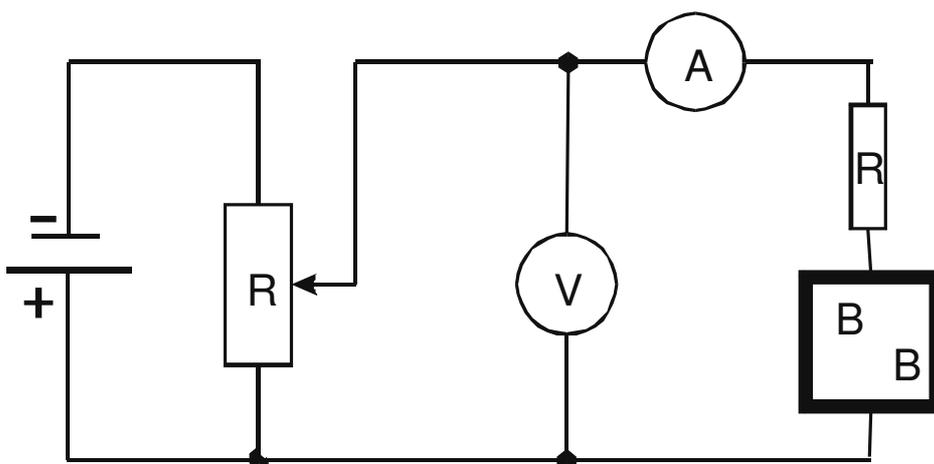


Abb.2

1. Bauen Sie die Experimentieranordnung nach der Schaltung in Abb. 2 mit einer Black-Box auf. Verwenden Sie am Stromversorgungsgerät die Buchsenkombination 2–8.
2. Stellen Sie für Gleichspannung, aber mit Wechsel der Polarität fest, ob ein Strom durch die Black-Box fließt oder nicht. Notieren Sie das Versuchsergebnis.

- Führen Sie das Experiment mit den anderen drei Black-Box unter den gleichen Bedingungen durch, schalten Sie hierbei beim Schaltungsumbau das SVG jeweils aus.
- Für die Aufnahme der Messwerte zur Darstellung der $I-U$ -Diagramme wird die Spannung mithilfe des Potentiometers (veränderlicher Widerstand) von 0 V bis 6 V in 0,5 V Schritten verändert. Messen Sie für die einzelnen Black-Box bei diesen Spannungen die entsprechenden Stromstärken. Protokollieren Sie die Messwerte.
- Lassen Sie Ihren Schaltungsentwurf zur Untersuchung des Zusammenhanges von Spannung und Stromstärke bei einer Glühlampe vom Lehrer kontrollieren und bauen Sie diesen nach Zustimmung auf. Messen Sie für Spannungen von 0 V bis 6 V die Stromstärke und protokollieren Sie die Messwerte.

Hinweise:

- Halten Sie die Experimentieranordnung nur solange wie nötig unter Spannung.
- Lassen Sie die Schaltungen nach dem Aufbau vom Lehrer kontrollieren.
- Stellen Sie vor jedem Einschalten einer elektrischen Schaltung alle Messgeräte auf den größten Gleichstrom-Messbereich von 1000 mA ein.
- Überprüfen Sie die Messwerte kritisch, ob Sie ihren Erwartungen entsprechen.

Auswertung:

- Stellen Sie Ihre Messwerte für jede Black-Box in einem $I-U$ -Diagramm dar.
- Entscheiden Sie anhand dieser Darstellungen, welches Bauelement sich in der jeweiligen Black-Box befindet. Begründen Sie ihre Entscheidung und vergleichen Sie mit Ihren Ergebnissen zu Durchführung 2 bzw. 3.
- Berechnen Sie für alle Black-Box, in denen Sie einen ohmschen Widerstand vermuten, den elektrischen Widerstand. Verwenden Sie dazu alle Wertepaare und bilden Sie den Mittelwert.
- Stellen Sie Ihre Messwerte für das Experiment mit der Glühlampe in einem $U-I$ -Diagramm graphisch dar und interpretieren Sie den Kurvenverlauf. Vergleichen Sie mit Ihren Vorbetrachtungen zu 4.
- Nennen Sie mögliche subjektive und objektive Messfehler und schätzen Sie deren Einfluss auf die Messergebnisse ein.

Zusatzaufgabe:

- Halbleiterdioden eignen sich besonders zur Gleichrichtung von Wechselspannungen. Bauen Sie zur Glättung einer gleichgerichteten Wechselspannung eine Experimentierschaltung (siehe Abb. 3) auf und schließen Sie mithilfe des Lehrers einen Oszillographen an. Vergleichen Sie das Oszillographenbild einer Wechselspannung mit dem erzeugten Oszillographenbild und skizzieren Sie beide Darstellungen auf Ihr Protokollblatt. Erklären Sie die Unterschiede.

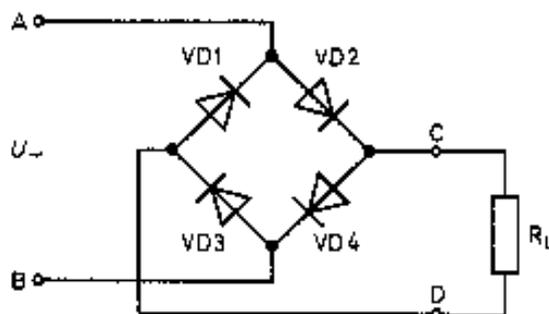


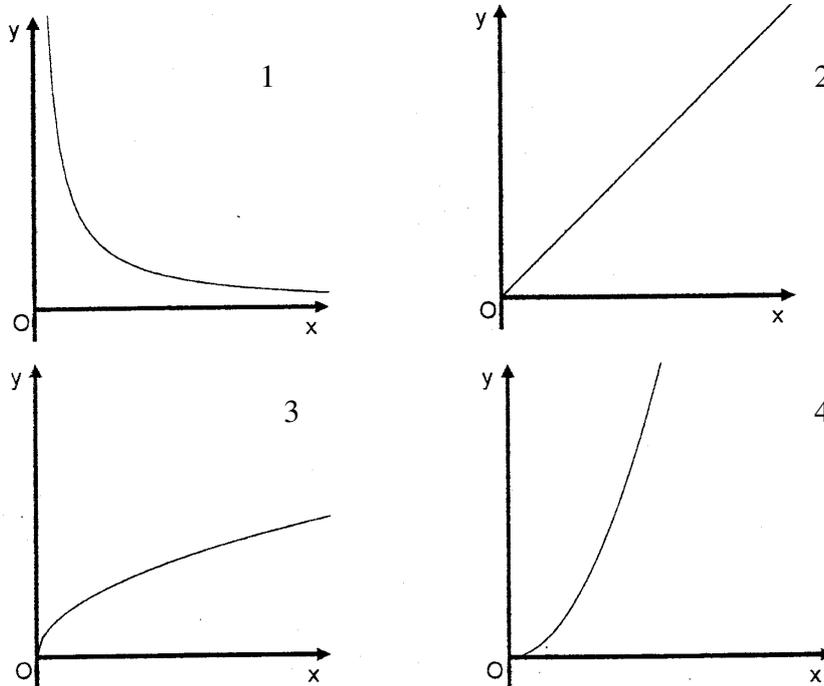
Abb. 3: C und D sind die Anschlusspunkte für den Oszillographen

Aufgaben:

1. Untersuchen Sie durch Strom- und Spannungsmessung, in welcher der 4 vorliegenden Black-Boxen sich eine Spule, ein Kondensator, eine Diode, ein Heißleiter oder ein Ohm'scher Widerstand befinden.
2. Untersuchen Sie durch Erstellen einer I - U -Kennlinie das Widerstandsverhalten einer Glühlampe.

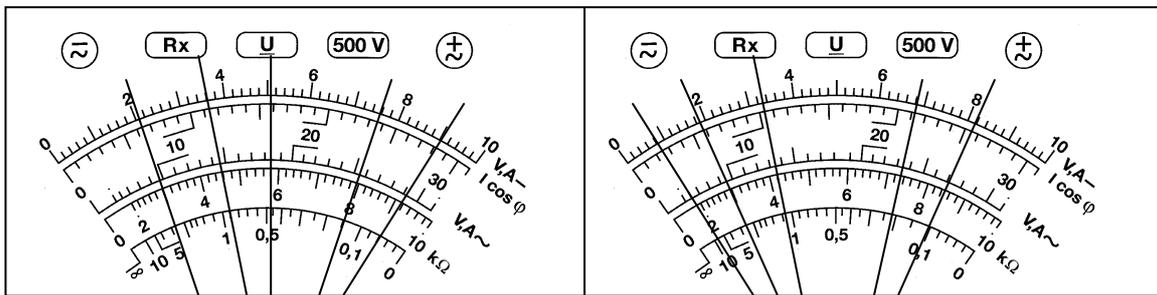
Vorbetrachtungen:

- 1.1. Interpretieren Sie die folgenden Diagramme aus mathematischer Sicht.



- 1.2. Beziehen Sie jedes Diagramm auf einen Vorgang aus der Physik, Chemie, Biologie oder einer anderen Naturwissenschaft, indem Sie die Variablen x und y durch entsprechende Größen ersetzen (z. B. x = Zeit; y = Säurekonzentration).
- 2.1 Nennen Sie jeweils eine Anwendung von Diode, Kondensator, Ohmschen Widerstand, Heißleiter und Spule.
- 2.2 Beschreiben Sie von diesen Bauelementen:
 - die Ursachen der elektrischen Widerstände,
 - die Unterschiede der elektrischen Widerstände im Gleich- und Wechselstromkreis und
 - den Verlauf des U - I -Diagrammes im Gleichstromkreis.
2. Wenn ein an eine konstante Spannung angeschlossener Metalldraht allmählich erwärmt wird (z.B. durch eine Flamme), dann sinkt mit zunehmender Temperatur die Stärke des fließenden Stromes. Geben Sie hierfür eine Erklärung.

- 3.1 Informieren Sie sich über den Unterschied zwischen strom- und spannungsrichtigen Schaltungen von Spannungs- und Stromstärkemessgeräten und über subjektive und objektive Messfehler.
- 3.2 Entwerfen Sie eine Schaltskizze von einem Experiment, mit dem Sie in der Lage sein werden, die Untersuchungen der Aufgaben 1 und 2 durchzuführen.
- 3.3 Machen Sie sich mit einem Schülerstromversorgungsgerät, dem Schülermessgerät und einem Potentiometer vertraut. Bitten Sie zu diesem Zweck ggf. Ihren Physiklehrer um Unterstützung.
- 3.4 Führen Sie die folgenden Ableseübungen durch. Füllen Sie die folgenden Tabellen aus und vergleichen Sie sie mit Ihrem Experimentierpartner.
- bedeutet Gleichspannung bzw. Gleichstrom
 - ~ bedeutet Wechselspannung bzw. Wechselstrom



A B C D E

A B C D E

Zeigerstellung	A	B	C	D	E
Messbereich 10 V =					
U in V					
Messbereich 1 V ~					
U in V					

Zeigerstellung	A	B	C	D	E
Messbereich 30 V ~					
U in V					
Messbereich 3 V =					
U in V					

Zeigerstellung	A	B	C	D	E
Messbereich 10 mA ~					
I in mA					
Messbereich 1 mA =					
I in mA					
Messbereich 1000 mA ~					
I in mA					

Zeigerstellung	A	B	C	D	E
Messbereich 30 mA =					
I in mA					
Messbereich 3 mA ~					
I in mA					
Messbereich 300 mA =					
I in mA					

Aufgaben:

1. Ermitteln Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie eines PEM-Elektrolyseurs.
2. Bestimmen Sie den Energiewirkungsgrad dieses PEM-Elektrolyseurs.

Vorbetrachtungen:

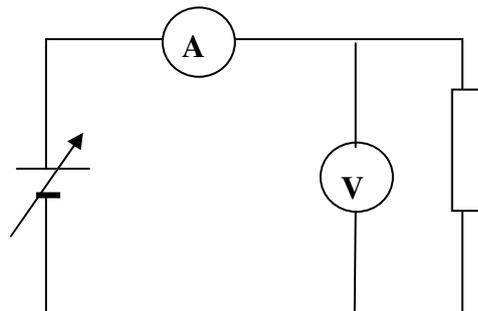
Bearbeiten Sie folgende Fragen schriftlich.

1. Erläutern Sie den Begriff Brennstoffzellentechnologie.
2. Beschreiben Sie den Aufbau eines PEM-Elektrolyseurs und erläutern Sie, welche chemischen Vorgänge in diesem Elektrolyseur ablaufen.
3. Beschreiben Sie den Aufbau einer Brennstoffzelle und erläutern Sie die chemischen Umwandlungsprozesse in der Brennstoffzelle.
4. Nennen Sie drei Anwendungsbeispiele der Brennstoffzelle und erläutern Sie ein Beispiel ausführlich.

Durchführung:*Aufgabe 1*

Versuchsaufbau

regelbare
Spannungsquelle



PEM-Elektrolyseur

Hinweise:

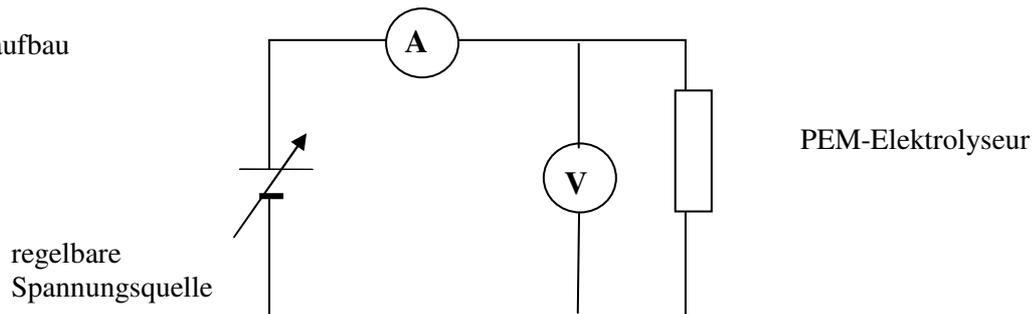
- Der PEM-Elektrolyseur ist bereits mit destilliertem Wasser gefüllt.
- Stellen Sie die Spannungen an der Spannungsquelle in 0,1 V Schritten kontinuierlich von 0 V bis maximal 2 V höher und notieren Sie die entsprechenden Stromstärken in einer Tabelle.
- Warten Sie zwischen den Messungen etwa 20 Sekunden, um repräsentative Werte zu erhalten.
- Achten Sie auf die einsetzende Gasproduktion und markieren Sie die dazugehörige Spannung in der Tabelle.

Auswertung

1. Stellen Sie die aufgenommenen Wertepaare in einem I - U -Diagramm graphisch dar.
2. Die sich ergebende Kurve ist die Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs. Zeichnen Sie diese ein und markieren Sie den Schnittpunkt der stark ansteigenden Geraden mit der Spannungsachse.
3. Interpretieren Sie die gewonnenen Ergebnisse und führen Sie eine Fehleranalyse durch.

Aufgabe 2

Versuchsaufbau



Zusätzlich wird eine Stoppuhr benötigt.

Hinweise:

- Der PEM-Elektrolyseur ist bereits mit destilliertem Wasser gefüllt. Füllen Sie gegebenenfalls destilliertes Wasser nach.
- Stellen Sie einen Spannungswert $U = 1,8 \text{ V}$ an der regelbaren Spannungsquelle ein und lassen Sie das System mehrere Minuten Gas produzieren.
- Schalten Sie die Spannungsquelle aus und öffnen Sie die Ausgangsventile der Gasspeicher, um produzierte Gase vollständig zu entfernen. Der Wasserspiegel muss nun mit 0 cm^3 deckungsgleich sein.
- Schalten Sie nun die Spannungsquelle wieder ein und starten Sie die Zeitmessung.
- Notieren Sie die am Elektrolyseur anliegende Spannung und die durch ihn fließende Stromstärke.
- Notieren Sie bei markanten Skalenstrichen auf dem H_2 -Gasspeicher jeweils die Zeit, die Spannung und die Stromstärke.
- Die letzte Messung wird gemacht, wenn der Wasserstoffspeicher maximal mit Gas gefüllt ist.
- Schalten Sie die Spannungsquelle aus.

Auswertung:

Der energetische Wirkungsgrad des Elektrolyseurs gibt an, wie viel der zugeführten elektrischen Energie E_{el} als tatsächlich nutzbare Energie (chemische Energie des Wasserstoffs) den Elektrolyseur verlassen.

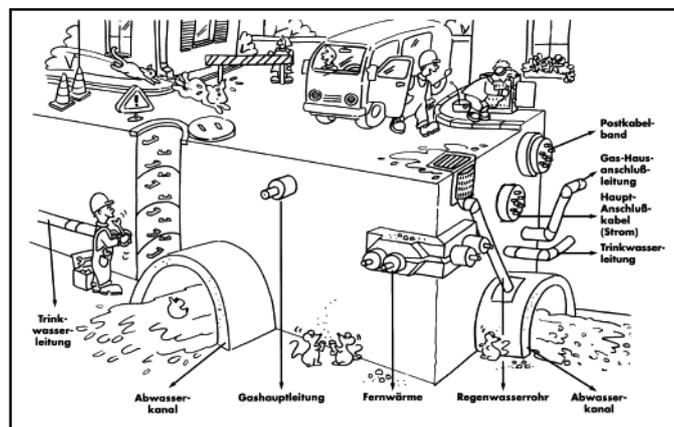
Die chemische Energie des Wasserstoffs ergibt sich aus $E_{chem} = H \cdot V$ mit $H = 11,745 \text{ J cm}^{-3}$. V ist das Volumen des erzeugten Wasserstoffs.

1. Stellen Sie das produzierte Gasvolumen in Abhängigkeit von der Zeit in einem Diagramm grafisch dar.
2. Bestimmen Sie den energetischen Wirkungsgrad des PEM-Elektrolyseurs.
3. Diskutieren Sie die erhaltenen Ergebnisse und führen Sie eine Fehleranalyse durch.

„Nie war Natur und ihr lebendiges Fließen
auf Tag und Nacht und Stunden angewiesen.
Sie bildet regelnd jegliche Gestalt
und selbst im Großen ist es nicht Gewalt.“

J.W. von Goethe

Die Art des Stoffes wird heute kaum noch mit Hilfe der Dichte bestimmt. Dafür gibt es andere Verfahren. Soll aber z. B. entschieden werden, ob ein Körper vollständig aus einem bekannten Stoff besteht, so ist eine Grundvoraussetzung die Kenntnis der Dichte des Stoffes.



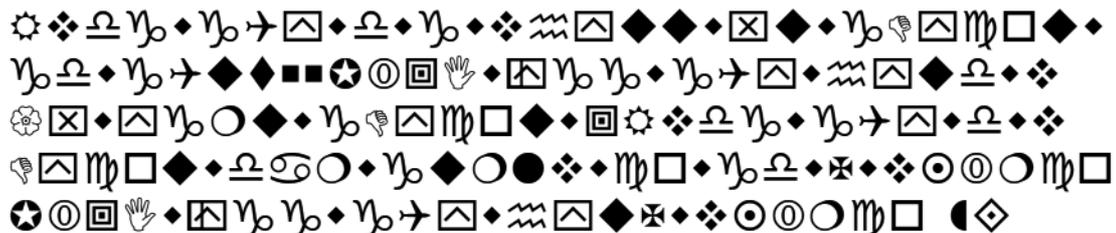
(Quelle: EV AG Baden-Württemberg)

Was ist alles notwendig, bis die vielen kleinen Dinge des täglichen Lebens in unseren Haushalt gelangen und wieder entsorgt werden?
Welche Umweltbelastungen ergeben sich nur allein aus der Produktion von Stoffen? Sind manche Zusammensetzungen von Stoffen vermeidbar bei gleichen Eigenschaften?

In dieser Praktikumsaufgabe beschäftigen wir uns daher mit der Dichte von Stoffen.

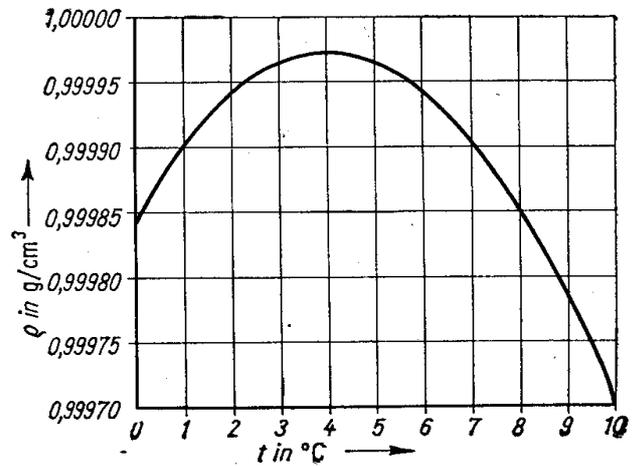
Aufgaben:

- Bestimmen Sie die Dichte von verschiedenen Körpern.
- Der folgende codierte Text gibt Ihnen eine zweite Aufgabe.

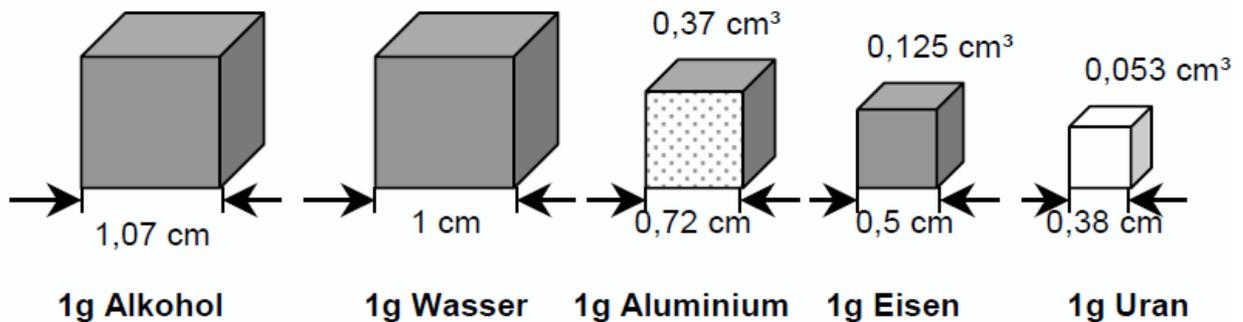


Vorbetrachtungen:

1. Neben der Angabe der Dichte gibt es noch andere stoffkennzeichnende Größen und Konzentrationsmaße. Erläutern Sie zur Unterscheidung und Abgrenzung zur Dichte folgende Begriffe: Dichte, Masseprozent, Volumenprozent und Molarität.
2. Erläutern Sie folgendes Diagramm.



3. Bearbeiten Sie das im Anhang befindliche Arbeitsblatt „Anomalie des Wassers“.
4. Interpretieren Sie folgende Darstellung der Würfel unter Berücksichtigung der Gleichung zur Berechnung der Dichte.



Für die Aufgaben 1 und 2 sind folgende Geräte und Körper vorgesehen:

zu 1.
Messschieber und Präzisionswaage
Wägesatz aus der Physik



Sortiment Körper zur Dichtebestimmung
und Ergänzung



zu 2.



Durchführung:

- 1.1. Bestimmen Sie Masse und Volumen der vorgegebenen Körper. Protokollieren Sie alle Messwerte.
- 1.2. Zeichnen Sie in einem $m - V$ - Diagramm die Messwerte für drei Stoffe ein.
2. Ermitteln Sie von den fünf neu vorgegebenen Körpern die Dichte.

Körper Nr.	Masse in g	Volumen in cm^3	Dichte in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Bemerkungen
1				
2				
3				
4				
5				

Auswertung:

1. Interpretieren Sie das $m - V$ - Diagramm aus Aufgabe 1 unter Berücksichtigung der Dichte eines Stoffes.
- 2.1. Entschlüsseln Sie den Text aus Aufgabe 2. Nutzen Sie den dazu unten angegebenen Code.
- 2.2. Notieren Sie die entsprechenden Antworten auf ihrem Protokoll.
3. Führen Sie eine Fehlerbetrachtung durch. Unterscheiden Sie nach objektiven und subjektiven Fehlern.

Codeschlüssel für die Aufgabenstellung

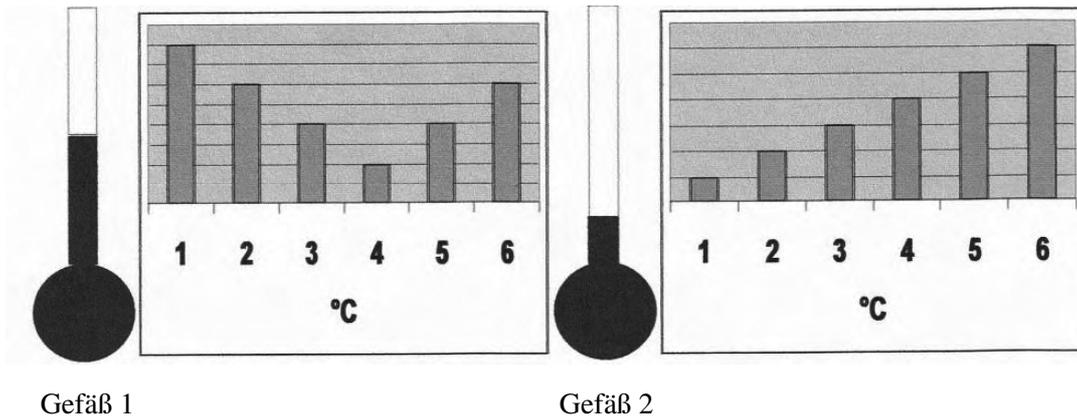
A =	a =	B =	b =
C =	c =	D =	d =
E =	e =	F =	f =
G =	g =	H =	h =
I =	i =	J =	j =
K =	k =	L =	l =
M =	m =	N =	n =
O =	o =	P =	p =
Q =	q =	R =	r =
S =	s =	T =	t =
U =	u =	V =	v =
W =	w =	X =	x =
Y =	y =	Z =	z =
Ä =	ä =	Ö =	ö =
Ü =	ü =		

! =	? =	, =	. =	; =
: =	- =			

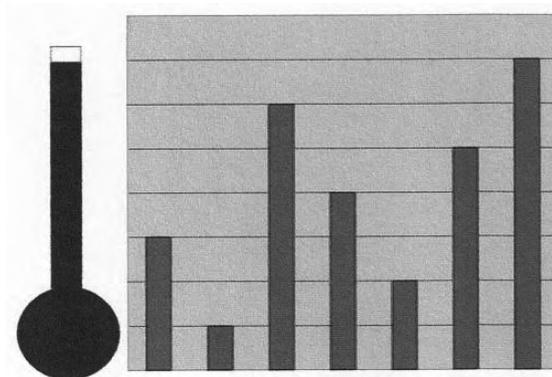
1 =	2 =	3 =	4 =	5 =
6 =	7 =	8 =	9 =	0 =

Arbeitsblatt Die Anomalie des Wassers

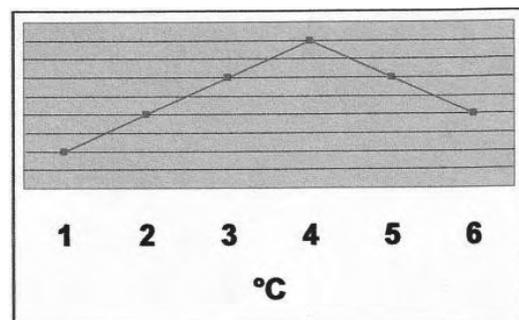
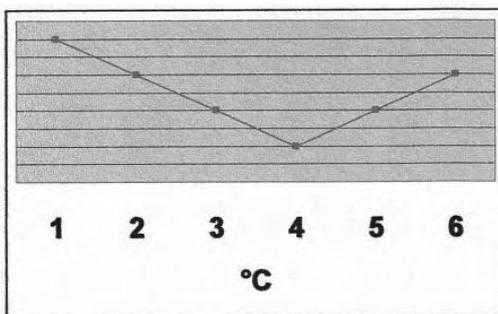
1. Geben Sie an, in welchem Gefäß sich Wasser und in welchem Gefäß sich eine andere Flüssigkeit befindet. Begründen Sie Ihre Aussage.



2. Schließen Sie aus der Höhe der Wassersäulen im Bild unten auf die Temperatur des Wassers. (Der Temperaturunterschied zwischen den Skalenstrichen beträgt 2K.)



3. Geben Sie an, in welchem Diagramm der Bilder 1 und 2 die Dichteänderung und in welchem die Volumenänderung dargestellt ist. Begründen Sie.

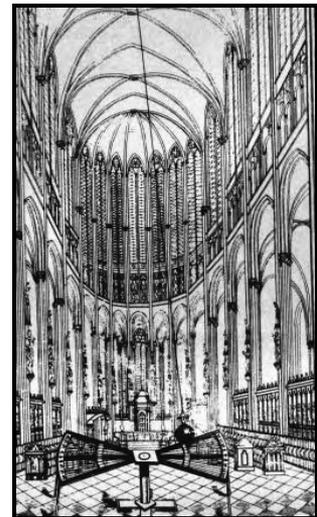


Aufgaben:

1. Untersuchen Sie für zwei verschiedene Massen die Abhängigkeit der Schwingungsdauer eines Fadenpendels von der Pendellänge und bestimmen Sie mithilfe der Messdaten die Fallbeschleunigung g .
2. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Fallzeit eines Körpers vom Fallweg und bestimmen Sie mithilfe der Messdaten die Fallbeschleunigung g .
3. Untersuchen Sie das Fallverhalten von Steinen in einem mit Wasser gefüllten Plastik-Messzylinder.
4. Vergleichen Sie das Fallen von Stahlkugeln mit dem eines Vierkantholzes.

Vorbetrachtungen:

1. Nehmen Sie zu den folgenden Thesen schriftlich Stellung:
 - Ein Körper kann schneller fallen als nach den Gesetzen vom freien Fall.
 - Körper fallen mit einer Geschwindigkeit proportional zu ihrer Masse.
 - Lawinen gehorchen nicht immer dem Gesetz des freien Falls.
2. Informieren Sie sich anhand geeigneter Literatur und des Internets über die Fallexperimente von Galilei. Wie gelang es ihm, im Mittelalter bereits sehr kurze Zeiten zu messen? So schreibt er in einem seiner Werke: *...Häufig wiederholten wir den Versuch zur genaueren Ermittlung der Zeit und fanden gar keine Unterschiede, auch nicht einmal von einem zehnten Teil eines Pulsschlages....“*
3. Notieren Sie die Gleichungen zur Berechnung der Schwingungsdauer eines Fadenpendels und das Weg-Zeit-Gesetz für den freien Fall. Interpretieren Sie beide Gleichungen.
4. Mithilfe eines großen Pendels ist es möglich, die Erddrehung nachzuweisen. Dies gelang zum ersten Mal 1851 dem Franzosen J. B. Foucault. Informieren Sie sich über dieses Experiment, beschreiben Sie die Durchführung und erklären Sie das Ergebnis. Berechnen Sie auch die Schwingungsdauer des verwendeten Pendels.
5. Eine Pendeluhr wird aus einem kalten Vorraum in ein warmes Wohnzimmer gestellt. Wie wirkt sich dies auf die Ganggenauigkeit aus? Begründen Sie.
6. Bereiten Sie ein ausführliches Protokoll (Aufgaben, Geräte und Hilfsmittel, Messtabellen) vor.



Der Pendelversuch von Foucault im Dom zu Köln im Jahre 1852

Versuchsaufbauten:

Abb. 1: Fadenpendel

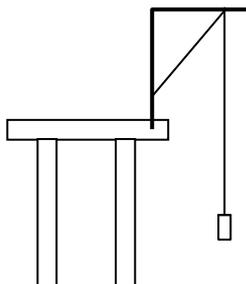


Abb. 2: Falleinrichtung

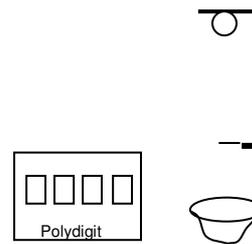


Abb. 3: Glaszylinder mit Wasser und Steinen

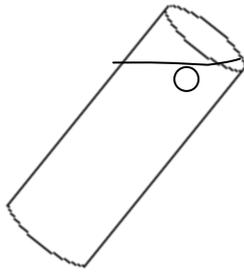
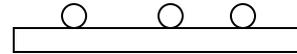


Abb. 4: Vierkantholz mit Kugeln



Durchführung der Experimente:

1. Bauen Sie das Experiment nach der Abb. 1 auf. Das Pendel muss auch bei einer Pendellänge von 1 m frei schwingen können.

Beachten Sie: Um die Abhängigkeit der Schwingungsdauer T von der Pendellänge l zu untersuchen, muss die Masse des Pendelkörpers und die Auslenkung stets konstant gehalten werden.

- Bestimmen Sie für eine Pendellänge von 1 m die Zeit t für 10 Schwingungen ($m = 100$ g, $\alpha < 20^\circ$) und berechnen Sie die Schwingungsdauer T .
- Notieren Sie die Werte in einer Tabelle.
- Wiederholen Sie die Messungen für fünf andere Pendellängen. (Die Pendellänge kann durch Verschieben des Hakens am senkrechten Stativstab verändert werden (Abb. 1).
- Achten Sie stets auf die gleiche Anfangsauslenkung α .
- Wiederholen Sie das Experiment für eine Masse des Pendelkörpers von 50 g.

l in m	n	t in s	T in s	g in m/s ²
	10			
	10			

2. Bauen Sie das Experiment nach der Abb. 2 auf.

- Bestimmen Sie für einen Fallweg von 80 cm die Fallzeit in drei Messungen und berechnen Sie den Mittelwert der Zeitmessung.
- Wiederholen Sie das Experiment für vier andere Fallwege.

l in m	t_1 in s	t_2 in s	t_3 in s	t in s	g in m/s ²

3. Untersuchen Sie das Fallverhalten von kleinen Steinen im wassergefüllten **Plastik**-Messzylinder.

- Bestimmen Sie die Zeit, die die Steine zum Fallen benötigen, wenn der Messzylinder drei verschiedene Neigungen (auch senkrecht) annimmt.
- Notieren Sie Ihre Messwerte in einer Tabelle! Zur Angabe der jeweiligen Neigung des Messzylinders verwenden Sie bitte den Tafelwinkelmesser.

4. Vergleichen Sie das Fallen von Kugeln mit dem eines Vierkantholzes.

- Legen Sie die Kugeln in die Vertiefungen des Brettes. Lassen Sie alles zusammen gleichzeitig fallen und beobachten Sie.
- Im zweiten Teilversuch wird das Holz an der Schlaufe festgehalten und die andere Seite wird losgelassen. Beobachten Sie und notieren Sie ihre Beobachtungen.

Auswertung:

Experiment 1:

1. Stellen Sie die Messwerte von Experiment 1 in einem Schwingungsdauer-Pendellänge-Diagramm für beide Massen dar. Beschreiben Sie den Verlauf des Graphen. Formulieren Sie das Ergebnis in Worten.
2. Berechnen Sie jeweils die Fallbeschleunigungen und geben Sie für jedes Telexperiment ($m = 100 \text{ g}$ bzw. 50 g) den Mittelwert der Fallbeschleunigung an.
3. Vergleichen Sie Ihre Werte der Schwingungsdauer für verschiedene Massen des Pendelkörpers. Formulieren Sie das Ergebnis in Worten.
4. Berechnen Sie für zwei ausgewählte Pendellängen mit Hilfe der Gleichung für T die Schwingungsdauer und vergleichen Sie mit Ihren Messwerten.
5. Versuchen Sie, anhand von möglichen subjektiven und objektiven Messfehlern eine Erklärung für die evtl. Abweichungen zu finden. Notieren Sie diese.
6. Berechnen Sie, welchen Einfluss eine um $0,1$ Sekunden falsche Messung auf Ihr Ergebnis hat. Geben Sie diesen Fehler auch in Prozent an.

Experiment 2:

1. Berechnen Sie mit den jeweiligen Mittelwerten der Fallzeiten die Fallbeschleunigung für die einzelnen Fallwege.
2. Berechnen Sie den Mittelwert der Fallbeschleunigung und versuchen Sie, anhand von möglichen subjektiven und objektiven Messfehlern eine Erklärung für die evtl. Abweichungen zu finden. Notieren Sie diese.
3. Berechnen Sie, welchen Einfluss eine um $0,1$ Sekunden falsche Messung auf Ihr Ergebnis hat. Geben Sie diesen Fehler auch in Prozent an.
4. Ermitteln Sie für eine von Ihnen im Experiment genutzte Länge bzw. Höhe die Schwingungsdauer bzw. Fallzeit, die auf dem Mond gemessen worden wäre. Geben Sie eine kurze Begründung für die unterschiedlichen Werte für Erde und Mond an.

Experiment 3:

1. Vergleichen Sie die Fallzeiten von Steinen im wassergefüllten Plastik-Messzylinder bei verschiedenen Neigungen. Formulieren Sie eine Erklärung.

Experiment 4:

1. Vergleichen Sie das Fallverhalten der Kugeln mit und ohne Vierkantholz. Formulieren Sie eine Erklärung.

Vergleichen Sie abschließend Ihre Aussagen zu den Thesen (s. Vorbetrachtungen) mit den Ergebnissen Ihrer Experimente.

Aufgaben:

1. Untersuchen Sie für zwei verschiedene Massen die Abhängigkeit der Schwingungsdauer eines Fadenpendels von der Pendellänge und bestimmen Sie mithilfe der Messdaten die Fallbeschleunigung g .
2. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Fallzeit eines Körpers vom Fallweg und bestimmen Sie mithilfe der Messdaten die Fallbeschleunigung g .
3. Vergleichen Sie das Fallen von Stahlkugeln mit dem eines Vierkantholzes.

Vorbetrachtungen:

1. Nehmen Sie zu den folgenden Thesen schriftlich Stellung:
 - Ein Körper kann schneller fallen als nach den Gesetzen vom freien Fall.
 - Körper fallen mit einer Geschwindigkeit proportional zu ihrer Masse.
2. Informieren Sie sich anhand geeigneter Literatur und des Internets über die Fallexperimente von Galilei. Wie gelang es ihm, im Mittelalter bereits sehr kurze Zeiten zu messen? So schreibt er in einem seiner Werke: *...Häufig wiederholten wir den Versuch zur genaueren Ermittlung der Zeit und fanden gar keine Unterschiede, auch nicht einmal von einem zehnten Teil eines Pulsschla- ges....“*
3. Mithilfe eines großen Pendels ist es möglich, die Erddrehung nachzuweisen. Dies gelang zum ersten Mal 1851 dem Franzosen J. B. Foucault. Informieren Sie sich über dieses Experiment, beschreiben Sie die Durchführung und erklären Sie das Ergebnis. Berechnen Sie auch die Schwingungsdauer des verwendeten Pendels.
4. Notieren Sie die Gleichung zur Berechnung der Schwingungsdauer eines Fadenpendels und das Weg-Zeit-Gesetz für den freien Fall. Interpretieren Sie beide Gleichungen.
- 5.1 Entwickeln Sie eine Messwerttabelle, die geeignet ist, die Messwerte der Experimente bzgl. Aufgabe 1 aufzunehmen und auszuwerten. Achten Sie auf die Hinweise zur Versuchsdurchführung.
- 5.2 Machen Sie sich mit der Experimentieranordnung zur Messung der Fallzeit eines Körpers im Physikraum A 18 vertraut. Bitten Sie zu diesem Zweck ggf. Ihren Physiklehrer um Unterstützung.
- 5.3 Entwerfen Sie auch für diesen Versuchsteil eine Messwerttabelle, die geeignet ist, die Messwerte bzgl. Aufgabe 2 aufzunehmen und auszuwerten. Achten Sie auf die Hinweise zur Versuchsdurchführung.
- 6.1 Erläutern Sie die Begriffe subjektive und objektive Messfehler und überlegen Sie, welchen Einfluss diese auf Ihr Experiment haben können.
- 6.2 Eine Pendeluhr wird aus einem kalten Vorraum in ein warmes Wohnzimmer gestellt. Wie wirkt sich dies auf die Ganggenauigkeit aus? Begründen Sie.
7. Ermitteln Sie für eine Pendellänge bzw. Fallhöhe von 80 cm die Schwingungsdauer bzw. Fallzeit, die vergleichsweise auf dem Mond gemessen würde. Geben Sie eine kurze Begründung für die unterschiedlichen Werte für Erde und Mond an.

Hinweise zur Durchführung:

1. Bauen Sie das Experiment so auf, dass auch bei einer Pendellänge von 1 m das Pendel frei schwingen kann. Verwenden Sie für die Pendelkörper Wägestücke von 50 g bzw. 100 g.
Beachten Sie: Um die Abhängigkeit der Schwingungsdauer T von der Pendellänge l zu untersuchen, müssen die Masse des Pendelkörpers und die Auslenkung ($\alpha < 20^\circ$) stets konstant gehalten werden.
2. Verwenden Sie für diesen Versuchsteil die fest installierte Experimentieranordnung im Physikraum. Bestimmen Sie für **vier** verschiedene Fallwege (dabei sollten diese nicht zu klein gewählt werden) jeweils die Fallzeit mehrmals.
3. Überprüfen Sie das Fallen von Kugeln mit dem eines Vierkantholzes. Legen Sie die Kugeln in die Vertiefungen des Brettes. Lassen Sie alles zusammen gleichzeitig auf einen Teppichboden fallen und beobachten Sie. Im zweiten Teilversuch wird das Holz an der Schlaufe festgehalten und die andere Seite wird losgelassen. Notieren Sie ihre Beobachtungen.

Hinweise zur Auswertung:

Experiment 1:

1. Stellen Sie die Messwerte von Experiment 1 in einem Schwingungsdauer-Pendellänge-Diagramm für beide Massen dar. Beschreiben Sie den Verlauf des Graphen. Formulieren Sie das Ergebnis in Worten.
2. Vergleichen Sie Ihre Werte der Schwingungsdauer für verschiedene Massen des Pendelkörpers. Formulieren Sie das Ergebnis in Worten.
3. Berechnen Sie für zwei ausgewählte Pendellängen mit Hilfe der Gleichung für T die Schwingungsdauer und vergleichen Sie mit Ihren Messwerten.
4. Berechnen Sie jeweils die Fallbeschleunigungen und geben Sie für jedes Telexperiment ($m = 100$ g bzw. 50 g) den Mittelwert der Fallbeschleunigung an.
5. Versuchen Sie, anhand von möglichen subjektiven und objektiven Messfehlern eine Erklärung für die evtl. Abweichungen zu finden. Notieren Sie diese.

Experiment 2:

1. Berechnen Sie mit den jeweiligen Mittelwerten der Fallzeiten die Fallbeschleunigung für die einzelnen Fallwege.
2. Berechnen Sie anschließend den Mittelwert der Fallbeschleunigung und versuchen Sie, anhand von möglichen subjektiven und objektiven Messfehlern eine Erklärung für die evtl. Abweichungen zu finden. Notieren Sie diese.

Experiment 3:

1. Vergleichen Sie das Fallverhalten der Kugeln mit und ohne Vierkantholz. Formulieren Sie eine Erklärung.

Vergleichen Sie abschließend Ihre Aussagen zu den Thesen (Vorbetrachtungen, Nr. 1) mit den Ergebnissen Ihrer Experimente.

Anmerkung:

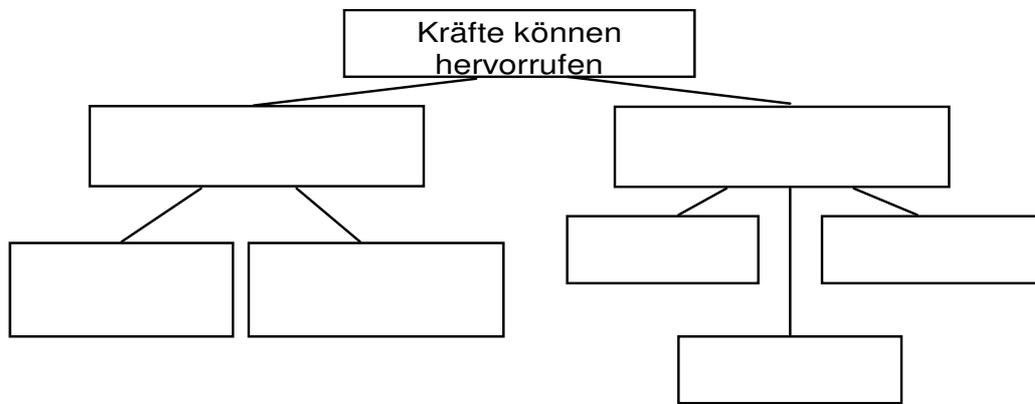
Es ist ratsam, die Vorbetrachtungen und die vorbereitenden Übungen mit dem Experimentierpartner zu vergleichen und zu diskutieren. Überlegen Sie sich auch eine effektive Versuchsdurchführung. Lehrerhilfe darf im Vorfeld natürlich auch beansprucht werden.

Aufgaben:

1. Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen der Verlängerung einer Schraubenfeder und der an ihr wirkenden Kraft und bestimmen Sie die Federkonstante der verwendeten Feder.
2. Bestimmen Sie die Federkonstante der verwendeten Feder mithilfe der Messung der Schwingungsdauer.
3. Untersuchen Sie die Gültigkeit des Hook'schen Gesetzes bei der Dehnung einer Feder senkrecht zu ihrer Längsachse.

Vorbetrachtungen:

Übertragen Sie die folgende Übersicht zu Wirkungen von Kräften auf Ihr Protokollblatt und ergänzen Sie.



1. Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der Masse eines Körpers und seiner Gewichtskraft. Berechnen Sie die Gewichtskraft eines Körpers der Masse 10 kg auf der Erde, dem Mond, dem Jupiter und der Sonne und vergleichen Sie.
2. Übertragen Sie die folgende Tabelle auf Ihr Protokollblatt und ergänzen Sie mit den entsprechenden mathematischen Abhängigkeiten:

$$y \sim \frac{1}{x} \quad \frac{y}{x} = konst. \quad y \sim \sqrt{x} \quad y \cdot x = konst. \quad y \sim x \quad \frac{y}{x^2} = konst.$$

$$y \sim x^2 \quad \frac{y}{\sqrt{x}} = konst.$$

Grafische Darstellung der Abhängigkeit (y-x-Diagramm)				
Vermutlich vorliegende Proportionalität				
Rechnerische Bestätigung der Proportionalität				

- Informieren Sie sich über den Zusammenhang von Schwingungsdauer eines Federschwingers und Federkonstante und geben Sie die entsprechende Gleichung an.
- Bereiten Sie ein ausführliches Protokoll (Aufgaben, Geräte und Hilfsmittel, Messtabellen) vor.

Versuchsaufbauten:

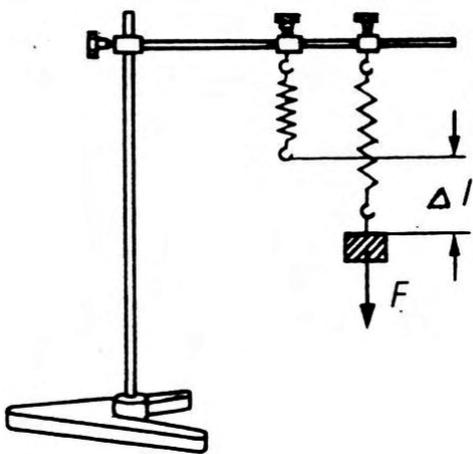


Abb. 1

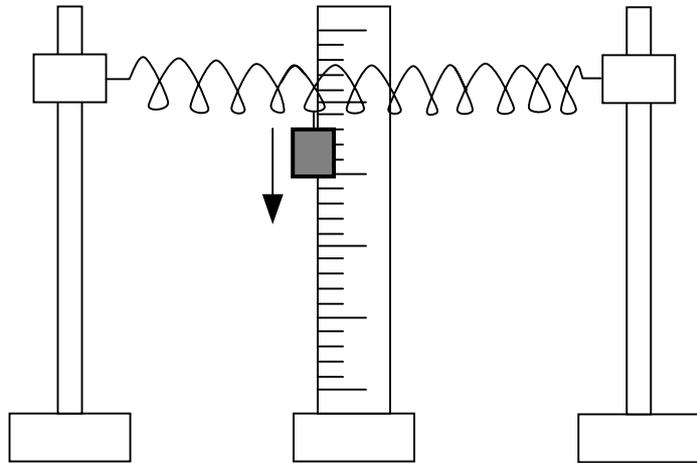


Abb. 2

Durchführung:

- Bauen Sie das Experiment nach der Abb. 1 auf und bestimmen Sie die Dehnung der Feder ohne angehängten Körper (Markierung mit Zeiger 1 am senkrecht stehenden Lineal). Belasten Sie nacheinander mit Hakenkörpern von 10 g, 20 g, ... ,100 g und markieren Sie jeweils die Federlänge der belasteten Feder (Verschieben des Zeigers 2 am Lineal). Bestimmen Sie die Verlängerung Δl der Feder und tragen Sie diese zusammen mit der wirksamen Kraft in die Messwertetabelle nach folgendem Muster auf Ihrem Protokollblatt ein.

Belastung F in N	0											
Verlängerung Δl in cm												
$\frac{F}{\Delta l}$ in $\frac{N}{cm}$												

- Messen Sie für zwei verschiedene Belastungen (50 g und 100 g) die Zeit für jeweils 10 Schwingungen und bestimmen Sie hieraus die Schwingungsdauer der Feder und die Federkonstante.

Muster für die Messwerttabelle:

Masse m in g	Zeit t für 10 Schwingungen in s	Schwingungsdauer T in s	$D = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T^2}$ in $\frac{N}{cm}$
50			
100			

- Bauen Sie das Experiment nach Abb. 2 auf und markieren Sie die Lage der Feder ohne angehängten Körper (Zeiger 1 am senkrecht stehenden Lineal). Belasten Sie die Feder nacheinander senkrecht zu ihrer Längsachse mit Hakenkörpern von 5 g, 10 g, ... , 40 g und markieren Sie jeweils die Dehnung der Feder (Verschieben des Zeigers 2 am Lineal). Bestimmen Sie die seitliche Dehnung Δs der Feder und tragen Sie diese zusammen mit der wirksamen Kraft in eine Tabelle auf Ihrem Protokollblatt ein.

Auswertung:

Experiment 1:

1. Stellen Sie die Messwerte von Experiment 1 in einem Δl - F -Diagramm dar. Interpretieren Sie das Diagramm und bestimmen Sie aus dem Anstieg der Geraden die Federkonstante D . Vergleichen Sie diese mit dem Mittelwert des Quotienten $F/\Delta l$ in Ihrer Messwertetabelle.

Experiment 2:

1. Berechnen Sie mithilfe der experimentell bestimmten Schwingungsdauer für die beiden Massen jeweils die Federkonstante D und vergleichen Sie mit dem Wert von Experiment 1.
2. Versuchen Sie, anhand von möglichen subjektiven und objektiven Messfehlern eine Erklärung für die evtl. Abweichungen zu finden. Notieren Sie diese.

Experiment 3:

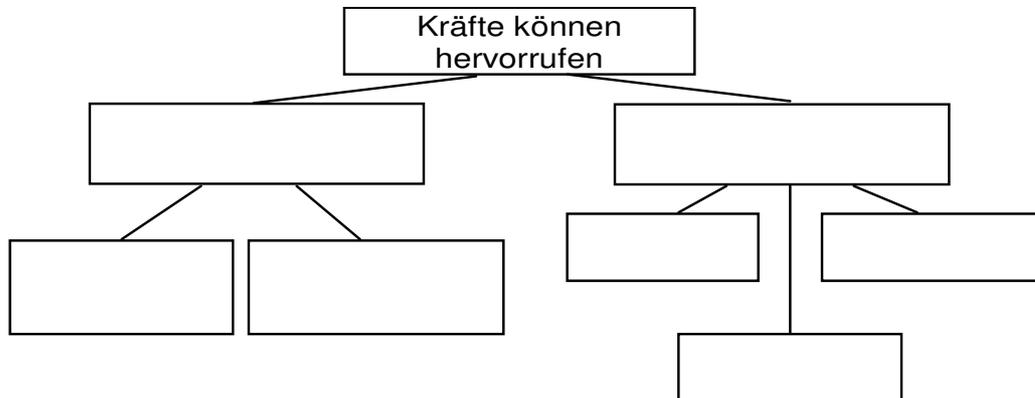
1. Stellen Sie die Messwerte von Experiment 3 ebenfalls in einem Δl - F -Diagramm dar. Interpretieren Sie das Diagramm und ziehen Sie Schlussfolgerungen hinsichtlich der Gültigkeit des Hook'schen Gesetzes.
2. Diskutieren Sie die möglichen subjektiven und objektiven Messfehler und schätzen Sie deren Einfluss auf die Messergebnisse ab.
3. Begründen Sie, warum sich Schraubenfedern besonders gut für den Bau von Kraftmessern eignen. Welche Hinweise zur richtigen Handhabung sollte man für deren Einsatz beachten?

Aufgaben:

1. Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen der Längenänderung Δl einer Schraubenfeder und der verursachenden Zugkraft F .
2. Bestimmen Sie die Federkonstante D (häufig auch mit k bezeichnet) der vorliegenden Feder mithilfe der Messung der Schwingungsdauer T .
3. Untersuchen Sie die Gültigkeit des Hook'schen Gesetzes für den Fall, dass die Zugkraft senkrecht zur Längsachse Schraubenfeder wirkt.

Vorbetrachtungen und vorbereitende Übungen:

- 1.1 Informieren Sie sich über die Auswirkungen, die Kräfte an Körpern hervorrufen können.
- 1.2 Ergänzen Sie die folgende Übersicht:



- 1.3 Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der Masse eines Körpers und seiner Gewichtskraft. Berechnen Sie die Gewichtskraft, die auf einen Körper mit der Masse 10 kg auf der Erde, dem Mond und dem Jupiter wirkt und vergleichen Sie.
- 2.1 Ordnen Sie in der folgenden Tabelle den graphischen Darstellungen die entsprechenden mathematischen Abhängigkeiten zu.

$y \sim \frac{1}{x}$ $\frac{y}{x} = konst.$ $y \sim \sqrt{x}$ $y \cdot x = konst.$ $y \sim x$ $\frac{y}{x^2} = konst.$

$y \sim x^2$ $\frac{y}{\sqrt{x}} = konst.$

Grafische Darstellung der Abhängigkeit (y-x-Diagramm)				
Vermutlich vorliegende Proportionalität				
Rechnerische Bestätigung der Proportionalität				

- 2.2 Vermuten Sie, welcher der vier funktionalen Zusammenhänge bzgl. Aufgabe 1 zu erwarten ist. Führen Sie zu diesem Zweck evtl. ein „Vorexperiment“ mit einem Gummiband durch.
- 2.3 Entwickeln Sie eine Messwerttabelle, die geeignet ist, die Messwerte des Experimentes bzgl. Aufgabe 1 aufzunehmen und auszuwerten.
- 3.1 Informieren Sie sich über den Zusammenhang von Schwingungsdauer T eines Federschwingers und seiner Federkonstante D und geben Sie die entsprechende Gleichung an.
- 3.2 Entwickeln Sie eine geeignete Messwerttabelle bzgl. Aufgabe 2.
- 4.1 Nennen Sie Geräte bzw. Bauteile, in denen sich Schraubenfedern, Blattfedern, Spiralfedern oder Federringe befinden.
- 4.2 Informieren Sie sich, in welchen Bereichen der Biologie, Chemie oder anderer Naturwissenschaften Federwirkungen auftreten. Nennen Sie Beispiele.
- 5 Erläutern Sie die Begriffe subjektive und objektive Messfehler und überlegen Sie, welchen Einfluss diese auf Ihr Experiment haben können.
- 5.1 Trotz größter Gewissenhaftigkeit können die Seitenkanten eines Raumes nicht exakt gemessen werden. Es wurden mit einem Bandmaß (Messfehler $\pm 5\%$) folgende Kantenlängen gemessen: $a = 3\text{ m}$, $b = 5\text{ m}$, $c = 8\text{ m}$. Der exakte Wert der Kantenlänge a liegt also im Intervall von $2,85\text{ m} \leq a \leq 3,15\text{ m}$. Geben Sie die Intervalle für die beiden anderen Kantenlängen und für das Volumen des Raumes an.

Anmerkung:

Es ist ratsam, die Vorbetrachtungen und die vorbereitenden Übungen mit dem Experimentierpartner zu vergleichen und zu diskutieren. Lehrerhilfe darf im Vorfeld natürlich auch beansprucht werden.

Aufgaben:

1. Nehmen Sie für zwei gekoppelte Fadenpendel die Resonanzkurve auf und ermitteln Sie die Resonanzfrequenz f_R .
2. Bestimmen Sie ohne Kopplung die Eigenfrequenz f_0 des Schwingers für die Pendellänge l , bei der die maximale Resonanzamplitude beobachtet wird.
3. Bestimmen Sie ohne Kopplung die Erregerfrequenz f_E .

Vorbetrachtungen:

1. Erläutern Sie mit Hilfe geeigneter Diagramme die Begriffe ungedämpfte und gedämpfte Schwingung und geben Sie jeweils die Energieumwandlungen an.
2. Erläutern Sie den Unterschied zwischen Eigenschwingungen und erzwungenen Schwingungen.
3. Erläutern Sie den Begriff Resonanz und zeichnen Sie eine typische Resonanzkurve.
4. Wovon hängt bei einem Fadenpendel die Eigenfrequenz ab? Berechnen Sie diese für eine Pendellänge von 1 m.
5. Informieren Sie sich anhand geeigneter Quellen über die große technische Bedeutung der Resonanz und wählen Sie zwei Beispiele aus, die Sie ausführlicher beschreiben (Musikinstrumente, Laser, Senderwahl im Radio, Atomuhren, Teilchenbeschleuniger, Stoßdämpfertest, Resonanzkatastrophen, z. B. der Einsturz der Tacoma-Narrows-Hängebrücke 1940).
6. Bei der Messung der Gravitations-Rotverschiebung, einem Effekt, der von Albert Einstein für das Licht auf der Basis seiner Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt wurde, wurde 1960 an der Harvard Universität durch die Physiker Pound und Rebka die Resonanz von γ -Strahlung im atomaren Bereich genutzt. Informieren Sie sich über dieses Experiment und die damit nachgewiesene Rotverschiebung.
7. Bereiten Sie ein ausführliches Protokoll (Aufgaben, Geräte und Hilfsmittel, Messtabellen) vor.

Experimentieranordnung:

Messwerte: (Muster für das Protokoll)

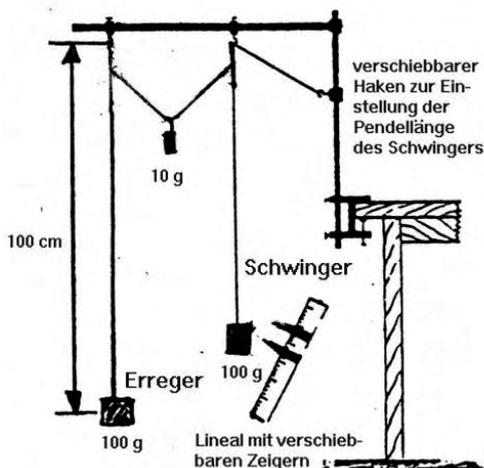


Abb.1

Länge des Erregerpendels $l_{err} = 100$ cm

Länge des Schwingers l in m	70	80	90	100	110	120
Amplitude y_{max} in cm						

Resonanzfrequenz: $n = 10$ $t =$ s $f_R = \frac{n}{t} =$ = Hz

Eigenfrequenz: $n = 10$ $t =$ s $f_0 =$ = = Hz

Erregerfrequenz: $n = 10$ $t =$ s $f_{err} =$ = = Hz

Durchführung:

1. Bauen Sie das Experiment entsprechend Abb. 1 auf. Achten Sie auf die richtige Pendellänge des Erregers (gemessen von der Aufhängung bis zur Mitte (Schwerpunkt) des Pendelkörpers).
2. Stellen Sie zunächst eine Pendellänge von $l_s = 70$ cm für den Schwinger ein und lenken Sie das Erregerpendel aus. Der Auslenkwinkel soll maximal 10° betragen und bei allen Messungen möglichst gleich sein.
3. Messen Sie mit Hilfe des waagrecht gehaltenen Lineals und den zwei verschiebbaren Zeigern die größte Amplitude des Schwingers und tragen Sie diese in die Tabelle ein.

Hinweis: Als günstig für die Messung erweist es sich, die Gesamtauslenkung des Schwingers zu bestimmen und anschließend zu halbieren.

Fehlerhinweise:

Der Schwinger wirkt stark auf das Erregerpendel zurück

Der Schwinger wird kaum angeregt.

Verschieben Sie die Kopplung nach oben.

Verschieben Sie die Kopplung nach unten.

4. Wiederholen Sie die Messung jeweils für die anderen Pendellängen l_s des Schwingers.
5. Bei welcher Pendellänge war die Amplitude am größten? Stellen Sie diesen Wert wieder ein und bestimmen Sie die Resonanzfrequenz. Notieren Sie diesen Wert.
6. Lösen Sie die Kopplung und bestimmen Sie für den Resonanzfall sowohl die Eigenfrequenz als auch die Erregerfrequenz. Notieren Sie die Werte.

Auswertung:

1. Stellen Sie die Messergebnisse aus der Tabelle in einem Amplitude-Pendellänge-Diagramm dar.
2. Verbinden Sie die Messpunkte durch eine Kurve und vergleichen Sie diese Darstellung mit Ihren Vorüberlegungen.
3. Entnehmen Sie aus dem Diagramm die Pendellänge für den Resonanzfall und berechnen Sie zuerst die Schwingungsdauer und dann die Frequenz. Vergleichen Sie mit Ihrem Messwert.
4. Vergleichen Sie die Messwerte für die Erregerfrequenz und die Eigenfrequenz im Resonanzfall. Formulieren Sie die Ergebnisse des Versuches.
5. Nennen Sie mögliche subjektive und objektive Messfehler und schätzen Sie deren Einfluss auf die Messergebnisse ein.

Aufgabe:

- Bestimmen Sie die Wellenlänge von rotem und blauem Licht.

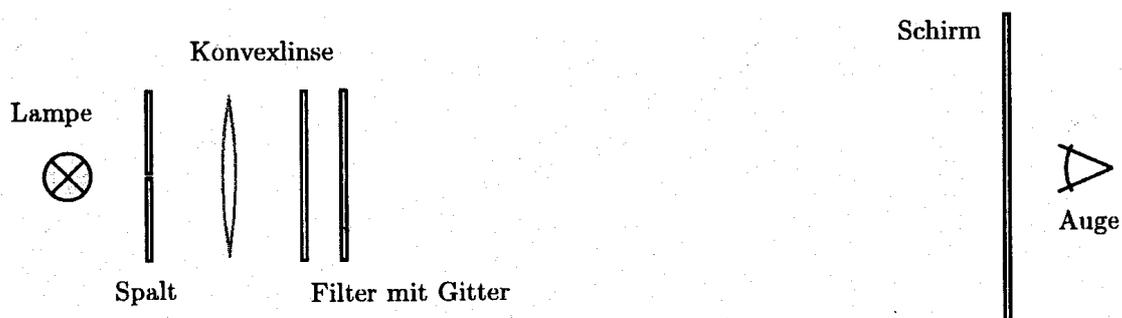
Vorbetrachtungen:

- Erläutern Sie die Bedeutung des Lichtes für die Existenz der meisten Pflanzen auf unserem Planeten.
- Halten Sie eine kleine Vogelfeder (oder ein Stück Seide oder auch Regenschirmstoff) vor Ihr Auge und betrachten Sie aus einer Entfernung von ca. 2 m eine Kerzenflamme. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen. Welche Eigenschaften des Lichtes sind dafür verantwortlich?
- Erläutern Sie die prinzipiellen energetischen Prozesse, die bei der Fotosynthese ablaufen.
- Wie kann man aus grünen Pflanzenteilen den für die Fotosynthese bedeutsamen Farbstoff „Chlorophyll“ extrahieren?
- Die aus dem Bereich der Bionik stammende elektrochemische Solarzelle („Grätzelzelle“) wurde 1992 patentiert. Erläutern Sie das Prinzip einer solchen Zelle. Welche Energieumwandlungen finden in dieser Solarzelle statt?
- Beschreiben Sie in Stichpunkten ein Experiment, bei dem die Teilchennatur des Lichtes als wesentlicher Faktor in Erscheinung tritt.
- Erläutern Sie den Begriff Interferenz von Wellen und erklären Sie, wie es am Gitter zur Interferenz des Lichtes kommt.
- Die Wellenlänge des Lichtes lässt sich mit der Interferenzmethode nach nebenstehender Gleichung bestimmen. (b - Gitterkonstante, e - Abstand zwischen Gitter und Schirm, s - Abstand zwischen dem Interferenzstreifen 1. Ordnung und dem Streifen, der zum Maximum 0. Ordnung gehört). Bereiten Sie eine entsprechende Messwerttabelle vor.

$$\lambda = \frac{b \cdot s}{e}$$

Hinweise zum Aufbau und zur Justierung:

Versuchsaufbau



1. Bauen Sie die Experimentieranordnung nach der Abbildung auf. Der Abstand zwischen dem Gitter und dem Schirm soll dabei genau 0,5 m betragen.
2. Justieren Sie die Anordnung folgendermaßen:
 - Bilden Sie den unmittelbar vor der Lampe befindlichen Spalt mit Hilfe der Konvexlinse auf dem Schirm scharf ab.
 - Richten Sie durch Heben, Schwenken oder Senken der Lampe das Spaltbild auf der Mitte des Schirmes aus.
 - Schärfen Sie das Bild auf dem Schirm, indem Sie die Glühwendel in der Lampe drehen und den Abstand der Lampe innerhalb des Lampengehäuses verändern.

Durchführung:

1. Bringen Sie das Gitter 1 ($b = 0,1$ mm) und erst den Rotfilter, später den Blaufilter in den Strahlengang. Beobachten Sie die jeweiligen Interferenzmuster. Welche Unterschiede zwischen den Streifen der einzelnen Maximas fallen Ihnen auf? Sie können zum besseren Vergleich auch einen blau-roten Farbfilter (Halbfilter) einsetzen.
2. Wiederholen Sie die Versuche mit dem Gitter 2 mit $b = 0,05$ mm. Vergleichen Sie mit Ihren vorhergehenden Beobachtungen. Welcher Zusammenhang zwischen Gitterkonstante und dem Abstand der Streifen auf dem Schirm ist zu erkennen?
3. Entfernen Sie den Farbfilter und beobachten Sie jetzt die Interferenzmuster von weißem Glühlicht. Beschreiben und vergleichen Sie die Interferenzmuster mit den Erkenntnissen aus den vorhergehenden Versuchen.
4. Nehmen Sie die Messwerte für die Berechnung der Wellenlänge von rotem und blauem Licht auf.
 - Überprüfen Sie die Justierung der Versuchsanordnung (0,5 m).
 - Messen Sie die Abstände zwischen dem 0. Maximum und dem 1. Maximum jeweils für rotes und blaues Licht, wobei Sie halbe Millimeter schätzen. Benutzen Sie einen Stechzirkel oder einen auf den Schirm geklebten, 1cm breiten Streifen Millimeterpapier, auf dem Sie mit Bleistift die Lage der Maxima markieren.
Hinweis: Einen etwas genaueren Wert erhalten Sie, wenn Sie den Abstand zwischen den beiden 1. Maximas bestimmen und diesen Wert halbieren.
 - Tragen Sie alle Messwerte in eine Tabelle ein.

Auswertung:

1. Berechnen Sie mit Ihren Messergebnissen die Wellenlängen von rotem und blauem Licht.
2. Erstellen Sie eine Fehlerbetrachtung, indem Sie folgende Fragen erörtern:
 - Vergleichen Sie Ihre Werte mit den im Tafelwerk angegebenen Werten. Wodurch sind die möglichen Abweichungen begründet? Unterscheiden sie hinsichtlich objektiver und subjektiver Fehler.
 - Wie wirkt sich ein um einen halben Millimeter veränderter Wert für s auf die Berechnungen der Wellenlänge aus?
 - Was könnte man an der Versuchsanordnung verändern, um noch genauere Werte zu erzielen?

- Das Praktikum ist für alle Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Klassenstufe 10, die das **naturwissenschaftliche Profil** belegen, **verbindlich**. Darüber hinaus können Schülerinnen und Schüler des sprachlichen Profils entsprechend den konkreten Gegebenheiten und den vorhandenen Möglichkeiten das Praktikum freiwillig absolvieren.
- Der Zeitraum für das Praktikum liegt nach der schriftlichen BLF im **Zeitraum vom** Innerhalb dieser 6 Tage wird an den jeweiligen Nachmittagen für je 2 Zeitstunden die Möglichkeit gegeben, in den Fachräumen für das Fach Physik die ausgewählten Praktikumsexperimente durchzuführen. Die Betreuung erfolgt jeweils durch zwei Fachlehrer.
- Diese Zeitpunkte wurden gewählt, um die Belastung der Schülerinnen und Schüler in Grenzen zu halten und eine Konzentration sowohl im Unterricht als auch in der langfristigen häuslichen Vorbereitung auf die erfolgreiche Bewältigung der BLF zu ermöglichen. Aus dem gleichen Grund wird auch zum Halbjahr **keine Note** im Fach Naturwissenschaften vergeben.
- Die Schülerinnen und Schüler führen in Partnerarbeit insgesamt **zwei Praktikumsexperimente** verbindlich durch. Jeder Jugendliche fertigt aber ein eigenständiges Protokoll an.
- Für die am Praktikum teilnehmenden Klassen findet der reguläre Unterricht im Fach Physik in diesem Zeitraum **nicht** statt. Die Schülerinnen und Schüler haben aber die Möglichkeit, diese Zeit zu nutzen, um mit ihren Partnern die Experimente vorzubereiten.
- Die Themen und Anleitungen der möglichen Praktikumsexperimente werden im Physikraum am ausgehängt bzw. parallel auf der Homepage der Schule veröffentlicht. Die Schülerinnen und Schüler haben damit die Möglichkeit, sich langfristig – insbesondere in den Osterferien- über die Inhalte der einzelnen Experimente zu informieren und Vorarbeiten zu leisten.
- In einer **Praktikumseinweisung** nach den Osterferien erhalten alle Schülerinnen und Schüler auf Anfrage Informationen zu den einzelnen Experimenten, zur Anlage der Protokolle und zur einfach gehaltenen Fehlerrechnung. Bei weiteren Fragen können sich die Schülerinnen und Schüler an ihren Fachlehrer wenden.
- Ab erfolgt die Eintragung in die Praktikumslisten durch die Schülerinnen und Schüler für zwei Praktikumsexperimente. Da aus gerätetechnischen und organisatorischen Gründen an jedem Praktikumsnachmittag nur eine bestimmte Anzahl Versuchsplätze pro Praktikumsexperiment zur Verfügung stehen, ist die Wahl **verbindlich**. Spätere Änderungen können nur in dringenden Ausnahmefällen und gegebenenfalls durch Tausch berücksichtigt werden.
- Für jedes Praktikumsexperiment sind **schriftliche Vorbetrachtungen** anzufertigen, die vor der Durchführung abzugeben sind. Die unmittelbar nach der Durchführung abzugebenden Protokolle müssen neben der Aufgabenstellung eine Beschreibung des Versuchsaufbaues (evtl. mit Skizze) und eine Auflistung der verwendeten Geräte und Hilfsmittel enthalten, ebenso die Messtabellen sowie die Auswertung mit einfacher Fehlerrechnung.

- Um den fachübergreifenden Charakter des Praktikums zu wahren, sind in den Fragen zur Vorbetrachtung bewusst Bezüge zwischen den Fächern Ma, Bio, Ch, Ph und Astronomie (auch Technik) hergestellt.
- Sollte durch Krankheit oder **entschuldigtes** Fehlen von einem Jugendlichen an einem der Praktikumstage kein Experiment durchgeführt werden können, muss der betreffende Schüler bzw. die betreffende Schülerin möglichst versuchen, dies an einem der anderen Tage nachzuholen, gegebenenfalls auch mit einem anderen Versuchsthema. Ein weiterer Nachholetermin ist am vorgesehen, späteres Nachholen ist bedingt durch den Notenschluss für die Zeugnisse nicht möglich. Bei **unentschuldigtem** Fehlen kann der Fachlehrer entscheiden, ob dem Schüler bzw. der Schülerin die Möglichkeit gegeben wird, den Praktikumsversuch im Rahmen der Möglichkeiten nachzuholen, gegebenenfalls auch mit einem anderen Versuchsthema. Kann dies nicht gewährleistet werden bzw. nimmt der betreffende Jugendliche die gebotene Möglichkeit nicht wahr, wird **zweimal die Note 6 erteilt** (für die fehlende Teilnahme am Kurztest und für die fehlende Durchführung und Auswertung).
- Die Bewertung der **zwei Praktikumsexperimente** erfolgt zu 30 % für die Vorbetrachtungen (z. B. durch **Abfrage in einem Kurztest**), zu 40 % für die Durchführung und zu 30 % für die Auswertung. Diese Anteile bilden in der Gesamtheit die Grundlage für die Note im Fach Naturwissenschaften. Daher müssen von jeder Schülerin und jedem Schüler auch zwei Praktikumsexperimente verbindlich durchgeführt werden. Die Bewertung der Durchführung und Auswertung erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage der schriftlichen Aufzeichnungen, **dies bedeutet insbesondere, dass für ein nicht abgegebenes Protokoll die Note 6 vergeben wird!**
- Für die Vorbereitung und Durchführung des Praktikums ist die Fachschaft Physik verantwortlich, bei Fragen sollten sich die Schülerinnen und Schüler aber zunächst an ihren Fachlehrer wenden.

Aus organisatorischen und gerätetechnischen Gründen können für das naturwissenschaftliche **Praktikum** alle Experimente an allen Praktikums-Nachmittagen angeboten werden. Die Versuchsanleitungen der einzelnen Experimente können Sie im Physikraum A 18 und auf der Homepage der S „Projekte“) einsehen. Sollten Sie keinen Computerzugang haben, können Sie Kopien der Anleitungen für die von Ihnen gewählten Experimente bei Ihrem Physiklehrer erbitten.

Im Folgenden finden Sie die am Nachmittag des **partnerin/ Ihrem Experimentierpartner** in die freien Felder unter jedem Experiment ein. Wenn diese Felder belegt sind, können Sie das Experimente einem der anderen Praktikums-Nachmittage realisieren. **Experimentierplätze** zur Verfügung stehenden Experimente **Experimentierplätze** sich jeweils

Beachten Sie, dass andere schulische Veranstaltungen (Unterricht in den Fächern, insbesondere auch Sportunterricht) Vorrang vor Ihrer Entscheidung für einen Nachmittag haben!

Schmelzwärme (Raum A 18)		Freier Fall (Raum A 18)		Black-Box (Raum A 19)	
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	

Hook'sches Gesetz (Raum A 19)		Resonanz (Raum A 18)		Black-Box (Raum A 19)	
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	

Um die unmittelbare organisatorische Vorbereitung des naturwissenschaftlichen Praktikums in einem überschaubaren Rahmen zu halten, empfiehlt es sich, die für die einzelnen Experimente benötigten Materialien und Geräte gesondert zu lagern. An der KGS Erfurt wurden z. B. zu diesem Zweck kleine Kartons angeschafft, in denen immer die Geräte für 4 Versuchsplätze auf dem Boden der Schule für ein Jahr aufbewahrt werden. Da nicht alle Geräte in ausreichender Anzahl verfügbar sind bzw. auch im laufenden Unterricht benötigt werden, wurden Gerätelisten geschrieben, die die in den Kartons vorhandenen Geräte erfassen. Es ist dadurch sofort ersichtlich, welche Geräte und Materialien zusätzlich noch bereitgestellt werden müssen. In der Woche vor dem Praktikum werden von den Kolleginnen und Kollegen der Fachschaft Physik gemeinsam die Praktikumsplätze vorbereitet. Zu diesem Zweck eignen sich gut Paletten, auf denen jeweils die Geräte für eine Praktikumsgruppe Platz finden. Die Paletten lassen sich versuchsweise übereinander stapeln und können so entsprechend des konkreten Bedarfs in die Fachräume transportiert werden. Eine Auswahl der erwähnten Gerätelisten ist im Folgenden zu sehen.

Experiment Hook'sches Gesetz

Stück	Geräte und Hilfsmittel	vorhanden	zu ergänzen
2	SEG-Stativfüße	X	
2	SEG-Zeiger	X	
2	SEG-Stativstäbe (20 cm lang)	X	
1	SEG-Stativstab (50 cm lang)	X	
1	SEG- Linealhalter	X	
1	kleine Tischklemme	X	
1	SEG-Kreuzmuffe	X	
1	SEG-Feder	X	
1	SEG-Wägesatz (komplett)	X	
1	SEG-Lineal (50 cm lang)	X	
2	SEG-Haken mit Ring		X
1	Stoppuhr		X

Experiment Wellenlänge von Licht

Stück	Geräte und Hilfsmittel	vorhanden	zu ergänzen
4	SEG-T-Füße	X	
1	Transparent Schirm mit Papierstreifen	X	
1	SEG-Linse ($f = 100$ mm)	X	
1	SEG-Dialhalter	X	
1	Filter (rot-blau)	X	
1	Gitter 1	X	
1	Gitter 2	X	
1	SEG-Lampe (12 V)	X	
1	SEG-Lampenfuß	X	
2	Kabel (50 cm lang)	X	
1	Spaltblende für SEG-Optiklampe	X	
1	SEG-Stromversorgungsgerät		X

Experiment **Black-Box**

Stück	Geräte und Hilfsmittel	vorhanden	zu ergänzen
4	Kabel (20 cm lang)	X	
2	Kabel (30 cm lang)	X	
1	Kabel (50 cm lang)	X	
2	Steckbrettchen	X	
1	Glühlampe	X	
1	SEG-Drehwiderstand 50 Ω	X	
4	SEG-Black-Box (Nr. 11...41)	X	
1	SEG-Widerstand 51 Ω		X
2	Messgeräte Polystest		X
1	SEG-Stromversorgungsgerät		X

Experiment **Brechzahl und Totalreflexion**

Stück	Geräte und Hilfsmittel	vorhanden	zu ergänzen
1	SEG-Flachhalblinse	X	
1	SEG-Lampe (12 V, Heftoptik)	X	
1	SEG-Einspaltblende	X	
1	Winkelkreisscheibe	X	
2	Kabel (50 cm lang)	X	
1	SEG-Stromversorgungsgerät		X

Experiment **Freier Fall und Fallbeschleunigung**

Stück	Geräte und Hilfsmittel	vorhanden	zu ergänzen
1	Kreuzmuffe	X	
2	Haken mit Ring	X	
1	Stativstab (25 cm lang)	X	
1	Kugeln (Stahl, klein)	X	
2	Kugeln (Stahl, groß)	X	
1	Kugeln (Holz, klein)	X	
1	Faden (1,30 m lang)	X	
10	Kieselsteine mit Behälter	X	
1	Tischklemme	X	
1	Holzbrett mit Vertiefungen	X	
1	Lineal (100 cm lang)		X
1	SEG-Lineal (50 cm lang)		X
1	Messzylinder (Plastik)		X
1	Stativstab (75 cm lang)		X
1	Tafel-Winkelmesser		X
1	Wägestück (100 g)		X
1	Wägestück (50g)		X
1	Stoppuhr		X
1	Elektronischer Zähler Polydigit		X
1	Fallvorrichtung (Haltemagnet, Schalter, Fangkorb, Eisenkörper, Falleiste)		X

Experiment **Resonanz gekoppelter Pendel**

Stück	Geräte und Hilfsmittel	vorhanden	zu ergänzen
1	Tischklemme	X	
2	SEG-Zeiger	X	
1	Stativstab (40 cm lang)	X	
4	Haken mit Ring	X	
1	Faden (150 cm lang)	X	
1	Faden (110 cm lang)	X	
1	Faden (20 cm lang)	X	
1	SEG-Lineal (50 cm lang)	X	
1	Lineal (100 cm lang)		X
1	Stativstab (100 cm lang)		X
2	Wägestücke (50 g oder 100 g)		X
1	Wägestück (10 g)	X	
1	Wägestück (20 g)	X	
1	Stoppuhr		X

Experiment **Spezifische Schmelzwärme**

Stück	Geräte und Hilfsmittel	vorhanden	zu ergänzen
1	SEG-Stativfuß	X	
1	SEG-Heizplatte	X	
1	SEG-Aluminiumbecher	X	
1	SEG-Waage mit Waagschale	X	
1	Thermometer	X	
2	Blatt Küchenpapier	X	
1	Anschlusskabel	X	
1	Selbstbau-Kalorimeter, komplett (Deckel, Rührer, Thermometer, Becherglas 400ml, Becherglas 200 ml, Ummantelung, Isolierung)		X
1	Messzylinder 100 ml		X
1	Messzylinder 250 ml (Plastik)		X
1	Anschlusskabel		X
	Eiswürfel (200 g)		X
1	elektronisches Thermometer		X

Für jedes Praktikumsexperiment sind von den Schülerinnen und Schülern schriftliche Vorbetrachtungen anzufertigen, die vor der Durchführung abgegeben werden. Die Protokolle müssen eine Beschreibung des Versuchsaufbaues (hier sind auch Fotografien zulässig), der Versuchsdurchführung, die Messtabellen und Ergebnisse, sowie die Auswertung mit einfacher Fehlerrechnung enthalten.

Um zu sichern, dass sich die Lernenden selbstständig und umfassend auf ihre durchzuführenden Experimente vorbereiten, haben sich zu Beginn des jeweiligen Praktikumversuches Testfragen bewährt. Diese bearbeiten alle betreffenden Schülerinnen und Schüler gleichzeitig in maximal 15 min in einem Raum. Die Fragen für den kurzen schriftlichen Test werden auf der Basis der Vorbetrachtungen erstellt und sollten im Verlaufe des gesamten Praktikums variiert werden. Im Folgenden ist eine Auswahl solcher Testfragen eingefügt.

Neben der Kontrolle der individuellen Vorbereitungen bieten diese Tests eine Möglichkeit der Bewertung im Zusammenhang mit der Gesamtnote. Die Bewertung der zwei durchzuführenden Praktikumsexperimente erfolgt zu 30 % für die Vorbetrachtungen (z. B. durch die Abfrage im Kurztest), zu 40 % für die Durchführung und zu 30 % für die Auswertung. Diese Anteile bilden in der Gesamtheit die Grundlage für die Note im Fach Naturwissenschaften. Daher müssen von jeder Schülerin und jedem Schüler auch zwei Praktikumsexperimente verbindlich durchgeführt werden. Die Bewertung der Durchführung und Auswertung erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage der schriftlichen Aufzeichnungen, dies bedeutet insbesondere, dass für ein nicht abgegebenes Protokoll die Note 6 vergeben wird.

Testfragen zur Vorbereitung des Experimentes **Brechzahl und Totalreflexion**

Beantworten Sie die Fragen schriftlich.

1. Licht geht von Luft (n_1) in Glas (n_2) über. Skizzieren Sie für diesen Übergang den Verlauf des Lichtes und beschriften Sie Ihre Skizze. Notieren Sie das Brechungsgesetz in seinen zwei Teilen im Wortlaut und in Gleichungsform.
2. Erläutern Sie den Begriff Totalreflexion anhand einer Skizze. Unter welcher Bedingung tritt die Totalreflexion von Licht auf?
3. Nennen Sie wichtige Anwendungen der Totalreflexion und erläutern Sie ein Beispiel ausführlicher.

Testfragen zur Vorbereitung des Experimentes

Freier Fall und Fallbeschleunigung (1)

Beantworten Sie die Fragen schriftlich!

1. Beschreiben Sie, wie mithilfe eines Fadenpendels oder des freien Falls eines Körpers die Fallbeschleunigung am Schulstandort bestimmt werden kann. Notieren Sie die jeweils erforderliche Gleichung und interpretieren Sie diese.
2. Mithilfe eines großen Pendels ist es möglich, die Erddrehung nachzuweisen. Dies gelang zum ersten Mal 1851 dem Franzosen J. B. Foucault. Beschreiben Sie die Durchführung dieses Experimentes und erläutern Sie das Ergebnis. Berechnen Sie die Schwingungsdauer des verwendeten Pendels, wenn die Pendellänge 48 m betrug.
3. Eine Pendeluhr wird aus einem kalten Vorraum in ein warmes Wohnzimmer gestellt. Wie wirkt sich dies auf die Ganggenauigkeit aus? Begründen Sie.

Testfragen zur Vorbereitung des Experimentes

Freier Fall und Fallbeschleunigung (2)

Beantworten Sie die Fragen schriftlich.

1. Beschreiben Sie, wie mithilfe des freien Falls eines Körpers die Fallbeschleunigung am Schulstandort bestimmt werden kann. Notieren Sie die jeweils erforderliche Gleichung und interpretieren Sie diese.
2. Galileo Galilei hat zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit physikalische Experimente bewusst geplant und durchgeführt. Beschreiben Sie, wie er diese Experimente durchführte und welches Gesetz er gefunden hat.
3. Eine Pendeluhr wird aus einem warmen Wohnzimmer in einen kühleren Flur gestellt. Wie wirkt sich dies auf die Ganggenauigkeit aus? Begründen Sie.

Testfragen zur Vorbereitung des Experimentes **Resonanz gekoppelter Pendel**

Beantworten Sie die Fragen schriftlich.

1. Erläutern Sie mit Hilfe geeigneter Diagramme die Begriffe ungedämpfte und gedämpfte Schwingung und geben Sie jeweils die Energieumwandlungen an.
2. Erläutern Sie den Unterschied zwischen Eigenschwingungen und erzwungenen Schwingungen und beschreiben Sie, unter welchen Bedingungen es zur Resonanz kommt.
3. Erläutern Sie anhand eines Beispiels aus der Technik die große technische Bedeutung der Resonanz. Gehen Sie dabei auch auf den Eigenschwinger und den Erregerschwinger ein.

Testfragen zur Vorbereitung des Experimentes **Spezifische Schmelzwärme**

Beantworten Sie die Fragen schriftlich.

1. Erklären Sie einen der beiden Vorgänge!
 - Im Sommer kann man im Hochgebirge an schattigen Stellen häufig noch „Schneeflecken“ beobachten, obwohl die Temperaturen weit über 0° C liegen.
 - oder
 - Wenn im Frühjahr Obstbäume und Weinreben austreiben, tritt häufig noch Frost auf – vor allem nachts und in den frühen Morgenstunden. Die Bauern schützen die jungen Triebe vor dem Erfrieren, indem sie die Bäume und Weinreben mit Wasser besprühen. Blätter und Blüten sind dann mit einer dünnen Eisschicht überzogen.
2. Bei einem der beiden Teilerperimente werden Eisstücke in heißes Wasser gegeben. Leiten Sie unter Berücksichtigung der Wärmekapazität des Kalorimeters die Gleichung zur Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis her.

$$q_{Eis} = \frac{(c_w \cdot m_h \cdot (T_h - T_m) - (c_w \cdot m_{Eis} + C_K) \cdot (T_m - T_{Eis}))}{m_{Eis}}$$

Testfragen zur Vorbereitung des Experimentes **Hook'sches Gesetz (1)**

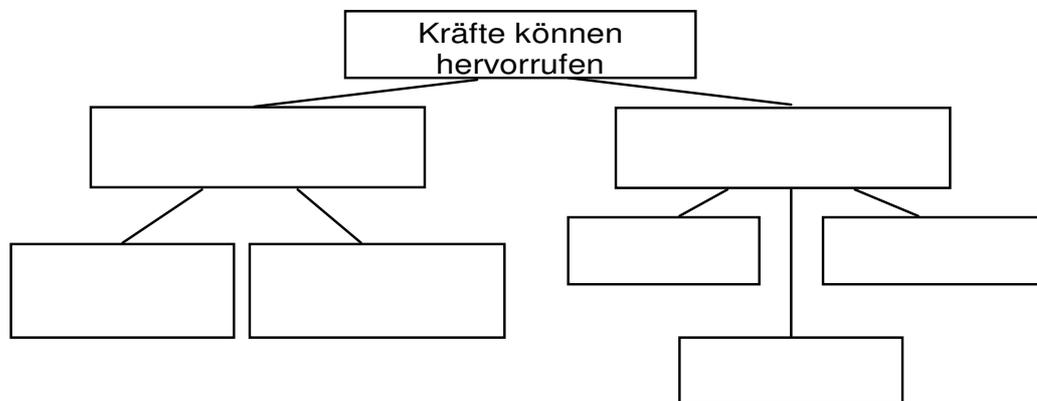
Beantworten Sie die Fragen schriftlich.

1. Stellen Sie in einer Übersicht die verschiedenen Wirkungen von Kräften dar.
2. Formulieren Sie das Hook'sche Gesetz im Wortlaut und in Gleichungsform. Welche Bedeutung hat in diesem Gesetz die Größe D , erläutern Sie dies anhand zweier verschiedener Federn.
3. Leiten Sie aus der Gleichung für die Schwingungsdauer eines Federschwingers die Bestimmungsgleichung für die Größe D her und beschreiben Sie, wie diese experimentell bestimmt werden kann.

Testfragen zur Vorbereitung des Experimentes **Hook'sches Gesetz (2)**

Beantworten Sie die Fragen schriftlich.

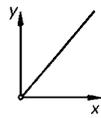
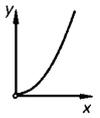
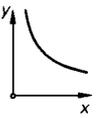
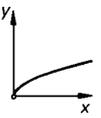
1. Übertragen Sie die folgende Übersicht zu Wirkungen von Kräften vereinfacht auf Ihr Blatt und ergänzen Sie.



2. Übertragen Sie die folgende Tabelle vereinfacht auf Ihr Protokollblatt und ergänzen Sie mit den entsprechenden mathematischen Abhängigkeiten:

$$y \sim \frac{1}{x} \quad \frac{y}{x} = konst. \quad y \sim \sqrt{x} \quad y \cdot x = konst. \quad y \sim x \quad \frac{y}{x^2} = konst.$$

$$y \sim x^2 \quad \frac{y}{\sqrt{x}} = konst.$$

Grafische Darstellung der Abhängigkeit (y-x-Diagramm)				
Vermutlich vorliegende Proportionalität				
Rechnerische Bestätigung der Proportionalität				

3. Leiten Sie aus der Gleichung für die Schwingungsdauer eines Federschwingers die Bestimmungsgleichung für die Federkonstante D her und beschreiben Sie, wie diese experimentell bestimmt werden kann.

Fehlerbetrachtungen sind bei physikalischen Experimenten eigentlich unerlässlich, häufig werden sie von Schülerinnen und Schülern jedoch nur formal als „lästige“ Auflistung von möglichen realen oder auch unrealen Fehlermöglichkeiten gesehen. Es gehört eben dazu und wird bewertet.

Bei genauerer Betrachtung zeigen sich jedoch wertvolle Potenzen in einer gründlichen Fehleranalyse:

- gründliches Durchdenken und Verstehen der Messvorgänge und der das Messergebnis beeinflussenden Faktoren,
- Anwendung statistischer Verfahren und von Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung,
- Bewerten und Vergleichen von (Mess)-Ergebnissen, insbesondere mit dem Ziel, eine kritische Sicht auf die eigenen Messergebnisse zu erreichen und durch veränderte Messbedingungen die Genauigkeit der Messung zu erhöhen.

Da heute die meisten Taschenrechner über die wichtigsten statistischen Berechnungsverfahren verfügen, reduziert sich z. B. das Berechnen des Mittelwertes und der Standardabweichung, also des mittleren quadratischen Fehlers der Einzelmessungen, auf das Eingeben der Messwerte und einige wenige anschließende Tastenbetätigungen. Auch unter dem Blickwinkel der Bildungsstandards für das Fach Physik können mit einer gründlichen Fehleranalyse insbesondere im Kompetenzbereich Bewerten wertvolle Beiträge erbracht werden.

Die folgenden Ausführungen verstehen sich daher einerseits als Information, andererseits als Anregung, sich gründlicher mit der Fehlerrechnung auseinanderzusetzen und von den Schülerinnen und Schülern, insbesondere in der Oberstufe, mehr zu verlangen als nur Aussagen wie: „Der Tisch hat gewackelt, Messgerät eventuell kaputt, ungenaue Stoppuhr, falsche Berechnung ...“

1. Messwert und Messergebnis

Das Ziel vieler physikalischer Experimente ist die Bestimmung einer Größe, die mitunter direkt gemessen werden kann, häufig aber aus verschiedenen Messwerten berechnet werden muss. Das Ergebnis eines Experimentes ist also letztlich ein Zahlenwert. Bei einer Wiederholung des Experimentes ergeben sich aber Abweichungen von diesem Wert, denn jede Messung einer physikalischen Größe ist aus den verschiedensten Gründen mit Fehlern behaftet. Der **Messwert** x_i einer physikalischen Größe weicht vom „wahren“ Wert der Größe x mehr oder weniger stark ab.

Jede Messung liefert nur einen Näherungswert, dessen Güte durch die verwendete Messapparatur und die Sorgfalt des Messenden bestimmt wird. Der „wahre“ Wert einer zu messenden Größe stellt in gewisser Weise einen Grenzwert dar, dem man sich immer mehr nähern kann, den man aber letztlich nicht erreichen kann. Jedes Ergebnis einer physikalischen Messung muss daher mit einer Aussage zu seiner Genauigkeit verbunden werden. Um möglichst genaue Messungen durchführen zu können bzw. um die Genauigkeit bereits durchgeführter Messungen einschätzen zu können, ist es wichtig, die Ursachen für Messfehler, die Größen solcher Fehler und ihre Auswirkungen auf die Genauigkeit des Ergebnisses zu kennen.

2. Fehlerquellen und Fehlerarten

2.1. Begriff des Fehlers

Als Fehler bezeichnet man die Abweichung des Messwertes vom wahren, meist unbekanntem, Wert der Messgröße. Der Fehler ist durch die Beziehung definiert:

Fehler $\Delta X =$ Messwert X_i – wahrer Wert der Messgröße (Sollwert S).

$$\Delta X = X_i - S$$

Der Fehler ist also positiv, wenn der Messwert zu groß ausgefallen ist, er ist negativ, wenn der Messwert zu klein ist.

2.2. Fehlerarten und Fehlerursachen

Man unterscheidet:

- hypothetische Fehler (grobe Fehler), z. B. durch Nichtbeachten der Bedingungen,
- systematische Fehler, z. B. bedingt durch die Experimentieranordnung bzw. die Messgeräte oder durch Umwelteinflüsse und Idealisierungen,
- zufällige Fehler, hierzu gehören auch die vom Beobachter verursachten (subjektiven) Fehler.

Grobe Fehler

Ein Messergebnis kann durch Irrtümer des Beobachters, durch die Wahl ungeeigneter Mess- und Auswertungsverfahren und durch die Nichtbeachtung von Fehlerquellen verfälscht werden. Derartige grobe Fehler sind grundsätzlich vermeidbar. Sie sollen bei der Abschätzung der Fehler nicht berücksichtigt werden.

Sie vermeiden grobe Fehler dadurch, dass Sie bei den Messungen stets überprüfen, ob z. B.

- die richtige Skale zum Ablesen am Messgerät verwendet wurde,
- der günstigste Anzeigebereich des Messgerätes genutzt wurde,
- die geförderten Versuchsbedingungen eingehalten wurden,
- fehlerhafte oder falsche Schaltungen vermieden wurden,
- das Experiment entsprechend den Anweisungen zum Aufbau richtig aufgebaut und durchgeführt wurde.

Systematische Fehler

Systematische Fehler sind Fehler, die bei unveränderten Messbedingungen stets mit gleichem Betrag und Vorzeichen auftreten, also in die gleiche Richtung wirken, den Messwert damit entweder vergrößern oder verkleinern. Sie werden hauptsächlich durch Unvollkommenheiten der Messgeräte und der Messverfahren sowie durch messtechnisch erfassbare Einflüsse der Umwelt hervorgerufen. Sie können auch auftreten, wenn bei der Auswertung einer Messung und der Berechnung einer physikalischen Größe mit ungenau bestimmten (Material-)Konstanten gerechnet wird. Diese Fehler sind, wie schon der Name sagt, vom System bestimmt und lassen sich durch einfache Wiederholung mit denselben Messgeräten weder erkennen noch ausschalten. Systematische Fehler werden erst bemerkt, wenn die Messanordnung oder das Messgerät mit einem genaueren Messverfahren überprüft werden. Damit sind sie bestimmbar und durch Berichtigung des Messwertes aufhebbar. In den Fällen, in denen sie nicht auf einfache Weise erfasst werden können, muss eine Abschätzung erfolgen.

Zufällige Fehler

Diese Fehler wirken nicht in einer Richtung auf das Ergebnis ein, sie können es entweder vergrößern oder verkleinern. Ihre Ursache kann beim Beobachter liegen (subjektive Fehler), sie werden aber auch durch messtechnisch nicht erfassbare und nicht beeinflussbare Änderungen der Messbedingungen, z.B. der Änderung der Reibungskräfte im Messgerät, hervorgerufen. Wiederholt man die Messung derselben Messgröße unter gleichen Bedingungen mit demselben Messgerät, so können die Messwerte voneinander abweichen, die einzelnen Messwerte streuen. Aus den Einzelmessungen (mindestens 3) bestimmt man als arithmetisches Mittel einen **Mittelwert** \bar{x} der Messgröße. Dieser Mittelwert kommt dem wahren Wert der Messgröße umso näher, je größer die Anzahl der Messungen ist. Durch mathematisch-statistische Verfahren kann der absolute Fehler Δx (die Abweichung vom wahren Wert) aus den Messwerten ermittelt werden.

Fehlerursache	Beispiele
Experimentieranordnung (objektiver Fehler)	<ul style="list-style-type: none"> • unzureichende Isolierung bei kalorimetrischen Messungen und damit unkontrollierter Wärmeaustausch mit der Umgebung • Verwendung einer stromrichtigen statt einer spannungsrichtigen Schaltung oder umgekehrt bei der Messung von Spannung und Stromstärke • Vernachlässigung der Widerstände von Zuleitungen bei elektrischen Schaltungen • unzureichende Kompensation der Reibung bei der Untersuchung von Bewegungsabläufen in der Mechanik • Verzögerungen beim Auslösen von Abläufen, die durch die Experimentieranordnung bedingt sind
Messgeräte, Messmittel (objektiver Fehler)	<p>durch das Messgerät bedingt (Ablesegenauigkeit, Güte, ...)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jedes Messgerät, z.B. Lineal, Thermometer, Spannungsmesser, hat nur eine bestimmte Genauigkeitsklasse bzw. Fertigungstoleranz • Messmittel wie Wägestücke, Hakenkörper, Widerstände haben ebenfalls Fertigungstoleranzen
Experimentator (subjektiver Fehler)	<ul style="list-style-type: none"> • Ablesefehler bei Messgeräten, Unsicherheiten beim Abschätzen von Teilstrichen • Auslösefehler bei Zeitmessungen (Reaktionszeit des Menschen) • Fehler durch eine nicht exakte Handhabung von Messgeräten (z.B. ungenaues Anlegen eines Lineals) • Fehler durch Verwendung unzureichender Messgeräte (z.B. kleine Wassermenge in großem Messzylinder, Thermometer mit 1°-Teilung bei der Messung kleiner Temperaturunterschiede) • Fehler durch Ablesen an falschen Bezugspunkten (z.B. wird statt des Schwerpunktes eines Körpers seine Unter- oder Oberkante als Bezugspunkt für Entfernungsmessungen gewählt)
Umgebung (subjektiver Fehler)	<ul style="list-style-type: none"> • Nichtbeachtung der Temperatur oder von Temperaturschwankungen • Nichtbeachtung des Druckes oder von Druckschwankungen • Schwankungen der Netzspannung, Erschütterungen

3. Berechnung zufälliger Fehler

3.1. Arithmetisches Mittel und absoluter Fehler Δx

Beim Auftreten zufälliger Fehler kann man eine physikalische Größe mehrfach messen. Sind x_1, x_2, \dots, x_n die einzelnen Messwerte, so ergibt sich als Mittelwert (arithmetisches Mittel):

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Ein Maß für die Streuung der Messwerte ist der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels:

- Bei nur wenigen Messwerten ($n < 10$) kann man als mittleren (Größt)-Fehler ansehen:

$$\Delta \bar{x} = \pm \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}, \text{ wobei } x_{\max} \text{ bzw. } x_{\min} \text{ die größten bzw.}$$

kleinsten Abweichungen der Einzelmessungen vom Mittelwert sind.

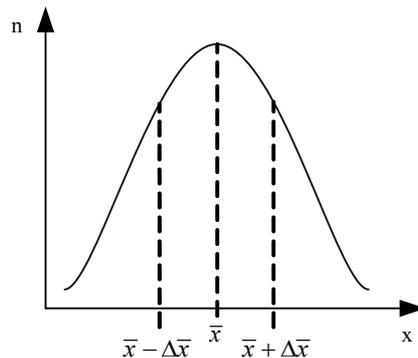
- Bei 10 und mehr Messwerten verwendet man den mittleren quadratischen Fehler des Mittelwertes, der Aussagen über die Genauigkeit des Mittelwertes liefert. Es gilt:

$$\Delta x = \pm \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}$$

- Mitunter wird auch die **Standardabweichung s**, der mittlere quadratische Fehler der Einzelmessungen, angegeben, der Aussagen über die Genauigkeit der Messapparatur liefert. Die Standardabweichung kann man folgendermaßen berechnen:

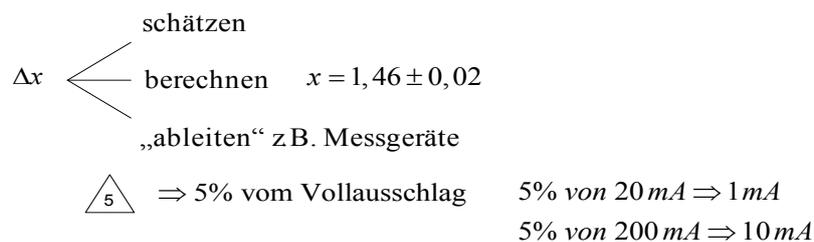
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad \text{bzw.} \quad s = \Delta \bar{x} \cdot \sqrt{n}$$

Bei Vorliegen einer großen Anzahl von Messwerten ergibt sich für die Häufigkeitsverteilung eine Normalverteilung nach Gauss (siehe Abbildung). Es liegen dann 68,3% der Messwerte im Bereich $\pm s$ und 95,4% im Bereich $\pm 2 s$. In der Industrie wird meist mit 95% gerechnet. Das entspricht einem Intervall von $\pm 1,96 s$.



Zusammenfassung

Aus den bisherigen Erläuterungen folgt, dass alle Messungen mit einem Fehler behaftet sind. Man muss sich deshalb bereits bei der Durchführung der Messungen bemühen, die Fehlerquellen zu erkennen, die Fehler der Gruppe der systematischen oder zufälligen Fehler zuzuordnen und, soweit möglich, den Betrag abzuschätzen. Erkennt man, dass die systematischen Fehler überwiegen (z. B. bei kalorimetrischen Messungen), so genügt es, eine Messung durchzuführen und diese durch eine Kontrollmessung zu überprüfen. Dadurch werden Verfälschungen durch grobe Fehler vermieden. Bei vielen Experimenten kann man den systematischen Fehler vernachlässigen, da er klein gegenüber den zufälligen Fehlern ist. Das gilt z. B. für Längen- und Zeitmessungen. Die Gangungenauigkeit einer Stoppuhr ist bei kleinen Zeitintervallen unbedeutend gegenüber den subjektiven Fehlern, die man beim Ein- und Ausschalten sowie beim Schätzen der Zehntelsekunden macht.



3.2 Relative Fehler

Die Angabe der absoluten Fehler Δx der einzelnen Messwerte ermöglicht noch keine Aussage darüber, wie stark diese Fehler das Messergebnis beeinflussen. Ein Vergleich der Fehler der einzelnen Messwerte wird erst durch die Berechnung des **relativen Fehlers** möglich.

Für den relativen Fehler eines Messwertes benutzt man die Gleichung

$$\delta = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}}$$

Bei Angabe des relativen Fehlers in Prozent ergibt sich der prozentuale Fehler

$$\delta \% = \frac{\Delta \bar{x} \cdot 100 \%}{\bar{x}}$$

3.3. Darstellung von Ergebnissen

Kennt man den Messwert x und den Messfehler Δx einer Größe, so kann man den Fehler als absoluten, relativen oder prozentualen Fehler angeben.

- Der **absolute Fehler** Δx ist ein Maß für die Abweichung der Messwerte vom wahren Wert.
- Der **relative Fehler** $\frac{\Delta x}{x}$ verdeutlicht die Abweichung in Bezug auf den Messwert.
- Der **prozentuale Fehler** $\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$ ist der in Prozent angegebene relative Fehler.

Die Angabe des Messergebnisses x_E erfolgt dann in folgender Form: $x_E = x \pm \Delta x$

Messwerte und Fehler	Beispiel
Messwert x (Mittelwert)	Zeit $t = 7,6 \text{ s}$
absoluter Fehler Δx	$\Delta t = \pm 0,2 \text{ s}$
relativer Fehler $\Delta x/x$	$\frac{\Delta t}{t} = \frac{\pm 0,2 \text{ s}}{7,6 \text{ s}} = \pm 0,026$
prozentualer Fehler $(\Delta x/x) \cdot 100\%$	$\frac{\Delta t}{t} = (\pm 0,026) \cdot 100\% = \pm 2,6\%$
Messergebnis $x_E = x \pm \Delta x$	$t = (7,6 \pm 0,2) \text{ s}$

4. Fehlerfortpflanzung

Häufig erhält man ein Ergebnis erst durch Kombination mehrerer Größen. Zum Bestimmen des elektrischen Widerstandes misst man z.B. die Spannung U und die Stromstärke I und berechnet daraus den Widerstand $R = U/I$. Beide Größen sind fehlerbehaftet und beeinflussen das Ergebnis. Wie sich die Fehler von gemessenen Größen x und y auf den Fehler einer daraus berechneten Größe z auswirken, zeigt die nachfolgende Übersicht zur Fehlerfortpflanzung.

Verknüpfung der Größen	absoluter Fehler	relativer Fehler
Summe $z = x + y$ $z = k(x + y)$	$\Delta z = \Delta x + \Delta y$ $\Delta z = k(\Delta x + \Delta y)$	$\delta z = \frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
Differenz $z = x - y$ $z = k(x - y)$	$\Delta z = \Delta x + \Delta y$ $\Delta z = k(\Delta x + \Delta y)$	$\delta z = \frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
Produkt $z = x \cdot y$ $z = k \cdot x \cdot y$	$\Delta z = y \cdot \Delta x + x \cdot \Delta y$ $\Delta z = k(y \cdot \Delta x + x \cdot \Delta y)$	$\delta z = \frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
Quotient $z = \frac{x}{y}$ $z = \frac{k \cdot x}{y}$	$\Delta z = \frac{y \cdot \Delta x + x \cdot \Delta y}{y^2}$ $\Delta z = k \frac{y \cdot \Delta x + x \cdot \Delta y}{y^2}$	$\delta z = \frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
Potenz $z = x^n$ $z = k \cdot x^n$	$\Delta z = n \cdot \Delta x \cdot x^{n-1}$ $\Delta z = k \cdot n \cdot \Delta x \cdot x^{n-1}$	$\delta z = \frac{\Delta z}{z} = n \frac{\Delta x}{x}$

Man erkennt, dass es für die wichtigsten Anwendungsfälle genügt, folgende Regeln zu beachten:

- Sind zur Berechnung einer physikalischen Größe Summen oder Differenzen von Messgrößen zu bilden, so ergibt sich der Absolutfehler des Ergebnisses aus der Summe der Absolutfehler der einzelnen Summanden:

$$\Delta z = \Delta x + \Delta y$$

- Sind zur Berechnung einer physikalischen Größe Produkte oder Quotienten von Messgrößen zu bilden, so ergibt sich der relative Fehler des Ergebnisses aus der Summe der relativen Fehler der einzelnen Faktoren bzw. von Dividend und Divisor:

$$\frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

- Sind zur Berechnung einer physikalischen Größe Potenzen von Messgrößen zu bilden, so ergibt sich der relative Fehler des Ergebnisses aus dem Produkt des Exponenten und des relativen Fehler der Basis:

$$\frac{\Delta z}{z} = n \frac{\Delta x}{x}$$

5. Fehlerbetrachtungen vor und nach Messungen

Fehlerbetrachtungen sind vor und nach Messungen sinnvoll. Da die Genauigkeit von Messungen nur vor oder während des Messens beeinflusst werden kann, haben Fehlerbetrachtungen **vor einer Messung** das Ziel, zu klären, welche Messfehler auftreten können und wie man sie minimieren kann.

Dabei können die folgenden Fragen hilfreich sein:

- Welches Messverfahren ist geeignet, um möglichst geringe Messfehler zu machen?

- Welche Möglichkeiten gibt es, die unvermeidbaren Fehler zu minimieren oder zu korrigieren?
- Welche physikalischen Größen müssen besonders genau gemessen werden, weil der damit bedingte Messfehler besonders stark das Gesamtergebnis beeinflusst (z. B. Potenzen von Größen)?
- Wie können zufällige Fehler von Messgrößen durch mehrfache Messung und deren statistische Auswertung ermittelt und berücksichtigt werden?
- Können mögliche systematische Fehler evtl. durch die Wahl genauerer Messgeräte reduziert werden?
- Wie können mögliche systematische Fehler erfasst und beim Ergebnis evtl. durch Korrektur berücksichtigt werden?

Nach einer Messung kann man nur noch die Größe der Messfehler ermitteln, aber nicht mehr beeinflussen. Daher haben Fehlerbetrachtungen **nach einer Messung** das Ziel, die aufgetretenen Fehler in ihrer Größe abzuschätzen bzw. zu berechnen und damit das Ergebnis mit seinen wahrscheinlichen Grenzen anzugeben.

6. Beispiele physikalischer Messungen

- **Kundt'sches Rohr**



$$f = 1000 \text{ Hz}$$

 Mikrophon

$$x = s \text{ in mm}$$

x	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$
18	2	4
22	2	4
20	0	0
21	1	1
19	1	1
$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 20$		
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i) = 6$		
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i ^2) = 10$		

Messwert x	Weg $s = 20 \text{ mm}$		
absoluter Fehler Δx	$\Delta x = \pm \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}$ $\Delta x = \pm 0,4$	$\Delta x = \pm \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i ^2)}$ $\Delta x = \pm 0,71$	$\Delta x = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i ^2)}$ $\Delta x = \pm 1,58$
relativer Fehler $\Delta x/x$	$\frac{\Delta x}{x} = \frac{0,4}{20} = 0,02$	$\frac{\Delta x}{x} = \frac{0,71}{20} = 0,036$	$\frac{\Delta x}{x} = \frac{1,58}{20} = 0,079$
prozentualer Fehler $(\Delta x/x) \cdot 100\%$	$\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = 2\%$	$\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = 3,6\%$	$\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = 7,9\%$

Messergebnis $x_E = x \pm \Delta x$ $s = (20 \pm 0,4) \text{ mm}$ $s = (20 \pm 0,71) \text{ mm}$ $s = (20 \pm 1,58) \text{ mm}$

Fadenpendel

Länge l in m

Absoluter Fehler (geschätzt): $l = (0,53 \pm 0,005) \text{ m}$

Relativer Fehler: $\frac{0,005}{0,53} = 0,0094 \rightarrow 0,94\%$

Zeit t in s

Messwerte x

x	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$
1,43	0,03	0,0009
1,45	0,01	0,0001
1,47	0,01	0,0001
1,49	0,03	0,0009

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 1,46 \qquad \sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{x}|) = 0,08 \qquad \sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{x}|^2) = 0,002$$

Messwert x	Zeit $s = 1,46 \text{ s}$
absoluter Fehler Δx (wegen nur 4 Messungen)	$\Delta x = \pm \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}$ $\Delta x = \pm 0,005$
relativer Fehler $\Delta x/x$	$\frac{\Delta x}{x} = \frac{0,005}{1,46} = 0,003$
prozentualer Fehler $(\Delta x/x) \cdot 100\%$	$\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = 0,3\%$
Messergebnis $x_E = x \pm \Delta x$	$t = (1,46 \pm 0,005) \text{ s}$

Der gesamte relative Fehler ergibt sich aus der Addition aller relativen Fehler

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow g = \frac{(2\pi)^2 \cdot l}{T^2}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \cdot \frac{\Delta T}{T}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2 \cdot \Delta T}{T}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = 0,94\% + 2 \cdot 0,3\% = 1,54\%$$

6. Messfehler und graphische Darstellungen

Sehr häufig sind Messreihen auch in der Auswertung mit graphischen Darstellungen verbunden. Auch hierbei sind die Messfehler zu berücksichtigen. In den beiden Abbildungen 2 und 3 ist ein Beispiel für ein Weg-Zeit-Diagramm dargestellt. Da alle Messwerte fehlerbehaftet sind, wäre es nicht sinnvoll, alle einzelnen Punkte miteinander zu verbinden. Vielmehr wird versucht, eine Ausgleichskurve zu zeichnen (vgl. Abbildung 2). Der Verlauf der Ausgleichskurve ergibt sich aus den jeweiligen Bedingungen. Kann z. B. der Fehler der Zeitmessung gegenüber dem der Wegmessung vernachlässigt werden, so kann man in jedem Punkt den Größtfehler des Weges in Form eines Intervalls markieren (vgl. Abbildung 3). Die Ausgleichskurve verläuft dann durch die Intervalle hindurch. Es gibt auch relativ einfache Verfahren des mathematischen Fehlerausgleichs bei linearen Funktionen lineare Regression, die ebenso wie die Berechnung der Standardabweichung leicht mit dem Taschenrechner ausgeführt werden kann.

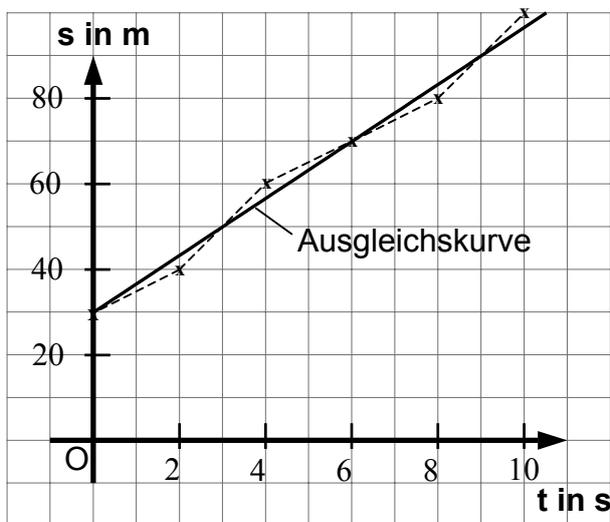


Abb. 2

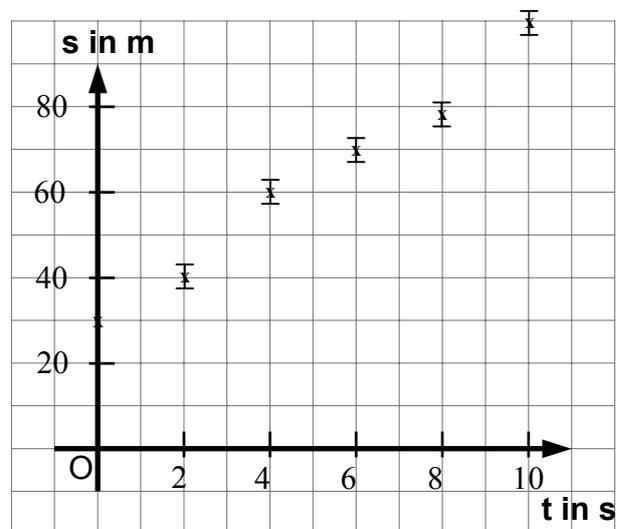


Abb. 3

7. Literatur

- /1/ Kretschmar, W.; Mende, D., Wollmann, H.: Physikalisches Praktikum. Fachbuchverlag Leipzig, 1976.
- /2/ Melcher, H.: Hinweise, Anleitungen und Aufgaben zur Fehlerrechnung. In: Arbeitsbuch für Physik-Vorlesungen im zweiten Studienjahr. Pädagogische Hochschule, Erfurt, 1973.
- /3/ Experimentieranleitungen Physik für die Sekundarstufe II. Duden Paetec Schulbuchverlag, Berlin, 2006.