Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung (IMST-Fonds)

S2 „Grundbildung und Standards“

MPH7

MATHEMATIK-PHYSIK IN DER 7. KLASSE REALGYMNASIUM KOORDINIERT UNTERRICHTEN

Gerhard Rath (Projektkoordination)

Waltraud Knechtl

ID 629

BRG Keplerstraße 1, 8020 Graz

Graz, 2007

INHALTSVERZEICHNIS

ABSTRACT

Anknüpfend an entsprechende Projekte in den Vorjahren versuchten wir den Unterricht aus Mathematik und Physik in der 7. Klasse punktuell zu koordinieren. Inhaltliche Verknüpfungen fanden sich bei Komplexen Zahlen – Wechselstromkreisen, Differentialrechnung – Elektromagnetismus und Stochastik – Quantenphysik. Zum zweiten Bereich gestalteten und evaluierten wir einen Stationenbetrieb, eine Aufgabe daraus wurde in einer Mathematikschularbeit eingesetzt.

Die höheren inhaltlichen Anforderungen beider Gegenstände führten zu anspruchsvollen koordinierten Aufgabenstellungen, die eher auf leistungsstarke Schülerinnen und Schüler zugeschnitten waren. Dies führte uns zu einer Rückbesinnung auf das Grundbildungskonzept: In Hinkunft wollen wir wieder stärker an fachübergreifenden Kompetenzen arbeiten.

Schulstufe:	11
Fächer:	Mathematik, Physik
Kontaktperson:	Dr. Gerhard Rath (gerhard.rath@brgkepler.at)
Kontaktadresse:	BRG Keplerstra*ße 1, 8020 Graz*
Webseiten	http://rath.brgkepler.at/imst/mph7

1 EINLEITUNG

Zum dritten Mal in Folge koordinierten wir den Unterricht der Fächer Mathematik und Physik, diesmal in der 7. Klasse Realgymnasium. Nach den MNI-Projekten in der 5. und 6. Klasse, MPh5 und MPh6 (Knechtl, Rath 2005 und 2006), wollten wir diese Reihe fortsetzen, bietet doch der Mathematiklehrplan der 7. Klasse mit der Differentialrechnung eines der wichtigsten Werkzeuge der mathematischen Physik.

Ins Team aufgenommen wurde mit Michael Mayer ein Unterrichtspraktikant, der eine der Gruppen der 7. Klassen aus Physik unterrichtete. In diesem Fach waren die Klassenverbände aufgelöst in eine Gruppe des mathematischen Realgymnasiums (Schularbeiten aus Darstellender Geometrie) und eine des naturwissenschaftlichen Realgymnasiums (Schularbeiten aus Physik). Dagegen erfolgte der Unterricht aus Mathematik klassenweise. Somit änderten sich die organisatorischen Rahmenbedingungen der Koordination.

1.1 Ziele, Methoden, Grundbildungsbezug

Nachdem sich diese gegenüber den Vorgängerprojekten nicht grundsätzlich geändert haben, sei auf die entsprechenden Berichte (Knechtl, Rath 2005 und 2006) verwiesen. Im Folgenden geben wir eine zusammenfassende Übersicht.

Ziele

Die Differenzen und unterschiedlichen Zugänge der beiden Fächer sollen hier nicht mehr näher erörtert werden – dies geschah detailliert in einem Artikel in plus lucis (Rath 2006). Unsere Intention war von Beginn an, diese Differenzen punktuell zu überwinden.

Für die Schülerinnen und Schüler sollte dies wechselseitige Einsichten in die Anwendbarkeit von Konzepten und Methoden beider Fächer und damit ein tieferes Verständnis für die Zusammenhänge zwischen ihnen ermöglichen.

Methoden

Die Umsetzung war ähnlich wie bei den Vorgängerprojekten. Somit sah der Ablauf des koordinierten (fächerparallelen) Vorgehens so aus:

1. *Lehrplanvergleich*
2. *Koordinierte Jahresplanung – Festlegen möglicher paralleler Sequenzen*
3. *Planung, Durchführung, Evaluation solcher Sequenzen.*

Wir versuchten aber auch etwas Neues, und zwar einen Lernzirkel. Diese Aktion war der umfangreichste und zeitintensivste Teil des Projekts.

Bezüge zum Grundbildungskonzept

Eine Eigenschaft von grundbildungsrelevanten Kompetenzen ist ihre Nachhaltigkeit. Was immer wieder benötigt und somit auch geübt wird, geht über momentane Ansprüche hinaus und trägt zur Bildung der Persönlichkeit bei. Wir wollten die für beide Fächer gültigen Kompetenzen weiter aufbauen:

- *Fähigkeit zur Anwendung mathematischer Konzepte für die Modellierung und Simulation physikalischer Vorgänge und Objekte*
- *Fähigkeit, funktionale Zusammenhänge zu erkennen und zu interpretieren*
- *Fähigkeit zum Umgang mit Zehnerpotenzen und Größenordnungen*
- *Fähigkeit zum Umformen und Interpretieren von Formeln*
- *Fähigkeit zur Datenanalyse und -interpretation*
- *Fähigkeit zur zielgerichteten Arbeit mit Diagrammen*

Der koordinierte Zugang sollte diese Kompetenzen schulen und nachhaltig verfügbar machen. Er knüpfte an mehrere der inhaltlichen und methodischen Leitlinien des Grundbildungskonzepts an – diese Bezüge sind im Wesentlichen gleich geblieben.

1.2 Inhaltliche Bereiche

Als erstes stellten wir uns die Frage nach den Inhalten beider Fächer, die sich für einen koordinierten Unterricht eignen könnten. Ausgangspunkt war der Lehrplan (bm:bwk 2004), aus dem wir eine Gegenüberstellung der Ziele für beide Gegenstände erstellten (siehe Anhang Seite 24). Diese eröffnete für die 7. Klasse folgende Möglichkeiten:

Mathematik	Physik
Komplexe Zahlen, Gauß’sche Zahlenebene	Komplexe Zeigerdarstellung von Wechselstrom
Differentialrechnung: Ableitung als Änderungsrate	Induktionsgesetz
Exponentialfunktion	Einschaltstrom, Auf- und Entladen von Kondensatoren
Trigonometrische Funktionen	Elektromagnetischer Schwingkreis
Extremwertaufgaben	Licht: Spiegelung, Brechung
Ellipse, Hyperbel, Parabel	Arten von Spiegeln; Cassegrain-Teleskop
Stochastik, Verteilungen	Statistische Physik

Diese umfangreiche Liste macht verständlich, dass die Abfolge der Inhalte in beiden Fächern angepasst werden musste. Der umgesetzte Teil dieses Rahmenprogramms wird in der Folge beschrieben.

1.3 Ablauf des Projekts

Lehrplanvergleich – koordinierte Jahresplanung

Die Abstimmung der Lehrpläne wurde durch die Tatsache begünstigt, dass der inhaltliche Teil der Physik aus einer Reihe von Bildungszielen besteht, die für zwei Jahre vorgegeben sind, also auf die 7. und 8. Klasse verteilt werden können. Während der Lehrplan Physik unserer Meinung nach deutlich und brauchbar formuliert ist, sehen wir die Umsetzung in den Physikbüchern der Oberstufe kritischer. Diesen merkt man an, dass aus Kostengründen die Kapitel der bisherigen Bücher mehr oder weniger übernommen und neu zusammengestellt wurden, wodurch eine Zuordnung zu irgendeiner Fachsystematik der Physik verloren ging. Dies traf auf das in unserer Schule verwendete Buch von Jaros u. a. (2005) zu, welches aus diesem Grund für das nächste Schuljahr nicht mehr bestellt wurde.

Die Koordination mit Mathematik ergab für die Physik eine klare inhaltliche Struktur: Ein Semester Elektrodynamik, ein Semester Optik/Quantenphysik (siehe Anhang Seite 26).

Koordinierter Unterricht

Zu Beginn des Schuljahres starteten wir mit einigen koordinierten Stunden zum Thema Komplexe Zahlen – Zeigerdarstellung von Wechselstrom. Eine in Physik gebaute und gemessene Serienresonanzschaltung wurde in Mathematik gerechnet und mit Lehrbuchbeispielen verglichen. Diesen anspruchsvollen Einstieg wählten wir wegen des England/Frankreich-Aufenthaltes der 7. Klassen ab Mitte Oktober. Das Kapitel „Komplexe Zahlen“ bot sich in der Mathematik an, weil es in der Zeit vor dem Sprachaufenthalt abgeschlossen werden konnte.

Der Grundbildungsworkshop mit Peter Labudde regte Waltraud Knechtl an, wieder einmal methodisch etwas Besonderes zu probieren. Nachdem ihre 7.a-Klasse in der Unterstufe mehrfach Lernen an Stationen genossen hatte, versuchten wir diese Methode fächerübergreifend umzusetzen.

Zum Thema „Differentialrechnung“ fanden sich eine Menge von physikalischen Beispielen, auch in Mathematik-Schulbüchern. Wir wählten sechs Experimente aus dem Bereich Elektromagnetismus, in denen Differentiale angewendet wurden. Dieser Stationenbetrieb wurde in zwei klassenübergreifenden Gruppen in Doppelstunden ausgeführt und durch Unterrichtsbeobachtung und Fragebögen evaluiert.

Nach dieser intensiven Phase reichte Energie und Zeit lediglich für zwei kleinere Einheiten. Bei der ersten ging es um Extremwertaufgaben. Die Lichtbrechung lässt sich mit einem Extremalprinzip beschreiben - Schülerinnen und Schüler führten messende Experimente durch und verglichen die Ergebnisse mit entsprechenden Extremwertaufgaben. Die zweite Einheit betraf aus mathematischer Sicht die Stochastik. Da diese im Juni unterrichtet wurde, war nur mehr eine lose Koordination durchführbar. Sie betraf die Quantenmechanik mit ihrer statistischen Beschreibung der Mikrowelt.

Wie in den letzten Jahren wurde das Projekt beim Netzwerktag in der Postersession präsentiert.

2 KOORDINERTE SEQUENZEN

2.1 Komplexe Zahlen - Wechselstrom

Während die komplexen Zahlen in der Physik selbst mannigfache Anwendung finden, wird im Physikunterricht kaum mehr darauf Bezug genommen – so zumindest die Erfahrung eines der Autoren (Gerhard Rath), der zum Beispiel die Zeigerdarstellung von Wechselstrom vor den Stundenkürzungen regelmäßig unterrichtet hatte, in den letzten Jahren allerdings nicht mehr. Sie ist auch aus den Schulbüchern weitgehend verschwunden.
Damit fehlt diesem Gebiet von Seiten der Mathematik her eine Anwendung, die dieses Konzept in sinnvolle Bezüge stellt.

Solche Bezüge sollte unsere Sequenz ermöglichen. Sie sollte das Arbeiten mit komplexen Zahlen in einer physikalischen Anwendung erfahrbar machen. Dafür nahmen wir in Kauf, dass die Voraussetzungen von Seiten der Physik nur teilweise vorhanden waren, womit dieser Unterricht eher auf leistungsstarke Schülerinnen und Schüler zugeschnitten war.

Voraussetzungen

- Kenntnis der elektrischen Grundgrößen: Definition und Messung von Spannung, Stromstärke, Widerstand und Leistung
- Kenntnis von Grundgesetzen der Stromkreise: Ohm'sches Gesetz, Kirchhoff'sche Regeln
- Mathematische Beschreibung von Schwingungen mithilfe von drehenden Zeigern
- Umgang mit verschiedenen Darstellungsarten komplexer Zahlen

Ziele

- Beschreibung von Wechselströmen durch (komplexe) Darstellung von Sinusschwingungen
- Bestimmen der Wechselstromleistung (Effektivwerte)
- Kenntnis besonderer Eigenschaften von Wechselstromwiderständen und deren Auswirkungen (Scheinleistung, Wirkleistung)
- Diskussion der Vorteile der Verwendung von Wechselstrom im Verbundnetz
- Anwenden komplexer Zahlen im physikalischen Kontext

Ablaufsskizze

Mathematik:

Imaginärzahlen, komplexe Zahlen, Gauss'sche Zahlenebene, Polarkoordinaten
Rechnen mit komplexen Zahlen

Physik:

1. **Aufgabe**
   Warum wird in der elektrischen Energieversorgung Wechselspannung verwendet? Was sind die Vorteile? Welche Art von Wechselspannung erhalten Haushalte eigentlich?
   Methode: Recherche (Lehrbuch, Internet) und anschließende Diskussion
2. **Schülerversuch**
   Spannungsmessungen an Steckdosen mit Voltmetern; Bestimmen von Phasen- und Nullleiter; Funktion der Schutzerde
   Beschreibung der Grundzüge elektrischer Leitungs- und Schutzmechanismen im Haushalt.
3. **Input**
   Wie bestimmt man die Leistung von Wechselstrom? (Jaros S. 60 f)
   -> Definition der Effektivwerte von Stromstärke und Spannung
   Wechselstromwiderstände wie Spulen oder Kondensatoren bewirken Phasenverschiebungen zwischen Stromstärke und Spannung -> dies ergibt einen zusätzlichen Widerstand bei Wechselstrom (Blindwiderstand). Ein Teil der Energie wird im magnetischen oder elektrischen Feld gespeichert (Blindleistung).

Mathematik

4. Lesen von S. 29/30 im Mathematik-Lehrbuch (Geretschläger 2005): Anwendungen komplexer Zahlen; Blind- und Wirkwerte lassen sich mathematisch durch Imaginär- bzw. Realteile von komplexen Zahlen beschreiben und durch (zeitunabhängige) Zeiger darstellen.

Physik

5. Durchspielen von Applets und Simulationen zum Thema in Zweierteams (elektronisches Arbeitsblatt, -> Anhang Seite 27)

Physik/Mathematik

6. Schülerversuch: Messungen am Serienresonanzkreis. Darstellung im Zeigerdiagramm, Vergleich mit einer Berechnung (-> Anhang Seite 28)

Physik

7. **Input**
   Verbindung mit der Alltagswelt: Aspekte der Wechselstromtechnik im Haushalt (Drehstrom, Leistungsfaktor)

Reflexion

Die Sequenz startete mit Schulbeginn und dauerte 3 Wochen. In dieser kurzen Zeit wurde das anspruchsvolle Programm abgeschlossen. Alle Schülerinnen und Schüler erlangten Kenntnisse der Anwendbarkeit komplexer Zahlen. Dagegen wurde die Fähigkeit zur Berechnung von Wechselstromkreisen nur von den Leistungsstarken erreicht. Diese zeigten sich durch die Anforderungen motiviert.

Der verwendete Text im Mathematik-Lehrbuch: „Exkurs: Zwei Anwendungen der komplexen Zahlen – Der Schritt von der Abstraktion zur Anwendung“ (Geretschläger 2005, S. 29 ff) wird von uns kritisch gesehen. Er ist in Inhalt und Sprache abstrakt und enthält eine Menge nicht erklärter physikalischer Begriffe, sodass ein Großteil der Klassen damit nichts anfangen konnte.

2.2 Lernzirkel Differentialrechnung - Elektromagnetismus

Im IMST-Projekt „*Differentialrechnung? Anwendungen in der Physik*“ (BORG Monsberger Graz) wurden die unterschiedlichen Themen der Differentialrechnung mit Hilfe einer vorbereiteten Website in Gruppen durchgearbeitet. Zu Differentialquotient, Extremwertaufgaben und Kurvendiskussionen fanden sich WebLinks mit physikalischen Anwendungen (Kiesling 2005). Ansonsten stießen wir bei unseren Recherchen auf keine fächerübergreifenden IMST-Projekte, die sich mit Differentialrechnung befassen. Dies erstaunte uns auf den ersten Blick, schien uns doch gerade diese Thematik prädestiniert dafür, Mathematik und Physik zu verbinden.

Die Erfindung der Methodik des Differenzierens (und Integrierens) ist nicht umsonst mit dem Namen Isaac Newton verbunden, ihm gelang damit (parallel mit Leibniz) die technische Lösung eines Problems, mit dem sich schon Philosophen der Antike herumgeschlagen hatten – dem Problem der Unendlichkeit. Bei der Beschreibung von Bewegungen tat sich ein erschreckender Blick in das unendlich Kleine auf, den uns die Paradoxien von Zenon erstmals erkennen lassen.

Wozu Differentialrechnung?

Parallel zur Einführung der Differentialrechnung im Mathematik-Unterricht, die auf konventionelle Weise über die Steigung von Tangenten an Kurven erfolgte, befassten wir uns in Physik mit den Fragen: Wozu dient dieses Kalkül? Was ist der Sinn dieser Methode? Wie ist sie entstanden? Nach einer Diskussion der Zenon'schen Paradoxien (z.B. Achilles und die Schildkröte) lenkten wir den Fokus auf die Bewegungslehre im 17. Jahrhundert. Die Versuche damaliger Naturforscher, Bewegungen geometrisch zu beschreiben, führten immer wieder zur Konfrontation mit der Unendlichkeit. B. Cavalieri schrieb 1626 in einem Brief an G. Galilei (Zitiert nach Blay 2003, S. 42):

> *„Sollte man feststellen müssen, dass das bewegliche Objekt, das von der Ruhelage ausgehend eine bestimmte Geschwindigkeit annimmt, alle Zwischengeschwindigkeiten ebenfalls annehmen muss, so finde ich keine Überlegung, welche mich beruhigt.“*

Wie kann eine Kugel überhaupt zu Fallen beginnen? Bevor sie sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt, müsste sie z.B. die Hälfte davon erreicht haben, davor wiederum die Hälfte und so weiter – vor einer beliebig kleinen Geschwindigkeit müsste sie also schon unendlich viele Zwischengeschwindigkeiten durchlaufen haben.

Mit der beginnenden Infinitesimalrechnung konnte dieses Problem bewältigt werden. Im speziellen entwickelte sich aus der mathematischen Analyse von Bewegungen der Begriff der Momentangeschwindigkeit, mit dem noch heute in den meisten Schulbüchern der Mathematik Konzepte wie Ableitung oder Differential eingeführt oder angewendet werden (z.B. Götz 2006 S. 48 ff). Allgemeiner benötigt man die Differentialrechnung zur mathematischen Analyse der Änderungen von Größen.

Unterschiedliche Verwendung in Mathematik und Physik

Auch dieses wichtige Konzept wird in den beiden Fächern unterschiedlich verwendet. Das beginnt schon mit der Notation von Ableitungen. Zu Beginn noch gemeinsam an Leibniz orientiert (dy/dx), ist in der Mathematik bald die Schreibweise nach Lagrange üblich (f'(x)), die Physik schreibt nach Newton ($\dot{x}$). Schwerer wiegt der Gegensatz in der exakten Begründung der mathematischen Begriffe. Die Mathematik muss hier zwangsläufig genau sein, im Schulfach werden üblicherweise die Definitionen nach

Cauchy verwendet (Grenzwert des Differenzenquotienten). Diese exakte Begründung vermeidet unklare oder undefinierte Größen, wird aber unanschaulich und in dieser Form in der Physik nicht verwendet. Dort rechnet man munter mit Differentialen (dx), die wie eigenständige Größen gehandhabt werden und von Fall zu Fall als klein, sehr klein, beliebig klein oder gar unendlich klein verstanden werden. Das Lehrbuch von G. Malle (2006, S. 129 ff) diskutiert die Frage der Exaktifizierung der Differentialrechnung aus mathematischer Sicht.

Welche Probleme die unterschiedlichen Zugänge für das Verständnis von Konzepten der Differentialrechnung innerhalb der Physik für Schülerinnen und Schüler, Studierende und sogar Lehrkräfte haben, untersuchten J. Martinez-Torregrosa, R. Lopez-Gay und A. Gras-Marti (2006). „*I know how to calculate them, but I don't know what they mean*", war eine der typischen Aussagen der über Differentiale Befragten. Die Autoren schlagen die Verwendung einer Definition des französischen Mathematikers Fréchet aus dem Jahr 1911 vor, die jedoch in dieser Form in unseren Lehrbüchern nicht vorkommt, weshalb wir bei der klassischen Variante geblieben sind.

Möglicherweise liegt in der unterschiedlichen Zugangsweise ein Grund für die geringe Anzahl von Projekten, die sich mit der fächerübergreifenden Behandlung dieser Thematik auseinandersetzten. Die wenig abgestimmten Lehrpläne stellen eine weitere Ursache dar, wird doch die Bewegungslehre im Anfangsunterricht der Oberstufenphysik behandelt, Differentialrechnung findet aber erst in der 7. Klasse statt.

Die Mathematik-Schulbücher der 7. Klasse enthalten eine nicht geringe Zahl von Rechenbeispielen mit physikalischen Kontexten, insbesondere zur Differentialrechnung. Die meisten dieser Aufgaben handeln von mechanischen Vorgängen, elektrische oder optische kommen seltener vor. Wie wir an einer Aufgabe weiter unten zeigen, kann es auch vorkommen, dass die Physik der Rechenbeispiele verkürzt, grob vereinfacht oder sogar falsch dargestellt ist.

In unserem Physikbuch (Jaros u.a. 2005) tauchen Differentiale unvermittelt und nicht näher erklärt mit dem Induktionsgesetz auf (S. 52). Die einzige Ableitung eines Ausdrucks betrifft den Spannungsverlauf eines Generators (S. 82), diesen Text verwendeten wir für den Stationenbetrieb. Symbole für Differenzen (z.B. ΔI) und Differentiale werden wechselnd und nicht einheitlich verwendet, so taucht das Induktionsgesetz einmal in der Form $U = -\frac{d\phi}{dt}$ auf, dann wieder als $U = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$. Den Umstand der inkonsistenten Verwendung dieser Symbole kritisierte schon M. Eisner (1991). Das große Delta Δ symbolisiert in der Physik Intervalle, Differenzen, Zu- oder Abfuhr, Messfehler oder Unschärfen.

Idee und Ziele des Lernzirkels

Die Schülerinnen und Schüler erarbeiteten in Stationen experimentell und theoretisch Eigenschaften und Gesetze von Spulen und Kondensatoren, wobei mathematische Konzepte der Differentialrechnung angewendet wurden. Angegebene Webseiten und Lehrbücher konnten benützt werden.

Ziele

- Vergleich und Gegenüberstellung von Experiment, Simulation und Rechnung
- Anwendung von Techniken der Differentialrechnung
  Erkennen der Wichtigkeit dieser Konzepte in der Physik
- Messungen an Kondensator, Spule, Dynamo und Schwingkreis

Notwendige Vorkenntnisse

Physik:

- Grundgrößen und -gesetze der Elektrizitätslehre (Spannung, Stromstärke, Ladung, Ohmsches Gesetz)
- Bedienung von Messgeräten (Amperemeter, Voltmeter, Oszilloskop)
- Grundbegriffe des Elektromagnetismus (Feldbegriff, Induktion)
- Eigenschaften von Spulen und Kondensatoren (Kapazität, Induktivität)

Mathematik:

- Ableitungsregeln (Produktregel, Kettenregel)
- Ableitungsfunktion (erste und zweite Ableitung)
- Eigenschaften und Ableitung der Exponentialfunktion
- Lösen von Extremwertaufgaben
- Rechnen mit Potenzen
- Lösen von Exponentialgleichungen

Die Stationen

Die Such-, Konzeptions- und Testphase für diesen Lernzirkel war intensiv. Einerseits gingen wir von physikalischen Aufgaben der Mathematik-Lehrbücher aus und versuchten, diese im Experiment umzusetzen. Andererseits verwendeten wir vorhandene Experimente und suchten passende mathematische Aufgabenstellungen. Weiters recherchierten wir verschiedene Webseiten zur Thematik.

Wir verfassten Texte samt Erklärungen und erwarteten Lösungen. Aus diesen entstanden einheitliche strukturierte Anleitungen für Schülerinnen und Schüler: Idee, Theorie, Messung, Rechnung. Arbeitsblätter und Erklärungen sind im Anhang abgedruckt (Seite 31ff und 37ff). Waltraud Knechtl und Christa Preis rechneten die zugehörigen Lehrbuchaufgaben, wobei sich zeigte, dass einige von diesen ohne ein ComputerAlgebra-System nicht sinnvoll lösbar waren.

Aus einer Sammlung von mehr als zehn Experimenten blieben letztlich sechs übrig. Das verlässliche Funktionieren im Schülerversuch war das erste Auswahlkriterium. Ein zweites Kriterium ergab sich aus einer Diskussion der physikalischen Inhalte – wir entschieden uns für das aktuelle Fachgebiet, den Elektromagnetismus. Folgende Stationen wurden ausgeführt:

A. Ein Kondensator differenziert
B. Kondensator laden - Exponentialfunktion
C. Dynamo – innere Ableitung
D. Parallelresonanz - Zeigerdarstellung
E. Schwingkreis - Exponentialfunktion
F. Der rollende Magnet - Bewegungsaufgaben

Wie bereits erwähnt hatten wir auch weitere Themen recherchiert. Die folgenden kamen aus den oben genannten Gründen nicht zum Einsatz.

Geschichte der Differentialrechnung

Geretschläger S. 52/53, Malle S. 126 ff, Breuer (Spektrum Spezial: Das Unendliche)

Bewegungsdiagramme nachfahren

- Simulationsprogramm (Maus-Physik)
- CBR + Coach

Wasserbehälter auslaufen lassen

Wie ändert sich die Höhe mit der Zeit?

(Klika S. 14, Malle S. 21)

Optimieren der Wurfweite

Versuch: Kanone.

(Gereschläger. S. 147, Götz S. 133, Wikipedia: Schiefer Wurf)

Hängendes Drahtseil

Als Versuch machbar.

(Polynomfunktion. Malle S. 60, Götz S. 132)

Gedämpfte Schwingung

Versuch: Blattfeder oder Federpendel, Simulation mit Physlets möglich

(Geretschläger S. 135/136)

Diagramme aufnehmen und analysieren, Beschleunigung bestimmen

Versuch: Fahrbahn, PC+diBox

(Gereschläger S. 126/127)

Lichtbrechung: Minimieren der Laufzeit

Versuch: Lampe, Glaskörper

(Geretschläger S.146, Malle S. 97, Götz S. 146)

Ablaufskizze

Nachdem die Experimente gewählt und getestet waren, mussten wir sie in einen lagerfähigen und transportablen Zustand bringen. Sie mussten schnell aufgebaut werden, da für den Lernzirkel lediglich eine Doppelstunde zur Verfügung stand. Dieser zeitliche Rahmen ergab sich aus den anfangs geschilderten organisatorischen Umständen: Die drei 7. Klassen waren auf eine DG-Gruppe und zwei Biologie/Chemie/Physik-Gruppen aufgeteilt, jede Gruppe bestand aus etwa 20 Mitgliedern, die aus mindestens zwei Klassen stammten. Die vollständige Sequenz erstreckte sich über vier Physik- und zwei Mathematikstunden:

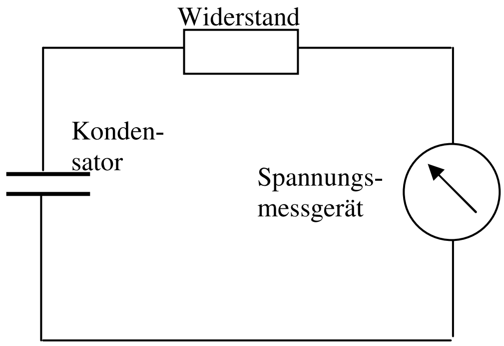
1. Ausgabe der Versuchsblätter, Lesen der Aufgaben, Sicherstellen der notwendigen Voraussetzungen, Klären erster Fragen; Demonstration des Oszilloskops (Funktion, Bedienung) unter Verwendung von Putz S. 23f als Info-Blatt.

2. Doppelstunde: Absolvieren des Lernzirkels in fünf Gruppen von vier Mitgliedern. Von den sechs Stationen war somit immer eine frei, was als zeitlicher Puffer notwendig war.
3. Mathematik: Arbeit an den Aufgaben, Rechnen mit den Daten.
4. Physik: Besprechung der Messungen, Fertigstellen der Protokolle.
5. Feedback und Fragebogen (siehe Evaluation).

2.3 Ein physikalisches Beispiel bei der Mathematikschularbeit

Zur Überraschung der Schülerinnen und Schüler der 7.a-Klasse entschloss sich Waltraud Knechtl, in einer Mathematik-Schularbeit auf ein Rechenbeispiel zurückzugreifen, das in ähnlicher Form im Stationenbetrieb vorgekommen war (Geretschläger S. 146, Aufgabe 5.93). Für die Schularbeit schauten wir uns diese Aufgabe genauer an und stießen auf grobe physikalische Unstimmigkeiten, wir mussten sie umformulieren. Ursprünglich lautete sie:

Der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung U(t) bei einem Auf- und Entladevorgang eines Kondensators über einen konstanten Widerstand sei durch $U(t) = k \cdot e^{-t} \cdot (1-e^{-t})$, $t \geq 0$, beschrieben. Bestimme denjenigen Zeitpunkt, an dem die Spannung maximal ist.



Physikalische Kritikpunkte

1. Die Zeichnung zeigt keinen funktionsfähigen elektrischen Stromkreis, da die Spannungsquelle fehlt.

2. Eine e-Funktion kann als Exponenten keine Größe mit einer Dimension haben (wie hier die Zeit), sondern nur eine (dimensionslose) Zahl.

3. Auf- oder Entladen?
Der zeitliche Verlauf der Spannung beim Aufladen wird beschrieben durch:
$$\boxed{U(t) = U_{\max} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}})}$$
(U_{max}: Endspannung, R: Widerstand, C: Kapazität).
Das heißt: Die maximale Spannung wird (theoretisch) nach unendlich langer Zeit erreicht.

Der Entladevorgang wird durch einen anderen Ausdruck beschrieben:
$$\boxed{U(t) = U_{\max} \cdot (e^{-\frac{t}{R \cdot C}})}$$
Hier ist die Spannung für t=0 maximal.

4. Gemeint war die Leistung
Der Ausdruck in der Angabe enthält also so etwas wie das Produkt dieser beiden Funktionen, was für den Verlauf der elektrischen Spannung keinen Sinn ergibt. Nach einigen Überlegungen, was die Autoren überhaupt gemeint haben könnten, kamen wir zu dem Schluss, dass es ihnen wahrscheinlich um den zeitlichen Verlauf der e-

lektrischen Leistung beim Aufladen eines Kondensators gegangen ist. Diese berechnet sich aus dem Produkt von Spannung U und Stromstärke I. Letztere nimmt beim Aufladen nach einer e-Funktion ab:

$$I(t) = I_{\max} \cdot (e^{-\frac{t}{R \cdot C}})$$

Damit erhalten wir für die **Leistung** P= U(t)·I(t)

$$P(t) = U_{\max} \cdot I_{\max} (1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}) \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

Wenn wir $k=U_{max} \cdot I_{max}$ setzen und $R \cdot C=1$, ergibt sich ein Ausdruck wie im Beispiel des Lehrbuchs.

Das physikalisch richtige Schularbeitenbeispiel lautete dann so:

Ein Kondensator der Kapazität C wird über einen konstanten Widerstand R aufgeladen, bis er die Spannung U_{max} erreicht. Der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung (U von t) kann durch folgende Funktion beschrieben werden: $U(t) = U_{max} \cdot (1-e^{-t/RC})$.
Auch die Stromstärke ändert sich mit der Zeit: $I(t) = I_{max} \cdot (e^{-t/RC})$.

(i) Interpretiere die beiden Ausdrücke. Wie verlaufen die Kurven?
(ii) Die Leistung P(t) kann man aus dem Produkt der Spannung und der Stromstärke berechnen. Wenn $R \cdot C=1$ ist (z.B. für R = 100.000 Ohm und $C=10^{-5}$ F), wird der zeitliche Verlauf der Leistung durch folgenden Ausdruck beschrieben:
$P(t) = U_{max} \cdot I_{max} \cdot (e^{-t}) \cdot (1-e^{-t})$; $U_{max} \cdot I_{max}$ sind Konstante.
Berechne den Zeitpunkt t, zu dem die Leistung maximal ist!

Die endgültige Formulierung zeigt das Problem physikalischer Kontexte in mathematischen Aufgabenstellungen: Ist der Text richtig, kann er umfangreich und damit schwerer lesbar werden. Wahrscheinlich wird auch aus diesem Grund die Physik in Mathematik-Aufgaben oft verkürzt bis verfälscht dargestellt. Das obige Lehrbuchbeispiel ist allerdings so falsch, dass diese Erklärung dafür nicht ausreicht.

Ergebnisse

Dieses Beispiel wurde bei der Schularbeit mit fünf Punkten bewertet, wobei es für die Interpretation der beiden Kurven zwei Punkte und für die Berechnung des Zeitpunktes drei Punkte gab.

Von den neunzehn Mitschreibenden haben sieben diese Aufgabe versucht. Der Termin für die Schularbeit war einige Monate nach dem Stationenbetrieb. Da weder im Physik- noch im Mathematikunterricht diese Art von Beispielen vor der Schularbeit wiederholt wurde, konnte dieses Beispiel nur von einem einzigen Schüler vollständig richtig gelöst werden. Diese Lösung findet sich im Anhang (Seite 52).

Vier Schülern ist die Interpretation sowie die Ableitung der Funktion gelungen. Probleme gab es beim Logarithmieren der Exponentialgleichung – der Logarithmus eines Produkts wurde das Produkt der Einzellogarithmen. Ein Schüler hat nur die Kurvenverläufe beschrieben, ein weiterer hat Fehler bei der Ableitung gemacht.

Bei Rückgabe der Schularbeit kamen folgende Bemerkungen:

> *„Der Stationenbetrieb war schon so lange her, wir haben das nicht noch einmal geübt!*
>
> *„Hätten sie den einleitenden Text weggelassen, dann hätten dieses Beispiel mehrere zusammengbracht. Der Text hat viele nur verwirrt.“*
>
> *„Das Beispiel hat sicher der Herr Professor Rath geschrieben, das klingt nach ihm.“*

2.4 Extremwertaufgaben - Lichtbrechung

Diese Koordination ergab sich aus einer der nicht verwendeten Stationen. Da Extremalprinzipien in der Physik eine wesentliche Rolle spielen, wurde ein Teil der geometrischen Optik inhaltlich am Prinzip von Fermat ausgerichtet. Dieses erklärt Lichtwege (z.B. bei der Brechung oder Reflexion) durch die Idee, dass Licht immer den Weg der kürzesten Zeit zurücklegt – R. Sexl sagte einmal in einem Vortrag: *„Licht hat es besonders eilig“.*

Die Umsetzung verlief so:

1. Schülerexperiment: Verifikation des Brechungsgesetzes (-> Anhang S. 49)
2. Rechnen einer entsprechenden Aufgabe (Geretschläger S. 146, Aufg. 5.94)
3. Anwendung: Lichtbrechung bei Sammellinsen (Simulationen, -> Anhang S. 50). Die angegebenen Web-Links enthielten eine durchgerechnete Lösung des Lehrbuchbeispiels.

Auch hier zeigte sich, dass das Rechenbeispiel aus dem Mathematikbuch hohe Anforderungen stellte und selbständig nur für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler zu lösen war.

2.5 Wahrscheinlichkeitsrechnung – Quantenphysik

Die bisherigen Beispiele der Koordinierung hatten sich durchwegs an interessierte, leistungsstarke Schülerinnen und Schüler gewendet und verfolgten in erster Linie inhaltliche Ziele. Daher wollten wir mit der letzten Aktion dieses Schuljahres einen Ausgleich schaffen, sie zielte auf allgemeinere Kompetenzbereiche wie Interpretation und Diskussion. Es wurde also gar nicht fächerübergreifend gerechnet, anstelle punktueller Koordination trat lose Parallelität.

Die im Unterricht aus Modellen des Lichtes historisch entwickelte Quantenmechanik konzentrierte sich zuletzt auf die statistische Deutung und lieferte damit Beispiele für die Stochastik des Mathematikunterrichts. Für die Schülerinnen und Schüler wurde einsichtig, dass es für Statistik nicht nur Anwendungen wie Würfelspiele oder kaputte Glühbirnen gibt, wie sie in den Schulbüchern vorkommen – auch Quantenobjekte wie Photonen oder Elektronen werden statistisch beschrieben. Messungen dieser Objekte ergeben Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die allerdings wesentlich komplexer zu rechnen sind als jene, die im Mathematikunterricht vorkommen. Trotzdem begünstigte der Vergleich das Verständnis zumindest für das Prinzip der Aussagen der Quantenphysik.

So sahen die parallel unterrichteten Inhalte in der Übersicht aus:

Mathematik	**Physik**
Wiederholung der 6. Klasse: Statistische Verfahren, Mittelwert, Diagramme, Häufigkeiten	Wärmestrahlung - Quantenhypothese
Häufigkeitsverteilungen	Fotoeffekt, Elektronenvolt, Bestimmen des Planckschen Wirkungsquantums
Wahrscheinlichkeitsverteilungen	Doppelspaltexperiment – Wellenfunktion, Wahrscheinlichkeitswellen
Zufallsvariable	Geschichte der Atommodelle
Varianz und Standardabweichung	Materiewellen, de Broglie, Orbitale
Binomialverteilung	Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik, Dualismus, Unschärferelation

Im Physikunterricht wurde häufig mit Simulationen und interaktiven Webseiten gearbeitet. Zur fundierten Erklärung des Doppelspaltexperiments auf http://www.pctheory.uni-ulm.de/didactics/quantenchemie/html/DpSpaltF.html wurden folgende Fragen diskutiert:

Inwiefern spielt die Stochastik eine Rolle für die Interpretation dieses Experiments?

Wie kommt man von der Wellenfunktion zur Aufenthaltswahrscheinlichkeit?

Zu einer Thementour auf der Seite KworkKwarks von DESY (www.KworkQuark.net) wurde ein Arbeitsblatt gegeben. Es findet sich (mit den Antworten eines Schülers) im Anhang (S. 54).

3 EVALUATION DES LERNZIRKELS

3.1 Konzeption

Da diese Sequenz den aufwändigsten Teil der Fächerkoordination darstellte, beschränkten wir die Evaluation darauf. Die allgemeine Einstellung zur Zusammenarbeit der Gegenstände von Seiten der Schülerinnen und Schüler sollte sich wenig geändert haben, waren doch die beteiligten Personen und die Art der Arbeit im wesentlichen gleich geblieben. Somit konnten wir annehmen, dass die in MPh6 (Knechtl, Rath 2006) erhobene positive Meinung bestehen blieb. Wir wendeten uns daher dem methodisch Neuem zu, dem Stationenbetrieb, und untersuchten dessen Auswirkungen genauer. Er stand beispielhaft für das ganze Projekt, an ihm sollte die Erreichung der Ziele (S. 4) geprüft werden.

Die Indikatoren für den Erfolg des Vorhabens für die Schülerinnen und Schüler waren

1. *ihre Resultate, die erworbenen Kenntnisse*
2. *ihre Einstellungen, ihr Interesse*

Für die Untersuchung dieser Erfolgsvariablen sahen wir mehrere Methoden vor.

Unterrichtsbeobachtung

Ein Lehrer beobachtete die Gruppen nach folgenden Leitfragen:

Wie wirkt die Arbeit der Gruppe als Ganzes?

Wie gelingt die interne Verteilung der Aufgaben?

Wie funktioniert die Zusammenarbeit?

Welche Schwierigkeiten treten auf?

Wie werden diese gelöst?

Bewertung der entstandenen Protokolle

Jede Gruppe bekam Schülerblätter mit den formulierten Aufgaben. Diese mussten ausgefüllt und abgegeben werden, was mit Rückmeldungen und kurzen Diskussionen verbunden war. Danach erfolgte eine Bewertung in beiden Fächern. Aus der Qualität der Ergebnisse konnten wir auf Arbeitseinsatz und Erfolg der Gruppen schließen.

Fragebogen

Abschließend führten wir noch eine kleine Fragebogenuntersuchung durch, die uns Daten über die Einstellungen der Schülerinnen und Schüler liefern sollte. Uns interessierten ihre Meinungen zur Methode des Stationenbetriebs, zum fächerübergreifenden Zugang sowie zu inhaltlichen Aspekten. Um diesbezügliche Vergleichsdaten zu bekommen, fragten wir auch nach ihrem Interesse an Differentialrechnung und Elektromagnetismus vor dem Stationenbetrieb.

3.2 Auswertung

Unterrichtsbeobachtung

Den ersten Lernzirkel absolvierte die klassenübergreifende Gruppe des mathematischen Realgymnasiums 7abc (Schularbeiten aus Darstellender Geometrie) unter der Leitung von Gerhard Rath; beobachtet wurde diese Einheit von Michael Mayer.

Zusammengefasste Beobachtungen

Die Gruppeneinteilung erfolgte rasch und ohne Probleme.

Die Gruppenmitglieder begannen gleich mit der Arbeit, es herrschte eine konstruktive Atmosphäre, Nebentätigkeiten kamen kaum vor.

Die Arbeitsteilung war unterschiedlich: Einige Gruppen machten alles gemeinsam, andere teilten sich die Arbeit auf (Experimentieren, Computer, Protokollieren).

Manche Experimente funktionierten nicht immer und mussten vom Lehrer wieder instandgesetzt werden, weshalb es in der Folge zu Staus kam: Gruppen warteten auf die Weiterarbeit.

Die zur Verfügung stehende Zeit wurde ausgiebig genutzt. Sie reichte bei den meisten zur Durchführung der Experimente aus, nicht jedoch zur Fertigstellung der Recherchen, Berechnungen und Protokolle.

Eine Woche später war es umgekehrt: Michael Mayer leitete die Gruppe des naturwissenschaftlichen Realgymnasiums 7ac (Schularbeiten aus Physik und Biologie), Gerhard Rath beobachtete. Inzwischen hatten wir eine Ursache der Schwierigkeiten beseitigt: Die Experimente funktionierten stabiler aufgrund einiger Adaptionen am Material. Die Beobachtung ergab folgendes Bild:

Auch hier verlief der Start problemlos, die Stationen wurden flott angegangen.

Ebenso waren die Zugänge der Gruppen unterschiedlich, sie reichten von durchgehend gemeinsamer Tätigkeit bis zu fast vollständiger interner Arbeitsteilung.

Die praktische Arbeit an den Experimenten wurde in der Hälfte der Zeit absolviert, das anfängliche Engagement erlahmte. Die Aktivitäten blieben zum Teil oberflächlich, bei einigen Gruppen ließ sich keine Auseinandersetzung mit den Problemen erkennen.

Im zweiten Teil der Stunde waren einige Gruppenmitglieder mit intensiven Schreibarbeiten befasst, während andere Zeit für Nebentätigkeiten fanden.

Den meisten Zuspruch hatte Station F (die rollende Magnetkugel). Mit ihr wurde am längsten und intensivsten gearbeitet, sie schien Spaß zu bereiten.

Protokolle – Leistungen

Nach dieser Intensivphase hatten die Schülerinnen und Schüler in Mathematik- und Physikstunden Gelegenheit zur Fertigstellung ihrer Dokumentationen. Auf den ersten Blick fielen formale Unterschiede auf: Die meisten der Gruppen gaben handschriftlich vervollständigte Protokolle ab, einige erstellten die ihren in elektronischer Form (die Arbeitsblätter waren als WORD-Dateien zur Verfügung gestanden).

Aus inhaltlicher Sicht waren die Unterschiede nicht so deutlich. Wir bewerteten die abgegebenen Produkte nach dem Grad der Bewältigung der einzelnen Aufgaben. Über alle Gruppen gemittelt ergab sich ein Wert von 78% richtiger Lösungen, die höchsten Werte lagen bei 90% und die niedrigsten bei 60%. Die Schülerinnen und Schüler haben also im Gesamten die Ziele in befriedigendem Maße erreicht. Der Blick ins Detail zeigt, dass die Arbeit innerhalb der Gruppen maßgeblich von den leistungsstarken Mitgliedern getragen wurde, die den theoretischen und rechnerischen Anforderungen am besten gewachsen waren; die experimentellen Teile der Aufgaben wurden von allen bewältigt.

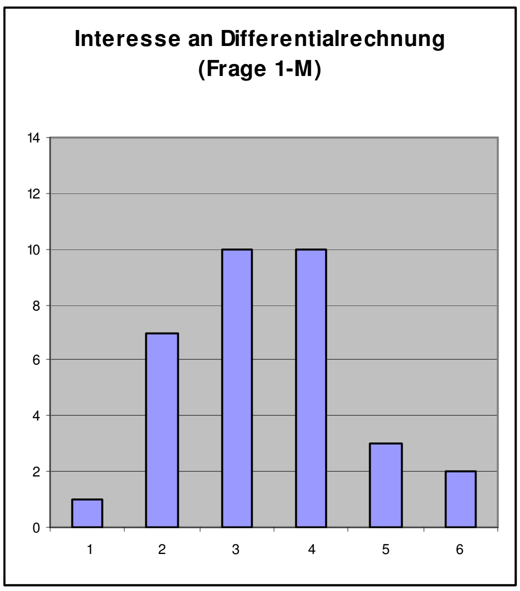
Fragebogenuntersuchung

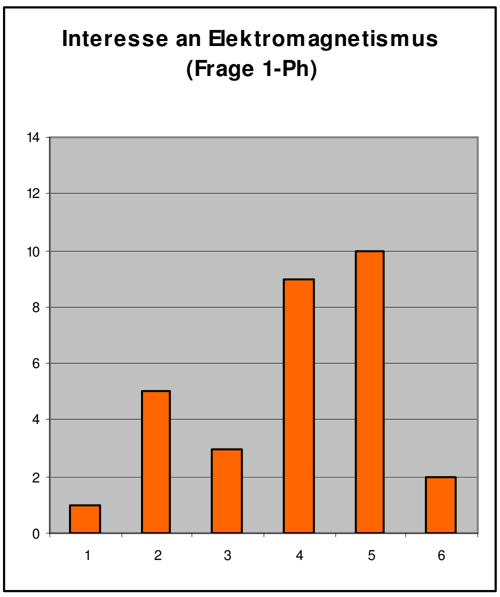
Der Fragebogen ist im Anhang (Seite 51) abgedruckt, hier folgt eine Zusammenfassung der gestellten Fragen:

1. Wie interessant war für dich das Thema:
   Mathematisch: (1 bis 6 (gar nicht – sehr))
   Physikalisch: (1 bis 6)
2. Wie bewertest du die Methode Stationenbetrieb? (1 bis 6)
3. Welche Station hat dir am besten gefallen?
   Warum?
4. Welche Station hat dir am wenigsten gefallen?
   Warum?
5. Was meinst du zur fächerübergreifenden Arbeit Mathematik-Physik?
   Begründung:
6. Sollte eine ähnliche Aktion wieder einmal gemacht werden? (ja/nein)
7. Was sollte verbessert werden?

Ergebnisse

Mit der ersten Frage wollten wir das Interesse am Thema aus mathematischer und physikalischer Sicht ermitteln. Das Fachinteresse sollte auch als Einteilungskriterium dienen, zum Beispiel für Fragen *wie: Wie kommt der Stationenbetrieb bei den mathematisch weniger Interessierten an?*

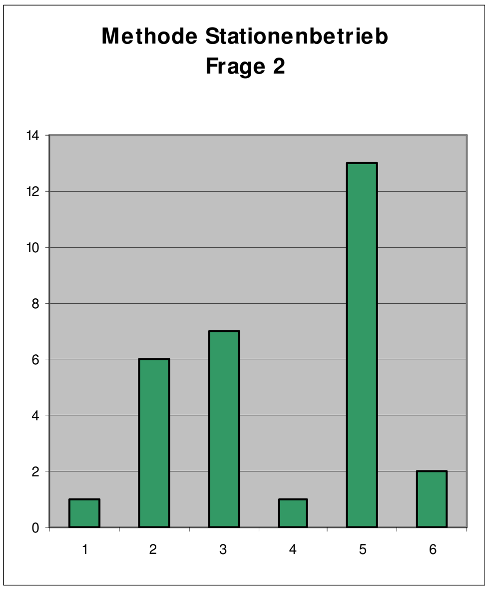


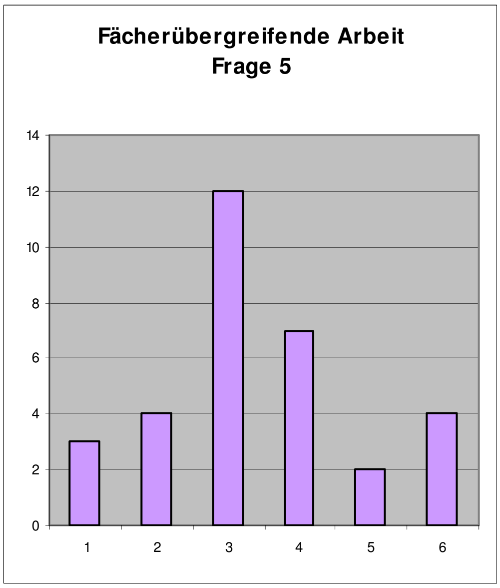


Die beiden Diagramme zeigen die Verteilung der Antworten von 1 (sehr gering) bis 6 (sehr groß), auf der Ordinate ist die Anzahl der Probanden aufgetragen. Für die erste Analyse kombinierten wir die beiden unterrichteten Gruppen, die Antworten stammen also von allen Schülerinnen und Schülern.

Wir sehen recht typische Verteilungen, die Glockenkurven ähneln. Das Interesse am Elektromagnetismus war etwas größer als jenes an der Differentialrechnung, wo der Schwerpunkt der Antworten im mittleren Bereich lag. Bei den Extrema (1 und 6) handelte es sich bis auf einen Schüler nicht um die gleichen Personen, das heißt: Der gar nicht an Differentialrechnung interessierte ist ein anderer als der gar nicht an Elektromagnetismus interessierte Schüler.

Wie kam die Methode des Stationenbetriebs an? Die Antworten auf Frage 2 zeigten eine Art von Polarisierung mit etwa der gleichen Zahl hoher Zustimmung wie leichter bis starker Ablehnung.





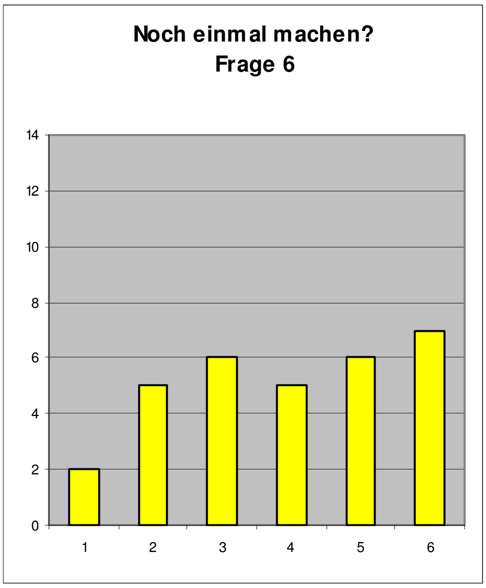
Etwas enttäuschend empfanden wir die Einschätzung der Probanden bezüglich der *fächerübergreifenden Arbeit*, deren Sinn sich im Stationenbetrieb nur für einen Teil der Schülerinnen und Schüler eröffnet hatte – wie aus den Daten zu entnehmen war, für die Interessierten (Frage 1). Allerdings begründeten diese ihre Bewertung in weitaus höherem Maße als die anderen. Einige Begründungen seien zitiert.

> *„Man weiß endlich warum man z.B. Differentialrechnung lernt"*
> *„Beispiele für praktische Anwendungen der Mathematik in der Physik"*
> *„Man kann beides praktisch anwenden"*
> *„Gut, weil man Anwendungen für die theoretische Mathematik hat"*
> *„Anwendungen für Mathe interessant"*
>
> *„Es ist nicht wirklich eine Verbindung zustandegekommen"*
> *„Physikalischer Aspekt kommt in Mathe zu kurz, mathematischer Aspekt wird in Physik nicht genüge getan"*

Die Frage nach der *Beliebtheit der Stationen* ergab einen eindeutigen Sieger: Die rollende Magnetkugel (F) wurde von etwa 50% genannt. Weniger eindeutig formierte sich die Ablehnung – ca. 15% kritisierten Station E (Schwingkreis). Die Begründungen dafür waren ähnlich wie die häufigste Kritik am Stationenbetrieb an sich: *zu schwierig, zu wenig Zeit.*

> *„Kopfweh gekriegt beim Rechnen";„Etwas unverständlich"*

Ein anderes Bild zeigt die Frage (6) nach einer möglichen Wiederholung so einer Aktion, nämlich beinahe eine Gleichverteilung über alle Antworten, mit leicht positiver Tendenz. Offensichtlich sah ein Teil der Schülerinnen und Schüler Verbesserungsbedarf, darauf zielte unsere letzte Frage.



Was könnte man verbessern? Von den etwa drei Viertel der Probanden, die eine diesbezügliche Antwort gaben, kritisierten die meisten die knappe Zeit, den hohen Schwierigkeitsgrad oder beides. Genannt wurde weiters zu geringe Hilfestellung und nicht funktionierende Geräte.

> *„Länger Zeit, Versuche zu machen“*
> *„Mehr Zeit, weniger Arbeit“*
> *„Teilweise Leichter verständliche Stationen“*
> *„Mehr Zeit, genauerer Arbeitsauftrag, bessere Hilfestellung“*
> *„Alles sollte funktionieren, vorher erklärt werden“*

Die Ergebnisse der Befragung bestätigten unsere Beobachtungen: Für leistungsstarke interessierte Schülerinnen und Schüler war der Stationenbetrieb eine positive Herausforderung, sie goutierten auch die Methode des Zugangs.

Resümee von Michael Mayer

Eine Schule soll Schülerinnen und Schüler nicht nur fördern, sondern auch herausfordern. Dieser Lernzirkel war vom Niveau her eindeutig an den besseren bzw. leistungsstärkeren orientiert. Er gab diesen vielleicht sonst etwas Unterforderten die Möglichkeit, ihr Wissen und ihre Kompetenzen voll auszuschöpfen. Grundsätzlich waren alle Schülerinnen und Schüler positiv eingestellt und motiviert, am Lernzirkel zu arbeiten, da er eine Abwechslung zu klassischen Unterrichtsformen darstellte. Sie starteten ihre Arbeit mit viel Engagement und Einsatzbereitschaft. Aufgrund des hohen Schwierigkeitsgrades empfanden jedoch viele die Stationen des Lernzirkels als zu schwierig. Vor allem der theoretische Teil stellte auch leistungsstarke manchmal vor Probleme. Trotzdem arbeiteten die meisten brav an den Stationen und versuchten, die Aufgabenstellungen zu erfüllen.

Wir Lehrkräfte sahen diesen Lernzirkel nicht nur aus physikalischer Sicht als hochwertig an, sondern empfanden ihn auch in der Vermittlung sozialer Kompetenzen als wichtig. Neben Teambildung, Arbeitsteilung und Kommunikationskompetenz hatten die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, von einander zu lernen. Wenn leistungsstärkere den anderen Gruppenmitgliedern physikalische Zusammenhänge erklärten, bei technischen Schwierigkeiten aushalfen und bei theoretischen Berechnungen Hilfe leisteten, wirkte sich das positiv auf das soziale Gefüge der Klasse aus. Zusammenfassend haben wir mit diesem Lernzirkel eine große Bandbreite an Lern- und Kompetenzzielen abgedeckt, womit der große Vorbereitungsaufwand sicherlich gerechtfertigt war.

4 RESÜMEE UND AUSBLICK

Immer wieder Bewegungsaufgaben!

Wir haben uns schon im vorigen Jahr gewundert, warum sich physikalische Aufgaben in Mathematik-Schulbüchern hauptsächlich mit Mechanik beschäftigen, beginnend eigentlich bereits in der 2. Klasse – wieder und wieder werden Bewegungen gerechnet. Einen Grund dafür kennen wir nach diesem Jahr: Die Physik wird immer schwieriger.

Koordiniert man ernsthaft aufsteigende Mathematik mit aufsteigender Physik, schreiten beide zu anspruchsvolleren Inhalten und Methoden fort. Wenn es nur darum geht, Kalküle in irgendwelche Anwendungen einzukleiden, ist verständlich, die Physik dazu möglichst einfach zu halten, mit ihr im Bekannten zu verbleiben. Die Schulbücher scheinen durchwegs auf übendes Rechnen zu zielen, die Kontexte sind Dekoration. Wirkliches Problemlösen würde erfordern, die Aufgabenstellungen genauer auszuarbeiten, also verwendete Begriffe aus anderen Disziplinen wie Physik sicherzustellen, was die ohnehin wenig beliebten Textaufgaben umfangreicher und komplexer machen würde.

Auch unser Konzept der inhaltlichen Koordination stieß an seine Grenzen. Schwieriges des einen Faches mit Schwierigem des zweiten zu verknüpfen, kann nicht Einfaches ergeben. Hier ändern auch andere Unterrichtsmethoden wenig: Mit dem Lernzirkel haben wir uns sehr bemüht, aber die inhaltlichen Anforderungen waren von beiden Fächern her hoch, womit wir hauptsächlich leistungsstarke Schülerinnen und Schüler ansprechen konnten. Insgesamt gesehen waren die Wertungen für unseren Einsatz durchschnittlich, wofür ein weiterer Grund die fehlende Neuheit der Zusammenarbeit sein dürfte.

Ansonsten und im Gesamten halten wir Lehrkräfte die Koordination jedoch für erfolgreich. Die aus den Vorgängerprojekten bekannten positiven Wirkungen wie ein besseres gegenseitiges Verständnis haben sich für uns fortgesetzt und vertieft. Daher planen wir, die Reihe fortzusetzen und mit der 8. Klasse abzuschließen, unbeschadet der leichten Ermüdungserscheinungen.

Wie gehen wir aber mit den parallel steigenden Anspruchsniveaus um? Zurück zur Mechanik? Eine Antwort auf diese Fragen fanden wir schon im Rahmen dieses Projekts, wo uns die Evaluation des Stationenbetriebs zu obigen Überlegungen geführt hat. Wir müssen uns rückbesinnen auf die allgemeineren Kompetenzen, insbesondere auf die fachübergreifenden, und damit auf das Grundbildungskonzept (siehe 1.1). Mit steigenden inhaltlichen Ansprüchen nehmen Grundbildungsbezüge zwangsläufig ab, wir schrauben uns mit einigen leistungsstarken Schülerinnen und Schülern hoch in Richtung Spezialistentum und lassen die Mehrheit zurück, staunend bis gelangweilt. Der parallele Unterricht aus Stochastik und Quantenphysik war ein erster Schritt, für eine mögliche Weiterführung des Projekts wird aber notwendig sein, gemeinsame Standards und Kompetenzen stärker zu betonen. Wenn dann die Inhalte etwas zurücktreten, kann auch in der 8. Klasse die Mechanik wieder mal herangezogen werden.

5 LITERATUR

Anton M. u.a.: Ein dynamisches Konzept für mathematisch-naturwissenschafltiche Grundbildung. IMST²-Newsletter, Jahrgang 2/8, 2003/04. Herausgegeben vom IFF im Auftrag des bm:bwk

Blay, M: Die Bewegungslehre im 17. Jahrhundert. In: Spektrum Spezial 1/2003: Das Unendliche, S. 42 ff. Spektrum-Verlag

Bm:bwk: Lehrplan AHS Oberstufe, Bundesministerium für Unterricht, Wien. BGBl. II Nr. 277/2004 http://www.bmbwk.gv.at/schulen/unterricht/lp/abs/ahs_lehrplaene_oberstufe.xml

Eisner M.: Physics Educators and Mathematics Educatros Should Work Together. In: The Physics Teacher 10/91, S. 478 ff

Geretschläger R., Griesel H., Postel H.: Elemente der Mathematik 7 Dorner-Verlag 2006

Götz S. u.a.: Mathematik Lehrbuch 7. öbv-hpt 2006

Jaros A., Nussbaumer A. u.a.: Basiswissen Physik-compact 3 Öbv-hpt 2005

Kiesling, S: Differenzialrechnung? Anwendungen in der Physik. BORG Monsbergergasse, Graz 2005

Klika M: Fundamentale Ideen im Analysisunterricht. In: mathematica didactica, Sonderheft 1/81

Knechtl W., Rath G.: MPh5. Mathematik - Physik in der 5. Klasse Realgymnasium koordiniert unterrichten. BRG Kepler, Graz 2005

Knechtl W., Rath G.: MPh6. Mathematik - Physik in der 6. Klasse Realgymnasium koordiniert unterrichten. BRG Kepler, Graz 2006

Malle G., u.a.: Mathematik verstehen 7. öbv-hpt 2006

Martinez-Torregrosa J., Lopez-Gay R. und Gras-Marti A.: Mathematics in Physics Education: Scanning Historical Evolution of the Differential to Find a More Appropriate Model for Teaching Differential Calculus in Physics. In: Scinece & Education (2006) 15: 447-462, Springer Verlag

Putz B.: Faszination Physik 3+4. Veritas-Verlag 2006

Rath, G.: Auseinandergelebt? Probleme und Lösungsansätze zur Koordination von Physik und Mathematik an höheren Schulen. In: plus lucis 1-2 2006, S. 9 ff

6 ANHANG

6.1 Lehrplanvergleich Mathematik-Physik

<table>
<tr><th>Mathematik 7. Kl.</th><th>Physik (7./8. Kl.)</th></tr>
<tr><td>

Algebraische Gleichungen und komplexe Zahlen

- Abspalten reeller Linearfaktoren von Polynomen
- Reflektieren über die Zweckmäßigkeit des Erweiterns der reellen Zahlen
- Rechnen mit komplexen Zahlen
- Kennenlernen *des Fundamentalsatzes der Algebra*

Differentialrechnung

- Definieren des Differentialquotienten (Änderungsrate), ausgehend vom Differenzenquotienten (mittlere Änderungsrate), Deuten dieser Begriffe als Sekantensteigung bzw. Tangentensteigung, weiteres Deuten in außermathematischen Bereichen
- Kennen des Begriffes Ableitungsfunktion, Berechnen von Ableitungen elementarer Funktionen
- Deuten der zweiten Ableitung in inner- und außermathematischen Bereichen
- Herleiten von Differentiationsregeln zur Ableitung von Polynomfunktionen, Kennen weiterer Differentiationsregeln (sofern sie für Funktionsuntersuchungen verwendet werden)
- Untersuchen einfacher und im Hinblick auf Anwendungen sinnvoller Funktionen bezüglich Monotonie und Krümmungsverhalten, Ermitteln von Extrem- und Wendestellen
- Lösen von Extremwertaufgaben
- Präzisieren einiger Grundbegriffe und Methoden der Differentialrechnung (insbesondere des Begriffes Grenzwert) unter Einbeziehung des Begriffes Stetigkeit
- Kennenlernen *weiterer Anwendungen der Differentialrechnung*

Nichtlineare analytische Geometrie

- Beschreiben von Kreisen, Kugeln und Kegelschnittslinien durch Gleichungen
- Schneiden von Kreisen bzw. Kegelschnittslinien mit Geraden, Ermitteln von Tangenten
- Beschreiben von ebenen Kurven durch Parameterdarstellungen

Beschreiben von Raumkurven und Flächen durch Parameterdarstellungen

</td><td>

Die Schülerinnen und Schüler sollen folgende physikalische Bildungsziele erreichen:

- die bisher entwickelten methodischen und fachlichen Kompetenzen vertiefen und darüber hinaus Einblicke in die Theorieentwicklung und das Weltbild der modernen Physik gewinnen - verstärkt Querverbindungen mit anderen Bereichen knüpfen können
- den Einfluss der aktuellen Physik auf Gesellschaft und Arbeitswelt verstehen
- Licht als Überträger von Energie begreifen und über den Mechanismus der Absorption und Emission die Grundzüge der modernen Atomphysik (Spektren, Energieniveaus, Modell der Atomhülle, Heisenberg'sche Unschärferelation, Beugung und Interferenz von Quanten, statistische Deutung) verstehen
- mit Hilfe der Elektrodynamik Grundphänomene elektrischer und magnetischer Felder (Feldquellen, Induktionsprinzip, elektromagnetische Wellen, Licht, Polarisation, Beugung) erklären können und ihre Bedeutung in einfachen technischen Anwendungen verstehen sowie ein sicherheitsbewusstes Handeln im Umgang mit elektrischen Anlagen entwickeln
- Einblicke in den Strahlungshaushalt der Erde gewinnen und Grundlagen der konventionellen und alternativen Energiebereitstellung erarbeiten
- Einsichten in kernphysikalische Grundlagen (Aufbau und Stabilität der Kerne, ionisierende Strahlung, Energiequelle der Sonne, medizinische und technische Anwendungen) gewinnen und die Problematik des Umgangs mit Quellen ionisierender Strahlung verstehen
- Einblicke in die Struktur von Raum und Zeit (Entwicklungsprozesse von Weltsichten zur modernen Kosmologie, Gravitationsfeld, Grundgedanken der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie, Aufbau und Entwicklung des Universums) gewinnen
- Verständnis für Paradigmenwechsel an Beispielen aus der Quantenphysik oder des Problemkreises Ordnung und Chaos entwickeln und Bezüge zum aktuellen Stand der Wissenschaft / Forschung herstellen können

</td></tr>
</table>

Stochastik • Kennen der Begriffe diskrete Zufallsvariable und diskrete Verteilung • Kennen der Zusammenhänge von relativen Häufigkeitsverteilungen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen; von Mittelwert und Erwartungswert sowie von empirischer Varianz und Varianz Arbeiten mit diskreten Verteilungen (insbesondere mit der Binomialverteilung) in anwendungsorientierten Bereichen	• Einblicke in die Bedeutung der Materialwissenschaften (Miniaturisierung, Erzielung definierter Eigenschaften durch kontrollierte Manipulation, Bionik) gewinnen und deren physikalische Grundlagen erkennen • Verständnis für die schrittweise Verfeinerung des Teilchenkonzepts, ausgehend von antiken Vorstellungen bis zur Physik der Quarks und Leptonen, gewinnen und damit die Vorläufigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse verstehen

6.2 Koordinierte Jahresplanung

Jahresplanung 7.ac, 2006/07 Mathematik - Physik

Waltraud Knechtl, Christa Preis, Gerhard Rath, Michael Mayer, BRG Kepler Graz

Monat	Mathematik	Physik
Sept **Okt** **Nov** **Dez** **Jan** **Feb** **März** **April** **Mai** **Juni**	**Komplexe Zahlen und Gleichungen höheren Grades** Komplexe Zahlen Gauss´sche Zahlenebene, Polarform Rechnen mit komplexen Zahlen in Polarform Quadratische Gleichungen (Satz von Vieta), Polynomgleichungen **Grundlagen der Differentialrechnung** Berechnen von Tangentensteigungen Ableitungsfunktionen **Ableitungsregeln** Potenzregel, Faktorregel, Summen- und Differenzregel, Produkt- und Quotientenregel, Kettenregel, Implizites Differenzieren, Stetigkeit und Differenzierbarkeit **Funktionsuntersuchungen** Extremstellen, Wendepunkte, Polynomfunktion **Weitere Funktionstypen – Anwendungen** Gebrochenrationale Funktionen Anwendungen der Ableitungen (Geschwindigkeit als punktuelle Änderungsrate) *Exponentialfunktion, Logarithmusfunktion, trigonometrische Funktion Extremwertaufgaben **Nichtlineare analytische Geometrie** Kreis Ellipse Hyperbel Parabel Kugel Beschreibung ebener Kurven in Parameterform **Stochastik** Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsverteilungen Binomialverteilung Weitere Wahrscheinlichkeitsverteilungen (hypergeometrische, geometrische)	**Gleichstrom und Wechselstrom** Grundgesetze von Gleichstromkreisen, Spannung, Stromstärke, Widerstand, Leistung (Wiederholung) Wechselstrom: Effektivwerte, Blindwiderstand Einblick in komplexe Zeigerdarstellung Elektrische Anlage von Haushalten, Drehstrom **Elektrische und Magnetische Felder** Von der Fern- zur Nahwirkung, Feldbegriff Faraday und Maxwell Elektromagnete Lorentz-Kraft, Elektromotor Induktion Generator Transformator Versorgung mit elektrischer Energie **Materie im Magnetfeld** Ferromagnetismus Leitungsmechanismen Supraleitung **Elektromagnetische Wellen** Kondensator, Auf- und Entladen Elektrischer Schwingkreis Elektrosmog – Gefahren? Elektromagnetisches Spektrum IR, UV, Strahlungsgesetze **Optik – Welle und Teilchen** Grundphänomene Brechung und Reflexion Arten von Spiegeln Entstehung von Licht Licht als Welle: Beugung, Interferenz Farben, Polarisation Licht als Teilchen: Laser **Statistische Physik** Gase: Boltzmann-Verteilung Einblicke in die Quantenphysik: Unschärferelation, Pauli-Prinzip, statistische Deutung

6.3 Wechselstrom – Zeigerdiagramme: Simulationen

Lest die Texte der Seiten und spielt die Simulationen durch! Gebt jeweils kurze Beschreibungen in eigenen Worten und kopiert ein typisches Fenster in dieses Dokument!

1. Wechselstrom – Schwingung

http://www.zum.de/dwu/depotan/apem111.htm

2. Effektivwerte – Leistung

http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/wechselstr/effektivwert1

3. Zeigerdiagramm

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph12/grundwissen/03zeiger/zeiger01.htm

4. Wechselstromwiderstände:

http://www.walter-fendt.de/ph14d/wstromkreis.htm

5. Wikipedia

http://de.wikipedia.org/wiki/Wechselstrom

6.4 Messung am „Serienresonanzkreis“

6.4.1 Versuchsblatt

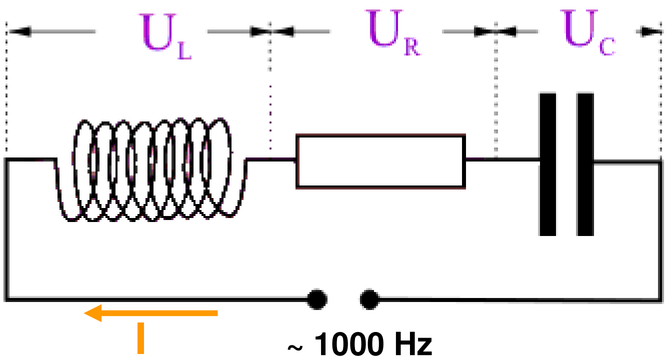
1. Baut eine Serienschaltung

Spule (800 Windungen, Eisenkern): L= 30 mH

Widerstand 100 Ω

Kondensator 1µ F

Spannungsquelle: Funktionsgenerator ~, vorerst 500 Hz



2. Messung der Teilspannungen

Mit einem Voltmeter messt ihr die Spannungen

Gesamtspannung (U_{LRC}):

U_L

U_R

U_C

3. Messung der Stromstärke

Ein Amperemeter wird in den Kreis geschaltet.

Ihr messt die Stromstärke I: ……………………..

4. Resonanzfall

Die Frequenz wird langsam (von 500 bis 1000 Hz) hinaufgeregelt, bis die Stromstärke ein **Maximum** (I_{res}) erreicht. Dann sollten die Spannungen an L und C gleich groß sein, sich aber im gesamten aufheben, da sie ja im Gegentakt schwingen. Weiters müsste gelten: $U_{LRC} = U_R = I_{res} \cdot R$

Wie groß ist die Resonanzfrequenz?

Alle diese Werte lassen sich mit den berechneten vergleichen!

6.4.2 Info: Wie berechnet man eine Serienschaltung bei Wechselstrom?

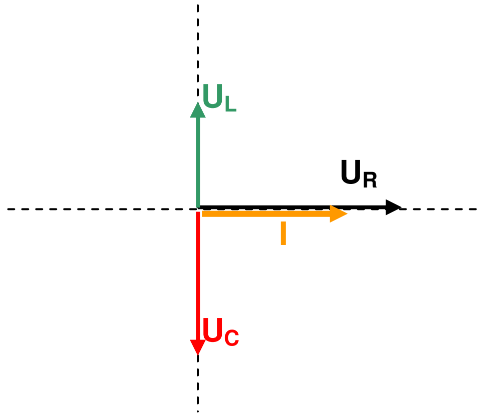
Eine Reihenschaltung von Spule (L), (ohm'schem) Widerstand (R) und Kondensator (C).

Es lässt sich an jedem Element die Spannung messen – anders als bei Gleichstrom gilt aber nicht: $U_L+U_R+U_C$ = Gesamtspannung (U_{LRC}).

Ursache: Die Wechselspannungen an Kondensator und Spule schwingen gegenphasig. Die Addition lässt sich aber mit komplexen Werten ($\underline{U}_L$ $\underline{U}_R$ $\underline{U}_C$) durchführen, da hier die Phasenverschiebung mitgerechnet wird.

Grafische Darstellung (Zeigerdiagramm)

Die schwingenden Spannungen werden durch (komplexe) Zeiger dargestellt. Die reelle Achse liegt waagrecht – auf ihr liegt auch die Stromstärke I.



Widerstände

Ohm'scher Widerstand: R – „Wirkwiderstand"

Induktiver Widerstand: iω L

Kapazitiver Widerstand: i/(ω C)

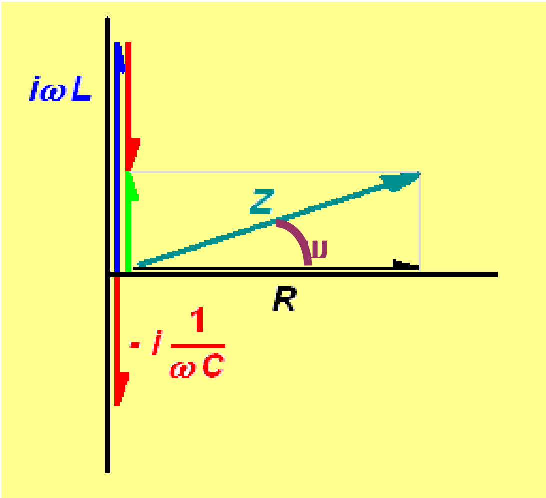
Diese beiden nennt man „**Blindwiderstände**", da sie zwar die Stromstärke vermindern, aber Energie nicht „verbrauchen" (in Wärme umwandeln), sondern im magnetischen (L) bzw. elektrischen (C) Feld speichern.

Für die komplexen Werte gilt das bekannte **Ohm'sche Gesetz U=R·I**.

Da es im Serienkreis es nur eine Stromstärke I gibt, kann man statt der Spannungen auch die Widerstände zeichnen.

Der Betrag des **Gesamtwiderstandes** der Schaltung (Z: „Impedanz" oder „Scheinwiderstand") ergibt sich durch eine Addition der komplexen Zeiger:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$



Resonanzfall

Der Widerstand des Kondensators sinkt mit der Frequenz, jener der Spule steigt mit der Frequenz. Es gibt daher eine „Resonanzfrequenz" für den Fall, dass beide Widerstände gleich groß sind, also: *1/ωC = ωL*

Dann heben sich die Spannungen an diesen Elementen auf, die Gesamtspannung ist jene am ohm'schen Widerstand, die Stromstärke ist maximal.

Resonanzfrequenz: *ω^2=1/L.C ->* $f = \dfrac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$

Phasenverschiebung ψ zwischen Z und R $\tan\varphi = \dfrac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}$

Rechenbeispiel

Spule (800 Windungen, Eisenkern) - L= 30 mH

Widerstand 100 Ω

Kondensator 1µ F

Frequenz: 500 Hz (->ω =2π f = 3140 1/s)

Gesamtspannung: 4 V_{eff}

Gefragt: Gesamtwiderstand Z, Stromstärke I, Teilspannungen, Resonanzfrequenz

1. Gesamtwiderstand (Impedanz) Z

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

Kondensator: 1/ωC = 318 Ω

Spule: ωL = 94 Ω

Z = 245 Ω

2. Stromstärke

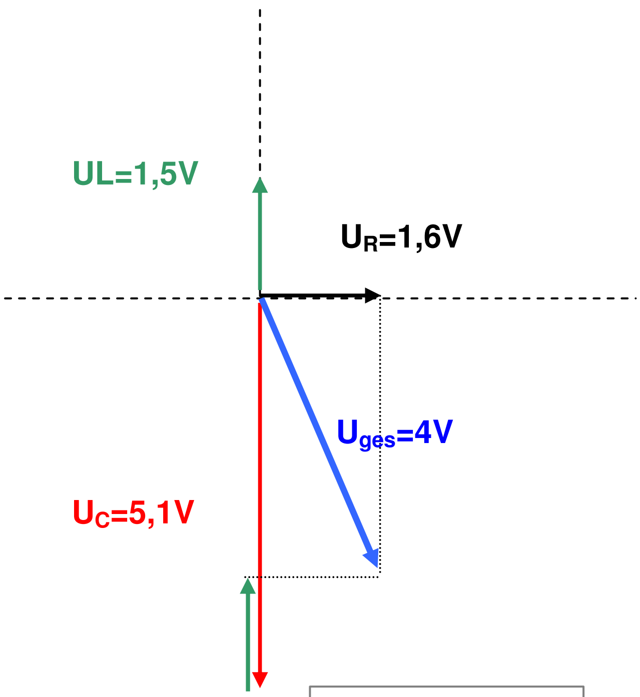
$I_{eff} = U_{eff}/Z$ = 0,016 A = 16 mA

3. Teilspannungen

an C: I_{eff} * *1/ωC = 5,1 V*

an L: I_{eff} * *ωL = 1,5 V*

an R: I_{eff} * R = 1,6 V



Resonanzfrequenz

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

f = 920 Hz

6.5 Stationenbetrieb: Schülerblätter

A. Ein Kondensator differenziert Spannung

Idee

Wir legen eine Wechselspannung an einen Kondensator – wie sieht die sich ergebende Stromstärke aus?

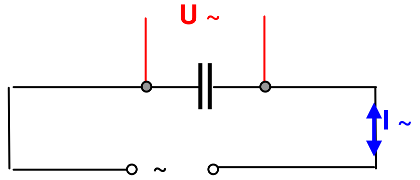


Abb 1: Prinzipschaltung

Theorie

Kondensator: Physiklehrbuch S. 14

http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_%28Elektrotechnik%29

Versuch, Ableitung:

http://lbsneu.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/wechselstr/wechs_kond.htm

A.1: Lest nach, wie sich Kondensatoren beim Anlegen von Wechselspannung verhalten! Wie erhält man eine Funktion der Stromstärke I(t) aus der Kondensatorgleichung Q=C.U ?

Messung

Als Spannungsquelle verwenden wir einen Funktionsgenerator.

Zum Sichtbarmachen von U und I verwenden wir ein Oszilloskop. Kanal 2 (CH2) zeigt die Spannung U, Kanal 1 die Stromstärke I (indirekt als Spannung an einem Widerstand).

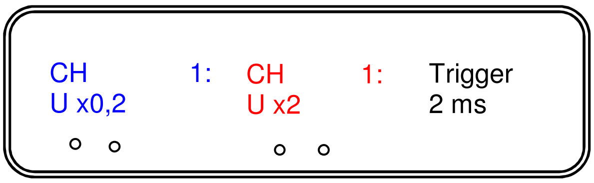


Abb.2: Oszilloskop, Einstellungen

A.2 a) Legt an den Eingang 100 Hz Sinus. Wie sieht der Ausgang aus? b) Wechselt zu 100 Hz Sägezahn. Wie sieht nun der Ausgang aus? Interpretiert die Ergebnisse!

Berechnung

A.3 Stellt eine der ansteigenden (Sägezahn)-Geraden als Funktion dar und differenziert diese! Vergleicht das Ergebnis mit der gemessenen Kurve (bzw. Funktion) am Ausgang!

B. Aufladen eines Kondensators

Idee

Ein Kondensator wird aufgeladen. Wie „füllt er sich an“, wie verlaufen Stromstärke und Spannung während des Ladens?

Theorie

Das Aufladen erfolgt über einen Widerstand R.

Öffnet: http://de.wikipedia.org/wiki/RC-Glied

B.1 - wie sieht der Ladevorgang theoretisch aus? Was ist die Zeitkonstante τ?

Messung

Öffnet: *W(Fachgruppen):/Physik/Projekte/ V4Box/ladekurve.exe*

Mit dem Umschalter wird der Kondensator aufgeladen bzw. über die Lampe entladen.

Die angelegte und die Kondensator-Spannung werden über die V4Box mit dem PC gemessen und als Kurven dargestellt.

B.2: Vergleicht 100µF mit 1000 µF. Berechnet jeweils die Zeitkonstante τ.

Berechnungen

B.3: Stellt Funktionsgleichungen auf, die die gemessene Kurven modellieren!

B.4: Vergleicht mit den Mathebuchaufgaben 5.45, 5.93

C. Dynamo

Idee

Mit einem Handgenerator wird Gleichspannung erzeugt und gemessen. Was passiert, wenn man schneller dreht – und warum?

Theorie

Wie ein Generator funktioniert und wie man die Funktion für den zeitlichen Verlauf der Spannung erhält, findet ihr im Physikbuch auf *S 69,* oder genauer*:*

http://lbsneu.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/induktion/drehspule.htm

Eine Animation dazu: http://www.walter-fendt.de/ph14d/generator.htm

C.1: Fasst zusammen, wie man aus dem Induktionsgesetz auf die Gleichung für die Spannung U(t) kommt! Wie berechnet sich der Scheitelwert dieser Spannung, wovon hängt er ab?

Messung

Dreht den Handgenerator mit möglichst konstanter Drehzahl gedreht, zuerst langsam, z.B. 1 U/s. Lest die durchschnittliche Spannung am Voltmeter ab.

Ziel ist, die Drehzahl in konstanten Schritten zu erhöhen und jedes Mal die Spannung zu messen!

Drehzahl (U/s)	Spannung (V)
1	
2	
3	

C.2 Fasst die Ergebnisse in einer Tabelle zusammen und interpretiert sie mithilfe der Theorie!

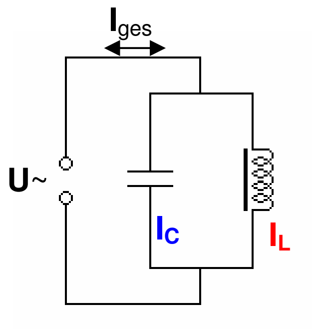
Berechnungen

C.3: Zeichnet die Graphen der U(t)-Funktionen für zwei Drehzahlen!

D. Parallelresonanz

Idee

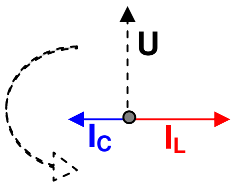
Eine Parallelschaltung von Kondensator und Spule zeigt ein seltsames Verhalten. Wir untersuchen die Stromstärken in dieser Schaltung.



Theorie

Bei einer Spule eilt die Spannung der Stromstärke um 90° voraus, beim Kondensator ist es gerade umgekehrt.

Bei einer Parallelschaltung liegt an beiden Bauteilen die gleiche Spannung, das Zeigerdiagramm sieht so aus:

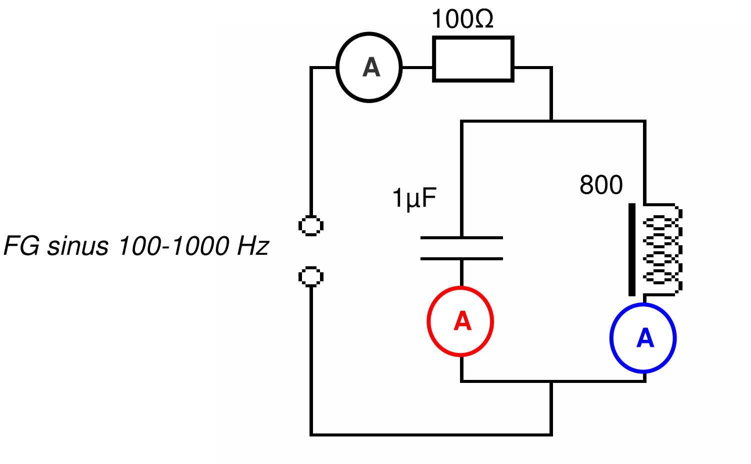


Öffnet http://de.wikipedia.org/wiki/Schwingkreis.

D.1: Wann tritt der Resonanzfall ein? Wie lautet die Formel, nach der man die Resonanzfrequenz berechnen kann?

Experiment

Regelt die Anregungs-Frequenz mit dem Funktionsgenerator langsam von 100 Hz aus hoch. Beobachtet die 3 Amperemeter.



D.2: Bei welcher Frequenz wird die Gesamtstromstärke (am Widerstand) minimal? Wie groß sind dann die Stromstärken in Spule bzw. Kondensator?

Berechnungen

D.3: Aus der Formel für die Resonanzfrequenz kann man nun die Induktivität L der Spule berechnen. Wie groß ist sie?   *D.4: Löst die Aufgabe 5.61 in deinem Mathe-Lehrbuch. Vergleiche die Angabe und die Ergebnisse mit deiner Messung!*

E. Schwingkreis

Idee

Eine Parallelschaltung von Spule und Kondensator kann elektrische Schwingungen ausführen (siehe: D). Ohne ständige Anregung sind diese gedämpft.

Theorie

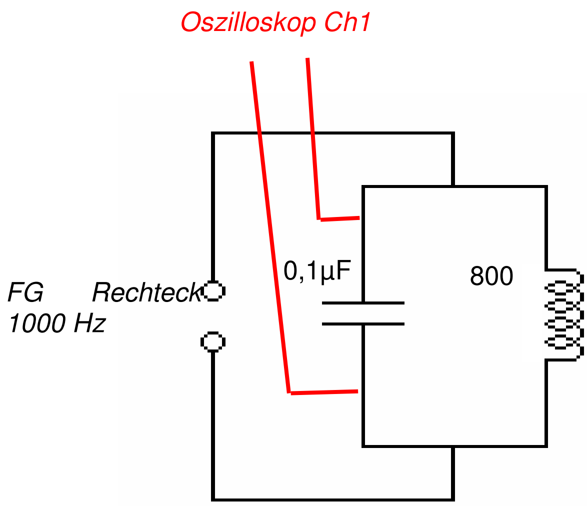
Öffnet http://lbsneu.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/wechselstr/schwingkreis.htm

Führt das virtuelle Experiment nach den Anweisungen durch! Es zeigt die Stromstärke-Spannungs-Schwingungen im Kreis.

E.1: Skizziert einen Verlauf von U(t), der sich für so eine gedämpfte Schwingung ergeben sollte.

Messung

Da ein einmaliges Aufladen des Kondensators nur einen kurzen Schwingungsimpuls erzeugt, wird er im Experiment durch eine Rechteckschwingung von 1000 Hz (Funktionsgenerator) 1000 mal je Sekunde aufgeladen. Das Oszilloskop kann nun die sich wiederholende gedämpfte Schwingung sichtbar machen.



E.2: Bestimmt die erste Amplitude, die Frequenz und die Dämpfung des Schwingkreises. Berechnet aus dieser Frequenz die Induktivität der Spule.

Berechnungen

E.3: Übertragt die Schwingung auf Papier und stellt (nach dem Mathe-Lehrbuch S. 135 ff) eine Funktionsgleichung auf!

F. Der rollende Magnet

Idee

Eine Metallkugel und eine Magnetkugel rollen eine Metallschiene hinunter. Wir untersuchen die Unterschiede

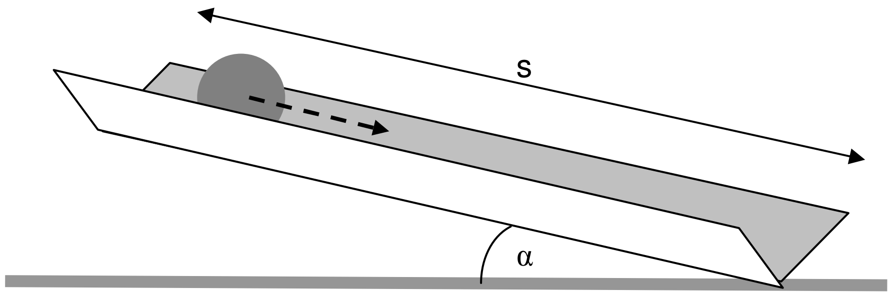
Theorie

Im Mathematiklehrbuch (S. 126/127) wird der Zusammenhang zwischen Weg, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung erklärt, im Speziellen das Gleiten einer Schneelawine (5.27).

WikiPedia behandelt die Kräfte- und Bewegungsverhältnisse an Schiefen Ebenen. http://de.wikipedia.org/wiki/Schiefe_Ebene

F.1: Erklärt die in 5.27 gegebene Formel für den Weg s durch Ableiten der Funktion für die Geschwindigkeit beim Bergabgleiten bzw. –rollen: v(t)=a.t und vergleicht mit den physikalischen Randbedingungen (Kräftezerlegung).

Messung



a) Metallkugel

Die Schiene wird auf eine bestimmte Neigung gebracht. Lasst die Kugel (mehrmals) hinunter rollen und bestimmt den Winkel α, s und t.

F.2: Wie groß ist die Beschleunigung der Kugel? Überprüft die Formel für s(t) mit den gemessenen Werten!

b) Magnetkugel

Wiederholt die Messung mit der Magnetkugel.

Achtung: NeoDym-Magneten sind sehr stark!! Bringt die Kugel nicht in die Nähe von Eisen!

F.3: Welche Bewegung führt diese Kugel aus? Versucht eine Erklärung.

Berechnungen

F.4: Zeichnet die Graphen s/t, v/t und a/t für die Bewegung der beiden Kugeln!

6.6 Stationenbetrieb: Hintergrundinformationen, Lösungen

A. Kondensator differenziert

Mit einem Oszilloskop wird die Spannung (Eingang) an einem Kondensator bzw. an einer Spule mit der sich ergebenden Stromstärke (Ausgang) verglichen.

Theorie

A.1

Bei einem Kondensator eilt die Stromstärke der angelegten Spannung um π /2 voraus.

Kondensatorgleichung**:** Q = C·U (-> Jaros S. 14)

Q: Ladung (Coulomb), C: Kapazität (Farad), U: Spannung (Volt)

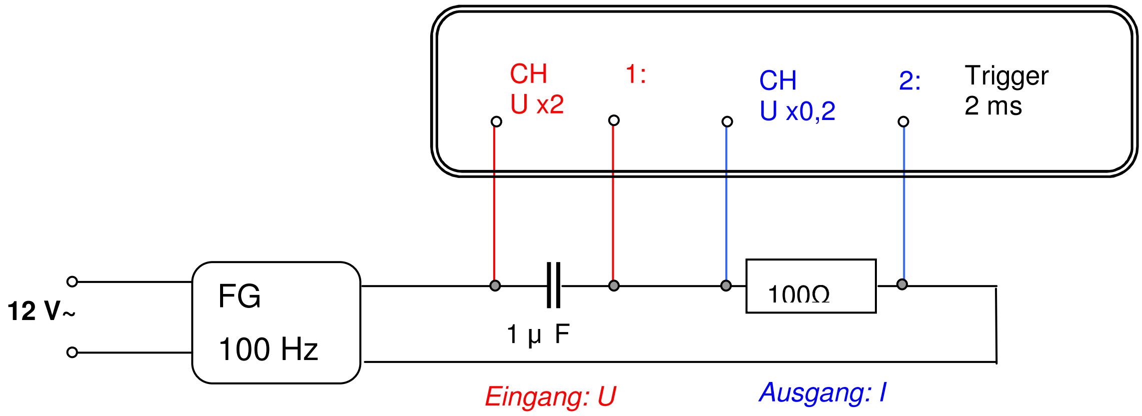
Stromstärke I = dQ/dt ->

$$I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

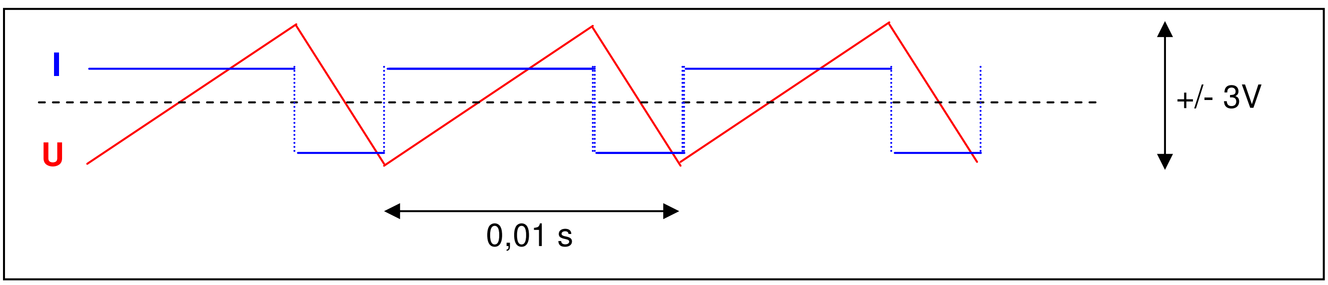
Die Stromstärke ist also die Ableitung der Spannung.

Experiment:

Die an den Kondensator gelegte Spannung (Eingang) wird mit der sich ergebenden Stromstärke (Ausgang) verglichen. Das Oszilloskop kann beide Kurven anzeigen, die Stromstärke aber nicht direkt, sondern als Spannung an einem Widerstand.

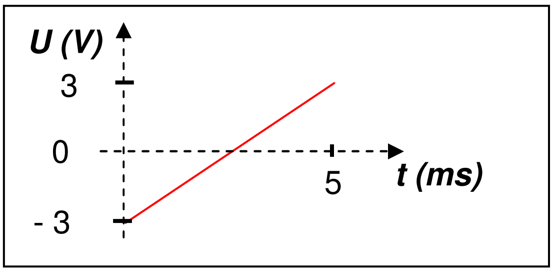


A2 a) Eingang (CH1): 100 Hz Sinus. Ausgang: 100 Hz Cosinus
b) Eingang: Sägezahnschwingung, 100 Hz. Ausgang: Rechteckschwingung
Interpretation: Der Sinus ergibt abgeleitet eine Cosinus-Funktion. Eine Sägezahn-Schwingung besteht aus ansteigenden und abfallenden Geraden. Diese ergeben als Funktionen abgeleitet Geraden parallel zur x-Achse.



Berechnungen

A.3: Beispiel: (Werte siehe Skizze oben)



Allgemein: $y = k \cdot x + d$

->

$U(t) = 6/5 \cdot t - 3$

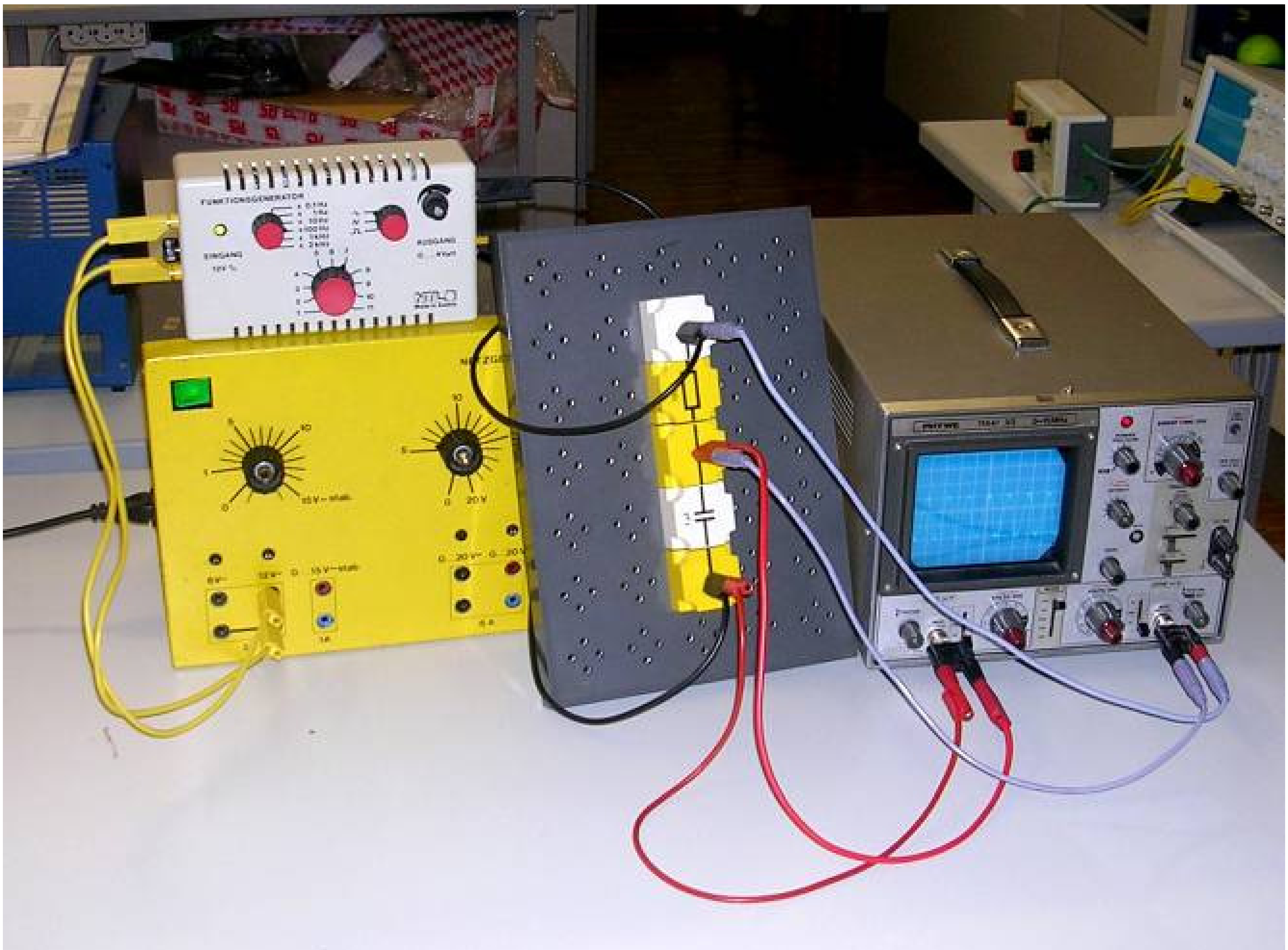
Wobei: k in V/ms

$U' = dU/dt = 6/5$

Weitere Informationen

http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_%28Elektrotechnik%29

http://lbsneu.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/wechselstr/wechs_kond.htm



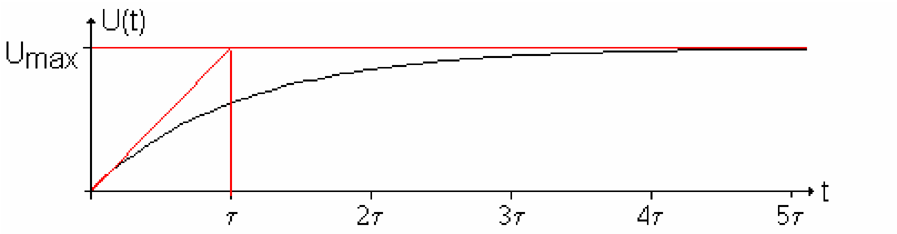
B. Kondensator laden

Ein Kondensator wird über einen Widerstand aufgeladen.

Theorie

B.1: Die Ladezeit ist proportional zum Widerstand R und zur Kapazität C, das Produkt nennt man die Zeitkonstante τ : τ = R.C

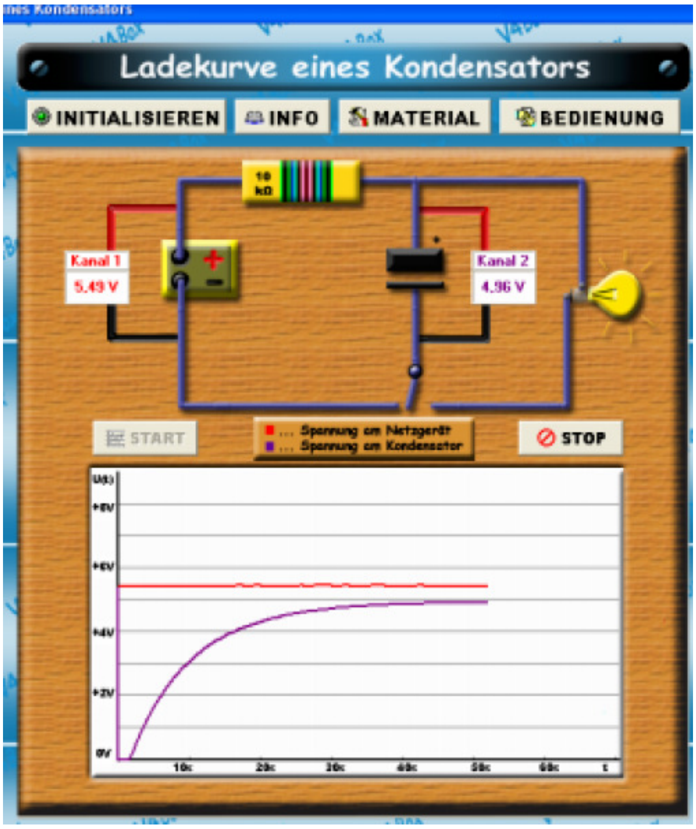
Theoretisch dauert der Ladevorgang unendlich lange, nach 5τ ist der Kondensator aber zu 99% aufgeladen.



Experiment

Ladekurve.exe:

Die angelegte und die Kondensator-Spannung werden über die V4Box mit dem PC gemessen und als Kurven dargestellt.



Die Ladekurve verläuft beim 1000 μ F-Kondensator wesentlich flacher. Theoretisch:

100 μ F: τ = $100 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{4}$ = 1 s

1000 μ F: τ = 10 s

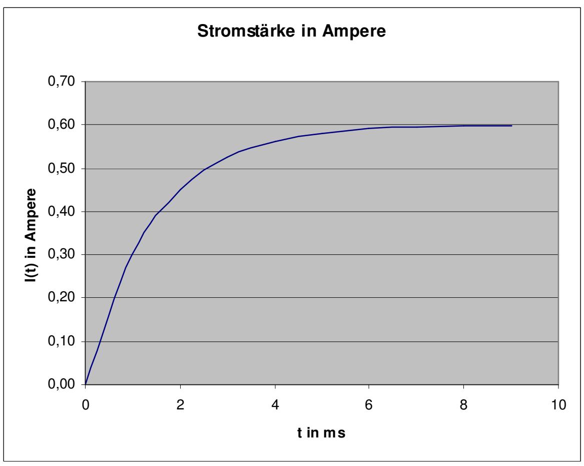
Berechnungen

B.3: $\boxed{U(t) = U_{\max} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$

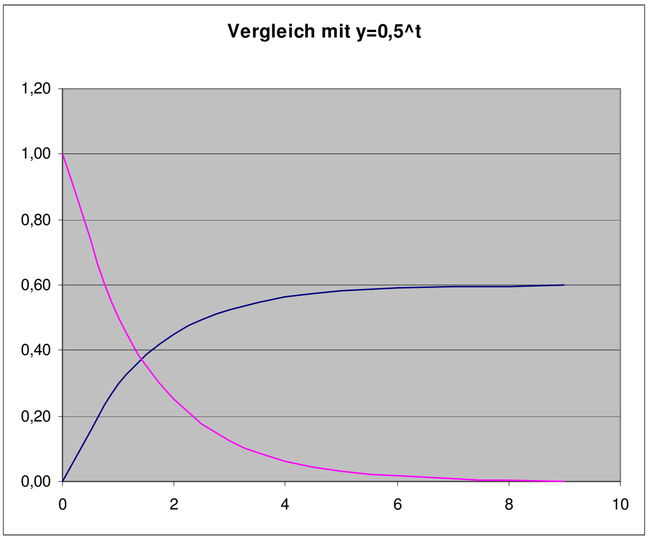
Konkret z.B: $\boxed{U(t) = 4 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{10}})}$

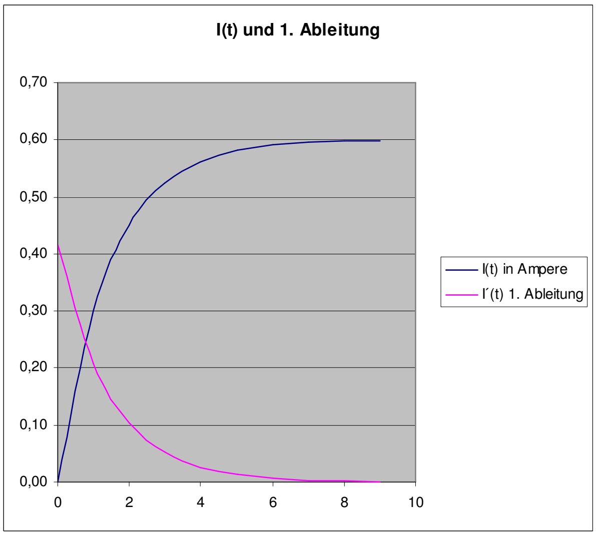
B.4 Aufg. 5.45

t in ms	I(t) in Ampere		I´(t) 1. Ableitung
0	0,00	1,00	0,42
1	0,30	0,50	0,21
2	0,45	0,25	0,10
3	0,53	0,13	0,05
4	0,56	0,06	0,03
5	0,58	0,03	0,01
6	0,59	0,02	0,01
7	0,60	0,01	0,00



8	0,60	0,00		0,00



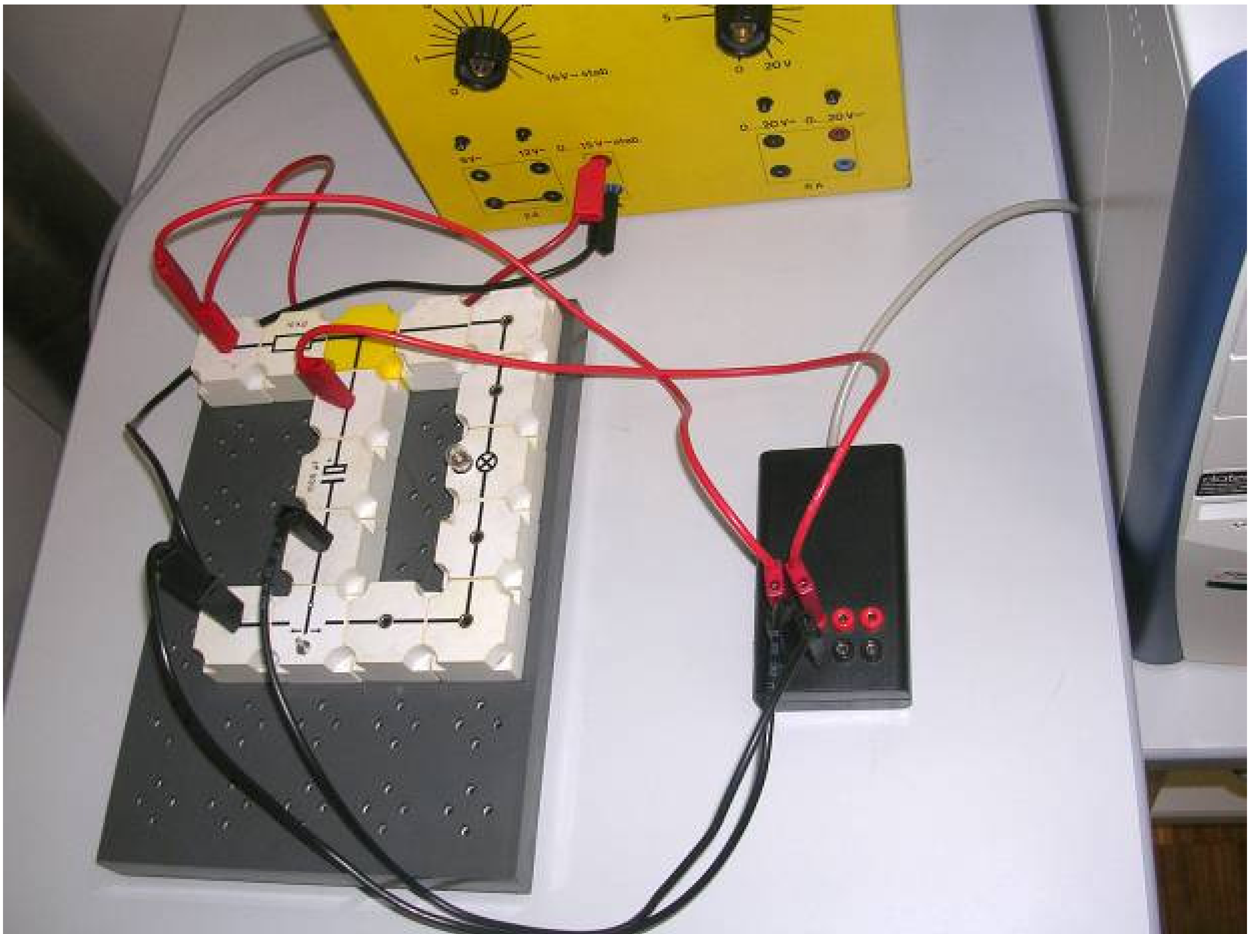


9	0,60	0,00		0,00

Weitere Informationen

V4Box: im Internet: http://physicbox.uni-graz.at/unterrichtsmaterial/v4box/v4box.php

http://de.wikipedia.org/wiki/RC-Glied



C. Dynamo

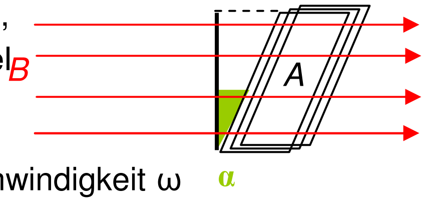
Mit einem Handgenerator wird Gleichspannung erzeugt und gemessen. Ihr Wert hängt von der Drehzahl ab, da nach der Ableitung des magnetischen Flusses die Winkelgeschwindigkeit als innere Ableitung zur maximalen Spannung beiträgt.

Theorie

C.1 Die induzierte Spannung ergibt sich aus der Änderung des magnetischen Flusses Φ.

$$\boxed{U_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt}}$$

Bei einem Generator hängt Φ von der wirksamen Fläche ab, also jenem Anteil, der die Feldlinien im rechten Winkel schneidet: A·cosα



Da sich die Spule (N Windungen) mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω dreht, ist α =ω·t. Für den magnetischen Fluss bedeutet das:

$$\boxed{\Phi = N\cdot B\cdot A\cdot\cos(\omega\cdot t)}$$

Nach Induktionsgesetz wird nun dieser magnetische Fluss nach der Zeit abgeleitet:

$U_{ind}=\omega NBA\cdot\sin(\omega t)$

Der vordere Ausdruck entspricht der maximalen Spannung, der Amplitude der sin-Schwingung. Er enthält nun (wegen der inneren Ableitung) auch die Winkelgeschwindigkeit, das heißt: Je schneller der Generator dreht, desto höher ist die Spannung. Alle anderen Faktoren sind für diesen Generator konstant.

Messung

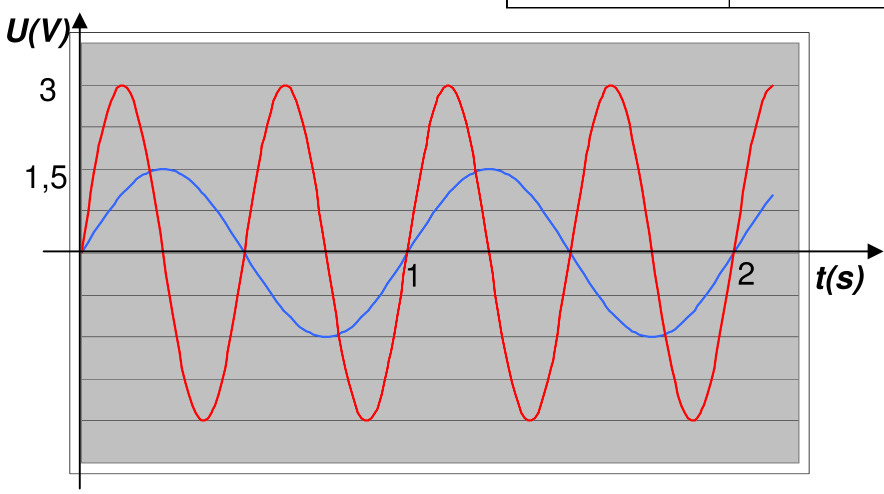
Der Handgenerator wird mit konstanter Geschwindigkeit gedreht, die Spannung wird abgelesen. Ziel ist, die Drehzahl in konstanten Schritten zu erhöhen und jedes Mal die Spannung zu messen!

C.2: Die Spannung steigt linear mit der Drehzahl.

Drehzahl (U/s)	Spannung (V)
1	1,5
2	3
3	4,5

Berechnungen

C.3



Weitere Informationen

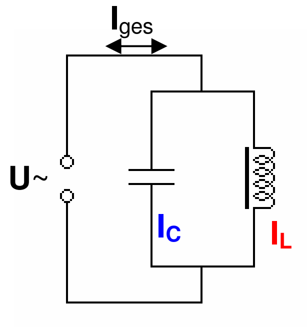
Jaros S 69

http://lbsneu.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/induktion/drehspule.htm

http://www.walter-fendt.de/ph14d/generator.htm

D. Parallelresonanz

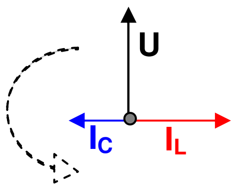
Eine Parallelschaltung aus Kondensator und Spule erzeugt bei richtiger Anregung eine Resonanz, die beiden Stromstärken schwingen gegenphasig. Damit kann die äußere Stromstärke (beinahe) Null werden (nicht ganz wegen dem ohm'schem Widerstand der Spule).



Theorie

Bei einer Spule eilt die Spannung der Stromstärke um 90° voraus, beim Kondensator ist es gerade umgekehrt.

Bei einer Parallelschaltung liegt an beiden Bauteilen die gleiche Spannung, das Zeigerdiagramm sieht so aus:



Mit U in Phase ist auch die hier vernachlässigte Stromstärke I_R (am ohm'schen Widerstand der Spule).

D.1: Wenn die beiden Blindwiderstände ω L und 1/ω C gleich sind, sind auch die Stromstärken dem Betrag nach gleich groß und heben sich nach außen auf.

Resonanzfrequenz:

ω²=1/L.C ->

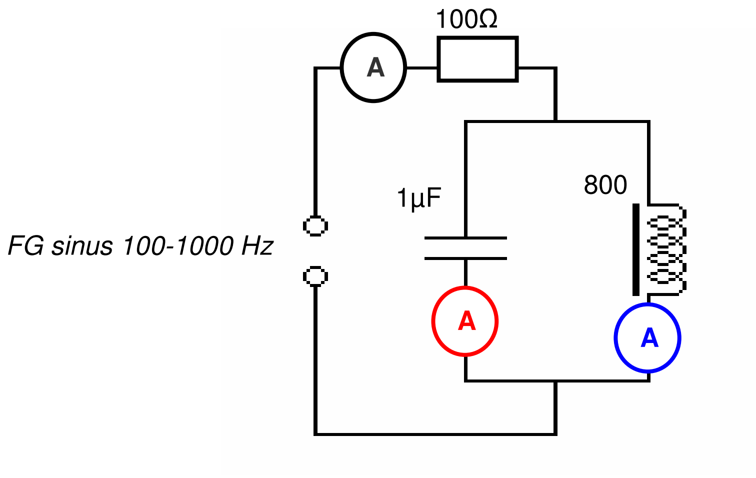
$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Experiment

Die Spule wird mit einem geschlossenen Eisenkern versehen.

Die Frequenz wird langsam von 100 Hz aus hochgeregelt.

D.2: Bei ca. 800 Hz beträgt die äußere Stromstärke nur noch wenige mA.



Berechnungen

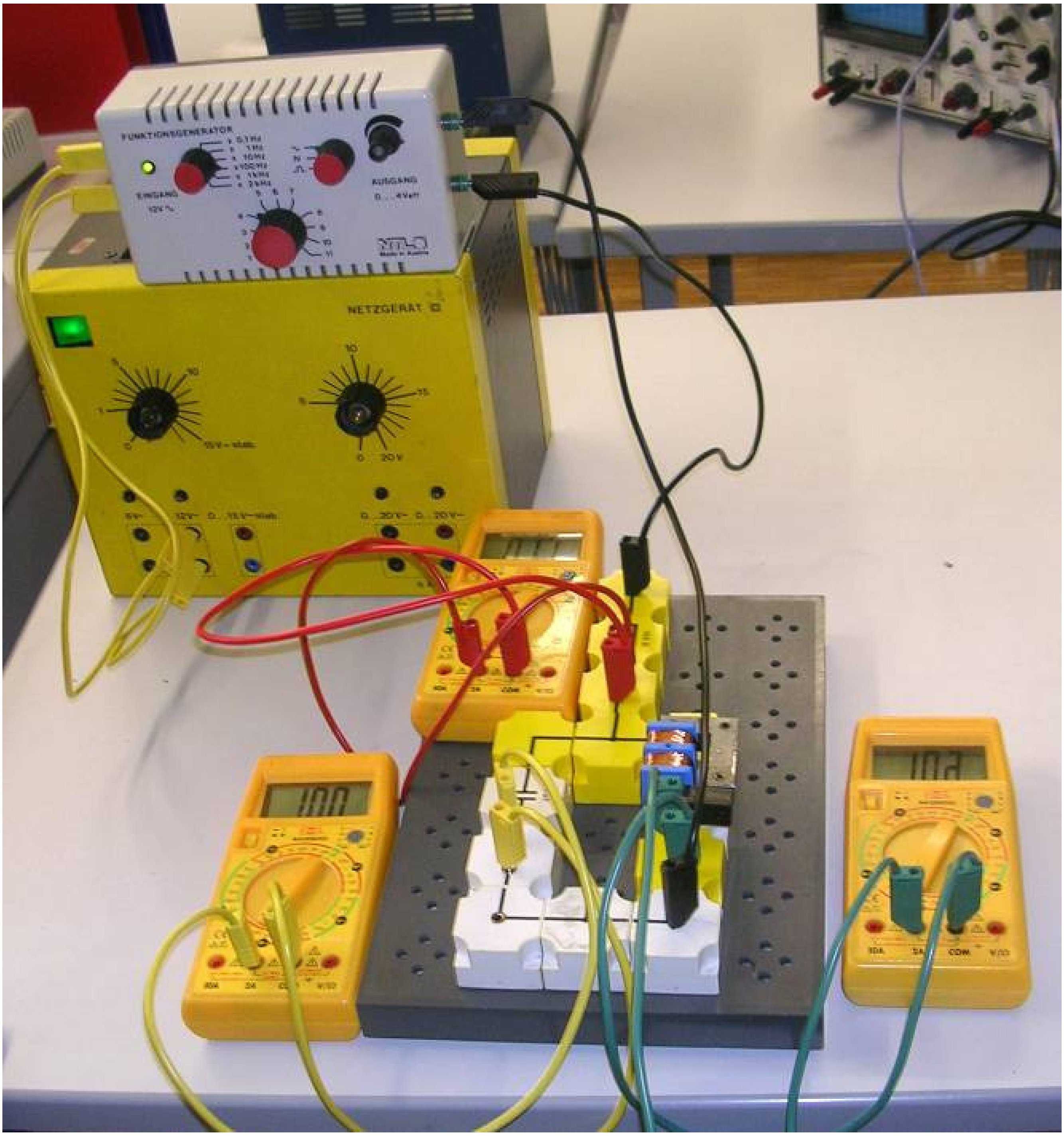
D.3:

Ergibt ca. 0,04 H = 40 mH.

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot C}$$

Weitere Informationen

http://de.wikipedia.org/wiki/Schwingkreis


FUNKTIONSGENERATOR
EINGANG
12V ~
AUSGANG
NETZGERÄT

E. Schwingkreis

Idee

Eine Parallelschaltung von Spule und Kondensator kann elektrische Schwingungen ausführen. Ohne ständige Anregung sind diese aber gedämpft.

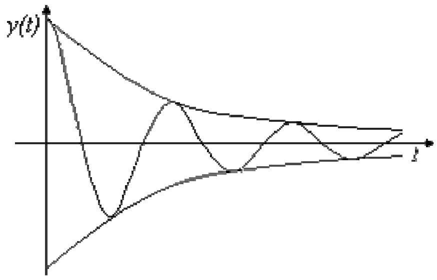
Theorie

Wie unter D. ausgeführt, schwingen die beiden Stromstärken gegeneinander. Dabei wird auch ständig Energie ausgetauscht zwischen Spule und Kondensator, sie pendelt zwischen magnetischem und elektrischem Feld.

Die Resonanzfrequenz, mit der ein Schwingkreis schwingt, berechnet sich nach:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

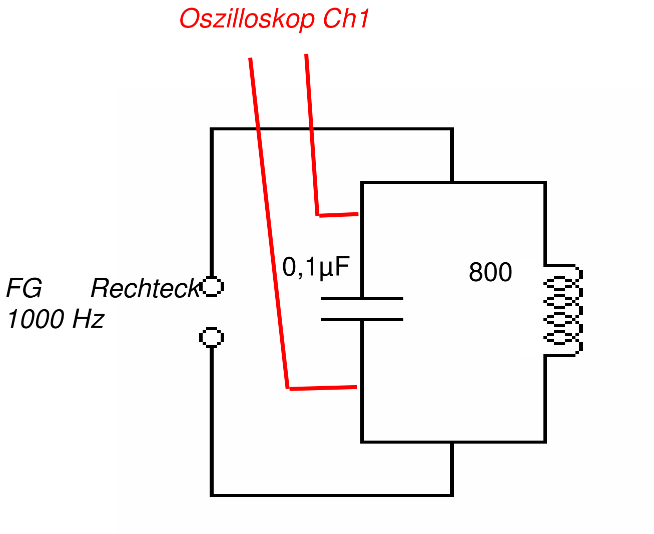
E.1: Die Schwingung ist allerdings gedämpft, der zeitliche Verlauf der Spannung sieht in etwa so aus:



Experiment

Problem: Ein einmaliges Aufladen des Kondensators erzeugt einen sehr kurzen Schwingungspuls.

Lösung: Der Kondensator wird durch eine Rechteckspannung ca. 1000 mal je sec. aufgeladen. An jeder Rechteckkante schwingt die Schaltung kurz an, was man am Oszilloskop durch geeignete Triggerung und Verstärkung sichtbar machen kann.



E.2:

Berechnungen

E.3:

Die Gleichung für die gedämpfte Schwingung lautet:

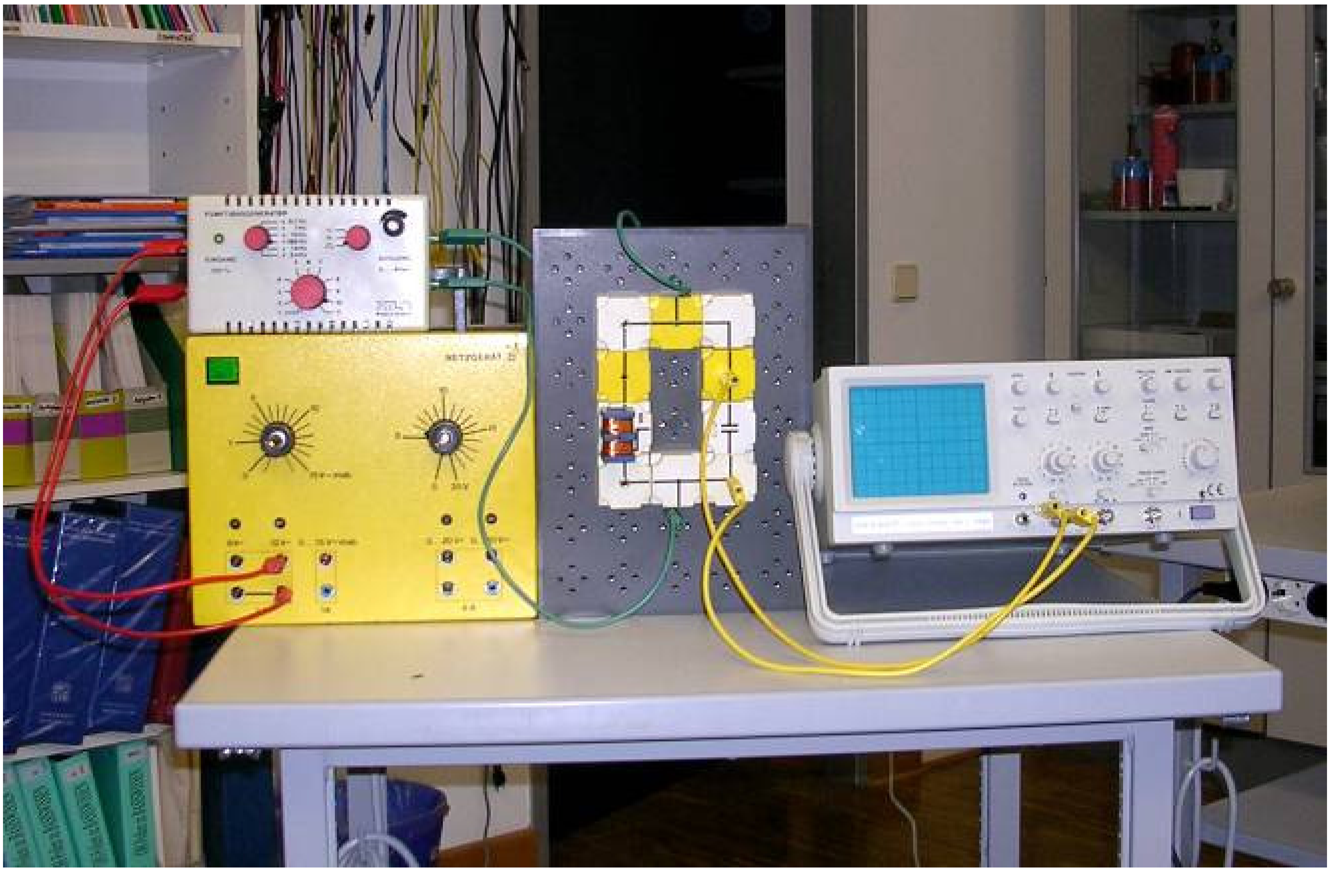
$$U(t) = U_{\max} \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \sin(\omega t)$$

K: Dämpfungsfaktor, hängt insbesondere vom ohm'schen Widerstand ab.

Weitere Informationen

Applet:http://lbsneu.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/wechselstr/schwingkreis.htm

http://de.wikipedia.org/wiki/Schwingung



F. Der rollende Magnet

Idee

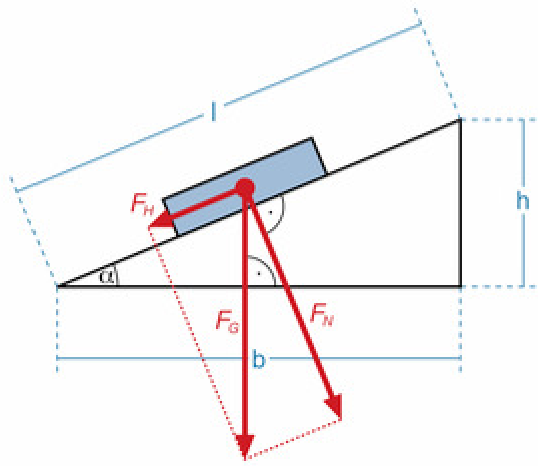
Eine Magnetkugel rollt eine Holz- bzw. eine Metallschiene hinunter. Durch die entstehenden Wirbelströme verläuft die Bewegung stark gebremst (gleichförmig), im Gegensatz zur „normalen“ Rollbewegung in der Holzschiene.

Theorie

F.1:

Die vektorielle Zerlegung gilt analog für die Beschleunigungen: a = g·sin α.

Im Idealfall (Reibung=0) ist die Beschleunigung konstant.



$$a = \ddot{s} = konst \;.$$

$$v = \dot{s} = a \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} g \cdot \sin \alpha \cdot t^2$$

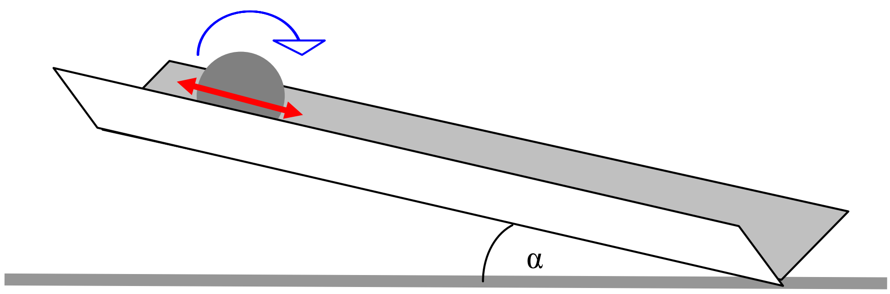
Messung

a) Die Kugel rollt annähernd gleichmäßig beschleunigt.

F2: Messergebnis z.B: h=8 cm -> α. = 7,7°; s= 60 cm, t= 1,6 s
-> a = 2s/t² = 0,47 m/s²
Vergleiche a= g·sin α -> a= 1,3 m/s²
Differenz: Ein Teil der Energie geht in das Rollen der Kugel; die theoretische Formel gilt für (reibungsfreies) Gleiten eines Körpers.

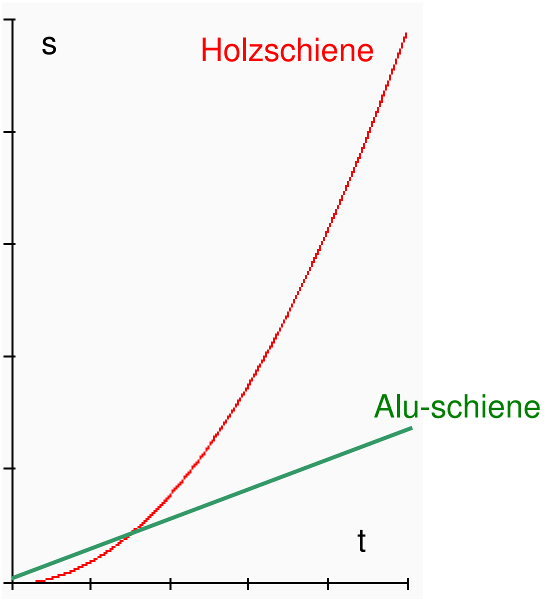
b) F3: Die Magnetkugel rollt sehr langsam, in ruckartiger bis gleichförmiger Bewegung. Der starke Neodym-Magnet erzeugt durch Induktion Wirbelströme in der Schiene, die wiederum Magnetfelder hervorrufen. Diese sind immer so gerichtet, dass sie die ursprüngliche Bewegung bremsen (Lenz’sche Regel).

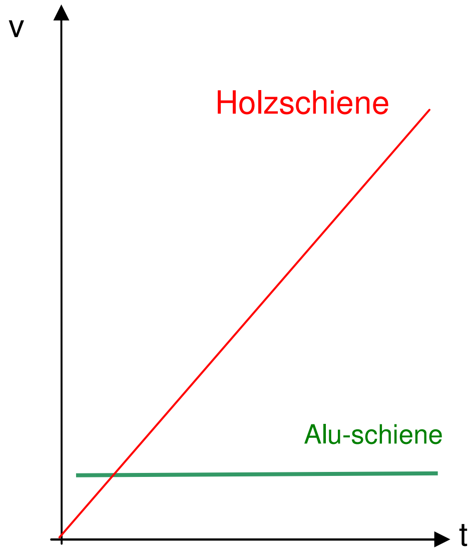
Die stärkste Bremswirkung erreicht man, wenn die Polung der Kugel in Richtung der Schiene ist, da hier das Schneiden der Feldlinien mit der Schiene am schnellsten erfolgt. Hier rollt die Kugel auch ruckartig. Sie dreht sich dann aber von selbst in eine Lage, wo die Polung quer zur Rollrichtung liegt – die Bewegung wird gleichförmig, das Drehen des Feldes erzeugt geringere Wirbelströme.

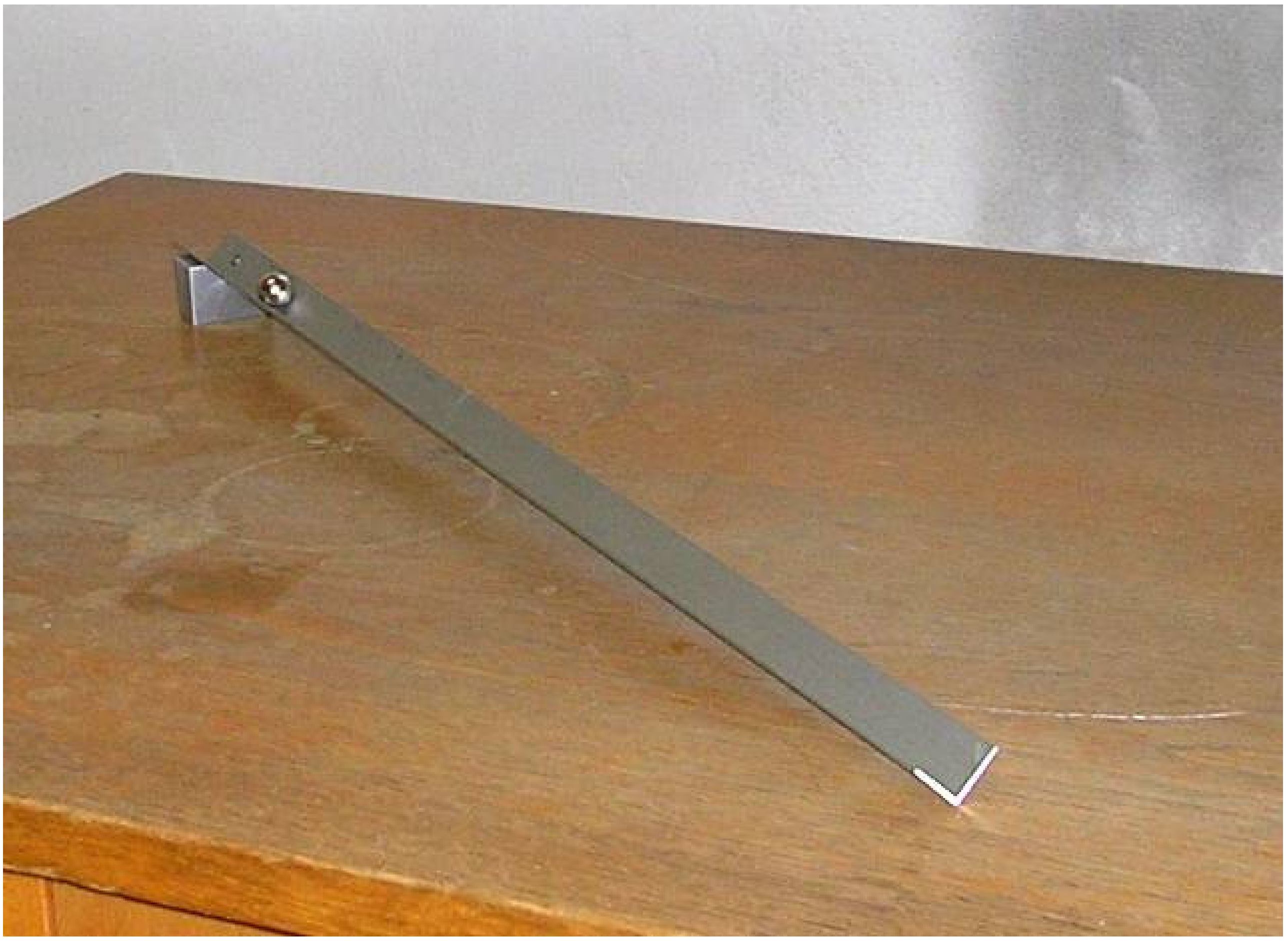


Berechnungen:

F.4:







6.7 Vorlage: Brechungsgesetz

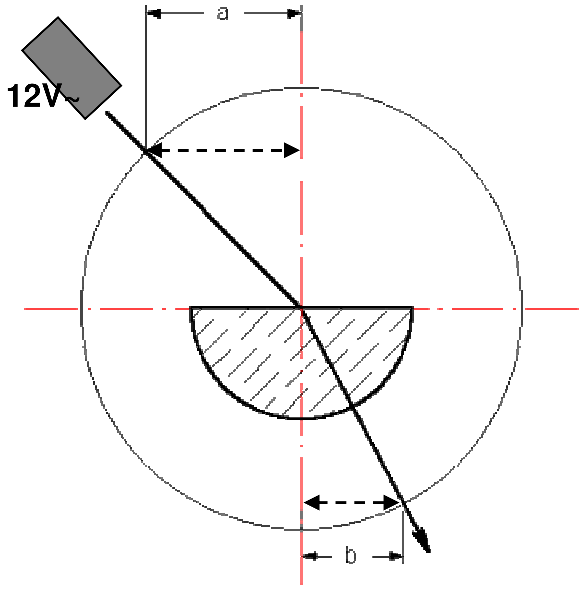
BRECHUNG und TOTALREFLEXION	*Datum:* *Klasse:* ***Name**:*
Material: ***Winkelscheibe, Lampe, Netzgerät, halbkreisförmiger Glaskörper***	

1. Luft -> Glas

Lege die Winkelscheibe auf den Tisch und erzeuge mit der Lampe einen geraden Lichtstrahl. Lege den halbkreisförmigen Glaskörper auf den Mittelpunkt der Scheibe und lass das Licht auf die gerade Seite einfallen.

Verändere den Einfallswinkel. Miss eine Serie von Wertepaaren a – b! Bilde jeweils das Verhältnis a/b!

a	**b**	**a/b**



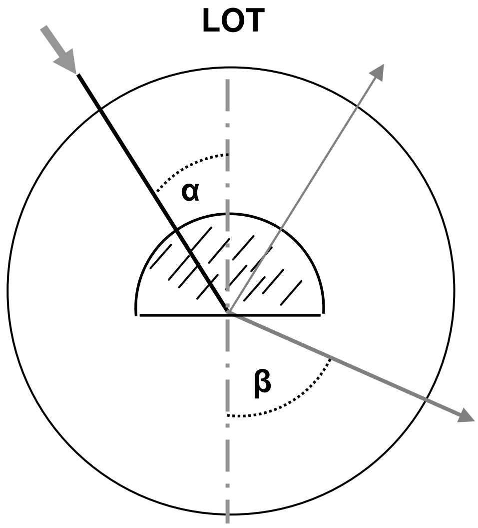
Was hat diese Berechnung mit dem Brechungsgesetz zu tun?

2. Glas -> Luft

Lass den Lichtstrahl nun auf die halbkreisförmige Seite einfallen. Verändere wieder den Einfallswinkel.

Miss die **Winkel zum LOT**. Bestätige das Brechungsgesetz und bestimme die Brechzahl des Glases:

n:



Wie groß muss der Einfallswinkel sein, damit kein Licht mehr gebrochen, sondern alles im Glas reflektiert wird? (**TOTALREFLEXION**)

Grenzwinkel der Totalreflexion: ……………………..

6.8 Strahlenkonstruktionen bei Linsen

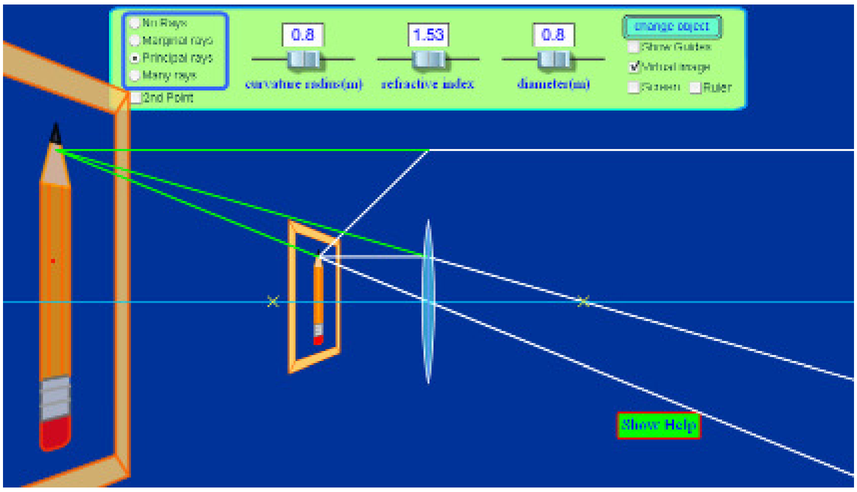
Arbeitet die Applets bzw. Seiten durch, beantwortet die Fragen in dieses Dokument (eventuell mit Bildschirmkopien, aber **EIGENEN)**

1. http://phet.colorado.edu/simulations/lens/lens.swf

Dieses Applet ermöglicht Bildkonstruktionen bei einer Sammellinse.

Welche Bilder entstehen in Abhängigkeit vom Abstand zur Linse? (reell/virtuell, aufrecht/verkehrt, vergrößert/verkleinert)

Wie wirkt sich die Änderung der Dicke oder des Brechungsindex aus?

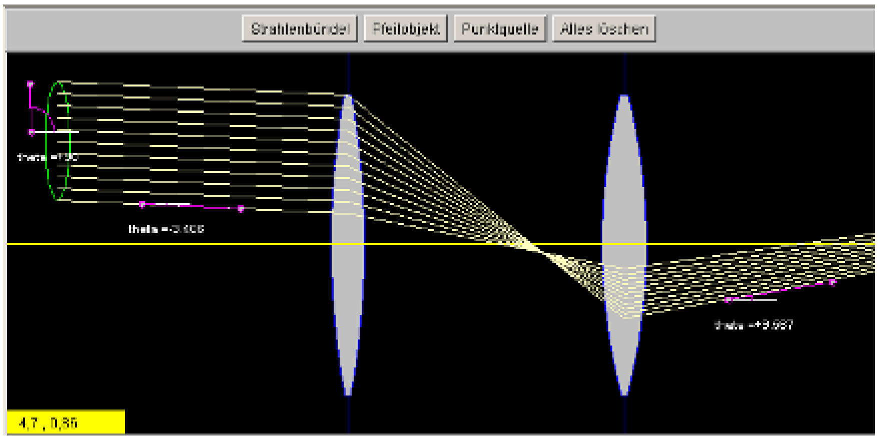


2. http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/optik1.html

Hier kann auch mit mehreren Linsen und Spiegeln konstruiert werden.

Wiederholt die Strahlenkonstruktionen aus 1.

Versucht die Aufgaben auf der Seite zu lösen (Beispiel: Kepler-Fernrohr)



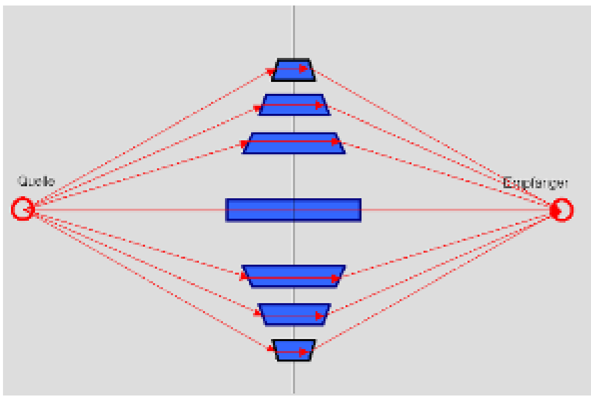
3. http://www.geometrische-optik.de/OPTIK-Texte-html/Kapitel4_Fokussierung.htm

Hier wird die Funktion einer Sammellinse mithilfe des Fermat-Prinzips erklärt!

Arbeitet diese Seite durch!

Was ist eigentlich das „Geheimnis" der Sammellinse?

Wie kann sie Bilder erzeugen?



6.9 Fragebogen zum Stationenbetrieb

Klasse: …………..   Geschlecht: ………….

1. Wie interessant war für dich das Thema:

Mathematisch:

1	2	3	4	5	6

gar nicht … sehr

Physikalisch:

1	2	3	4	5	6

gar nicht … sehr

2. Wie bewertest du die Methode Stationenbetrieb?

1	2	3	4	5	6

Gefällt nicht … super

3. Welche Station hat dir am besten gefallen?

   Warum?

4. Welche Station hat dir am wenigsten gefallen?

   Warum?

5. Was meinst du zur fächerübergreifenden Arbeit Mathematik-Physik?

1	2	3	4	5	6

Gefällt nicht … super

   Begründung:

6. Sollte eine ähnliche Aktion wieder einmal gemacht werden?

1	2	3	4	5	6

nein … ja

7. Was sollte verbessert werden?

6.10 Lösung des Schularbeitenbeispiels

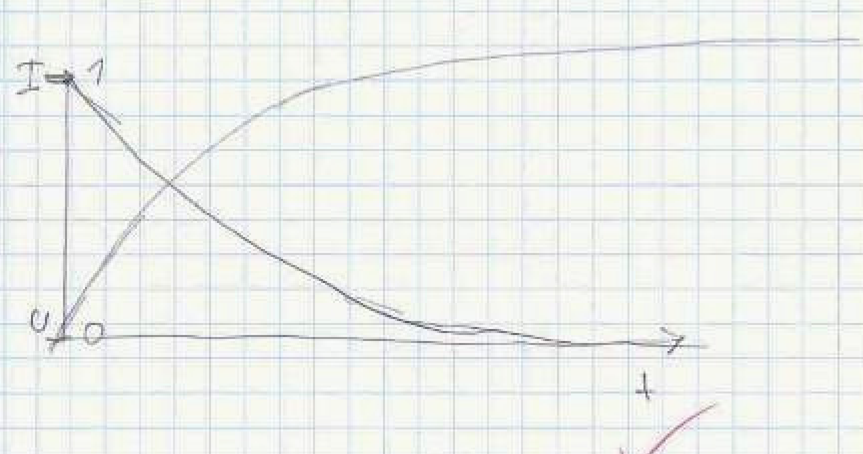
Ein Kondensator der Kapazität C wird über einen konstanten Widerstand R aufgeladen, bis er die Spannung U_{max} erreicht. Der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung (U von t) kann durch folgende Funktion beschrieben werden: $U(t) = U_{max}\cdot(1-e^{-t/RC})$.
Auch die Stromstärke ändert sich mit der Zeit: $I(t) = I_{max}\cdot(e^{-t/RC})$.

(i) Interpretiere die beiden Ausdrücke. Wie verlaufen die beiden Kurven?
(ii) Die Leistung P(t) kann man aus dem Produkt der Spannung und der Stromstärke berechnen. Wenn RC=1 ist (z.B. für R = 100.000 Ohm und C= 10^{-5} F), wird der zeitliche Verlauf der Leistung durch folgenden Ausdruck beschrieben:
$P(t) = U_{max}\cdot I_{max}\cdot(e^{-t})\cdot(1-e^{-t})$; $U_{max}\cdot I_{max}$ sind Konstante.
Berechne den Zeitpunkt t, zu dem die Leistung maximal ist!

Lösung von Felix Anderl, 7.a:

i Die Kurve von U ist streng monoton steigend und nähert sich $U_m\cdot 1$ an, erreicht den wert aber nie.

Die Kurve von I ist streng monoton fallend, und nähert sich 0 erreicht es aber nie.



b

$$U(t) = U_{max} \cdot (1 - e^{-t/RC}) = U_{max} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{t/RC}}\right)$$

$$I(t) = I_{max} \cdot (e^{-t/RC}) = I_{max} \cdot \frac{1}{e^{t/RC}}$$

$$P_t = U_t \cdot I_t$$

$$RC = 1$$

$$P(t) = U_{max} \cdot I_{max} \cdot \overset{u}{(1 - e^{-t})} \cdot \overset{v}{(e^{-t}}$$

$$u' = +1 \cdot e^{-2t}$$

$$v' = -1 \cdot e^{-2t}$$

$$P'(t) = \overset{u'v}{e^{-2t} \cdot e^{-t}} \overset{+v'u}{+ -e^{-2t} \cdot (1 - e^{-t})}$$

$$P'(t) = e^{-2t} \cdot e^{-t} - e^{-2t} \cdot (1 - e^{-t}) = 0$$

$$0 = e^{-3t} - e^{-2t} + e^{-3t}$$

$$0 = 2 \cdot e^{-3t} - e^{-2t}$$

$$e^{-2t} = 2e^{-3t} \quad / \ln$$

$$-2t = \ln 2 + (-3t) \quad / + 3t$$

$$\cancel{-2t = -6t}$$

$$\cancel{t = 0}$$

$$t = \ln 2 = 0{,}693$$

Die Leistung des Kondensators ist bei $t = 0{,}693$ maximal.

6.11 Schrödingers Katze lebt! Oder nicht?

www.KworkQuark.net

->Thementour Quantenphysik – Sprünge im Universum

Wissensdurst:

klein (für Anfänger, Unterstufe)

mittel (das Minimum für uns)

groß (mit etwas Mathematik)

Beantwortet die gestellten Fragen Fügt eure Namen ein und ladet zuletzt die Datei hoch!

1. Was gäbe es alles **nicht** ohne Quantenphysik?
2. "***Quantensprung***" ist ein häufig verwendetes Wort in den Medien. Was könnte daran (aus physikalischer Sicht) missverständlich sein?
3. Was meint "***Spin***"-nen in der Quantenphysik?
4. "*Die Quantentheorie verwaltet unser Unwissen über die Welt*". Wie ist das gemeint?
5. Was für ein Zustand ist der "Quantenzustand"?
6. Einstein sagte „Gott würfelt nicht“. Was meinte er damit in Bezug auf die Quantenphysik?
7. Interpretiere die Formel für die Ort-Impuls-Unschärferelation!
8. Wie verkuppelt man zwei Photonen?
9. Worum geht es bei der Forschung des österreichischen Physikers A. Zeilinger?
10. Wann stirbt Schrödingers Katze?

Antworten eines Schülers

Schrödingers Katze lebt! Oder nicht?

Daniel Steuber, 7.b

1. Was gäbe es alles nicht ohne Quantenphysik?
   Ohne Quantentheorie gäbe es keinen Laser, und damit weder DVD noch moderne Augen-Operationen. Es gäbe keine Atomuhren, keine Mikrochips, keine Computer und keine Mikrowellenöfen. Von KworkQuark ganz zu schweigen. Unsere Welt wäre frei von Atomreaktoren, aber auch von Solarzellen und Energiesparlampen.
2. "Quantensprung" ist ein häufig verwendetes Wort in den Medien. Was könnte daran (aus physikalischer Sicht) missverständlich sein?
   Ein Quantensprung ist ein Sprung über eine sehr kleine Distanz, in den Medien verwendet man diesen Begriff aber für große, bannbrechende Erfolge.
3. Was meint "Spin"-nen in der Quantenphysik?
   Spin nennt man die Eigendrehung eines Quants. Der Spin eines Quants gibt Aufschluss über die Eigenschaft dessen Magnetfeldes.
4. "Die Quantentheorie verwaltet unser Unwissen über die Welt". Wie ist das gemeint?
   In der Quantenphysik ist es nicht mehr möglich alles zu wissen. Sie stellt viele alltägliche Dinge wie Beobachtung, Messung außer kraft und lässt sich nur schwer beschreiben.
5. Was für ein Zustand ist der "Quantenzustand"?
   Der Quantenzustand ist ein unbestimmter. Es gibt zwar gewisse Wahrscheinlichkeiten für seine Eigenschaften aber diese werden erst bei einer Messung festgelegt. Zu diesem Zeitpunkt sagt man aber dass der Quantenzustand bereits kollabiert sei.
6. Einstein sagte „Gott würfelt nicht“. Was meinte er damit in Bezug auf die Quantenphysik?
   Er glaubte, Quanten besäßen eindeutige Eigenschaften, so genannte verborgene Variablen. Diese könnten zwar nicht beobachtet werden, sie würden aber im Vorfeld jedes Messergebnis festlegen. Die Quantentheorie würde die Welt daher nur unvollständig beschreiben.
7. Interpretiere die Formel für die Ort-Impuls-Unschärferelation!
   Je genauer man über den Aufenthaltsort oder die Geschwindigkeit eines Quants bescheid weiß, desto ungewisser ist es die jeweils andere Größe abschätzen zu können.
8. Wie verkuppelt man zwei Photonen?
   Wenn Physiker Quanten verkuppeln, so bewerkstelligen sie das meist anhand der Polarisation von Photonen. Dies geschieht mit Hilfe eines Polarisationsspiegels, der nur Licht einer bestimmten Schwingungsrichtung problemlos durchlässt, Licht mit senkrechter Polarisationsrichtung wird reflektiert.
9. Worum geht es bei der Forschung des österreichischen Physikers A. Zeilinger?
   Er ist ein Quantenphysik-Forscher. Mit seinem Team schaffte er es ein Quant von einer Ecke seines Labors mit Hilfe eines Photons in eine Andere zu beamen.
10. Wann stirbt Schrödingers Katze?
    Dann wenn man den Käfig öffnet und nachsieht wir entschieden ob die Katze tot oder lebendig ist. Bis zu diesem Zeitpunkt ist die Katze beides.