

Versuchsbeschreibungen

Physik I – III

Vorlesung: Prof. Dr. Thomas Hebbeker (hebbeker@physik.rwth-aachen.de)
Versuchsbeschreibungen: Tobias Reuter (Tobias.Reuter@gmx.de)

RWTH Aachen
Wintersemester 2001/2002 bis Wintersemester 2002/2003

Eine HTML-Version dieses Dokuments ist im WWW unter

<http://www.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/lectures/versuche.html>

zu finden.

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines, Messmethoden, -Geräte etc.	9
1.1	Zeitmessung	9
1.1.1	Uhren	9
1.2	Längenmessung	10
1.2.1	Längen-Messgeräte	10
1.3	Gewichtsmessung	10
1.3.1	Waagen	10
2	Mechanik	10
2.1	Einfache Bewegungsabläufe	10
2.1.1	Feder in evakuierter Röhre	10
2.1.2	Stroboskop-Aufnahme von fallender Kugel	10
2.1.3	Luftkissenbahn mit Messwerverfassung (gleichförmige und beschleunigte Bewegung)	11
2.1.4	Freier Fall einer Kugel	11
2.1.5	Wasserstrahl: Bahn von Wassertropfen	12
2.1.6	Spielzeug-Eisenbahn mit Schuss-Gerät	12
2.1.7	Sprungschanze	12
2.2	Newton'sche Axiome	13
2.2.1	Gewicht und zwei Fäden (Trägheit)	13
2.2.2	Flasche auf Papier-Tischdecke	13
2.2.3	Zwei Federwaagen tragen gemeinsam ein Gewicht	13
2.2.4	Absprung vom „Skateboard“	14
2.2.5	Ballon auf Wagen	14
2.2.6	Luftkissenbahn mit zwei gleichen Massen, dazwischen eine gespannte Feder	14

2.2.7	2 Personen auf „Skateboard“ ziehen an Seil	14
2.2.8	Pendel-Wagen	15
2.2.9	Wasser-Rakete	15
2.2.10	Raketen-Wagen	15
2.2.11	Drehwaage nach Cavendish	15
2.2.12	Langes Pendel mit Lichtschranke	16
2.2.13	Galilei-Pendel	16
2.2.14	Looping-Bahn	16
2.2.15	Metall-Kugel und Knetgummi-Kugel auf Metall-Platte	17
2.2.16	Gewicht – Dynamo – Lampe	17
2.2.17	Stoß von Münzen	17
2.2.18	Kugel-Stoß-Reihe	17
2.2.19	Ballistisches Pendel	17
2.3	Reibung	18
2.3.1	Messung des Reibungskoeffizienten mittels Federwaage, Reibungskraft bei verschiedenen Auflageflächen	18
2.3.2	Reibung auf schiefer Ebene	18
2.3.3	Gleitreibung Stab	18
2.3.4	Stock auf zwei Fingern	18
2.3.5	Kugel-Fall in Öl-Behälter (Kugelfall-Viskosimeter)	18
2.3.6	Luft-Widerstandsmessung im Windkanal	19
2.3.7	Spielzeug-Fallschirm	19
2.4	Translation, Rotation, Scheinkräfte	19
2.4.1	Federwaage im Aufzug	19
2.4.2	Rotierender Eimer	19
2.4.3	Abplattungsmodell der Erde	20
2.4.4	Oberfläche einer rotierenden Flüssigkeit	20
2.4.5	Fliehkraft-Regler	20
2.4.6	Eisbär-Jäger	20
2.4.7	Foucault'sches Pendel	21
2.4.8	Modell des Foucault'schen Pendels	21
2.5	Dynamik starrer Körper, Drehbewegungen	22
2.5.1	Drehmoment-Scheibe	22
2.5.2	Bestimmung des Schwerpunkts	22
2.5.3	Rolle am Faden	22
2.5.4	Statisches Gleichgewicht	23
2.5.5	Gyroskop	23
2.5.6	Maxwell-Rad	23
2.5.7	Zylinder auf schiefer Ebene	23
2.5.8	Drehschwingung	24
2.5.9	Drehstuhl und Hanteln	24
2.5.10	Drehstuhl mit rotierender Fahrrad-Felge	24
2.5.11	Kardanischer Kreisel	24
2.5.12	Koffer mit „verstecktem Drehimpuls“	24
2.5.13	Buch werfen	25
2.5.14	Kette, Eisen-Ring oder -Stab rotieren am Faden	25

2.5.15	Motor mit Unwucht (Waschmaschine beim Schleudern)	26
2.5.16	Sakai-Kreisel	26
2.5.17	Kreisel nach Magnus, kräftefreier Kreisel	26
2.5.18	Spielzeug-Kreisel	27
2.5.19	Kreisel-Kompass	27
2.5.20	Hebel	27
2.5.21	Flaschenzug	27
2.6	Deformierbare Medien	27
2.6.1	Dehnung eines Kupferdrahtes bis zum Zerreißen	27
2.6.2	Dehnung eines Gummituches	28
2.6.3	Drehpendel	28
2.6.4	Druckverteilung in einer Kugel	28
2.6.5	Modell einer hydraulischen Presse	29
2.6.6	Hydrostatisches Paradoxon	29
2.6.7	Kommunizierende Röhren	29
2.6.8	Dichtewaage	30
2.6.9	Magdeburger Halbkugeln	30
2.6.10	Archimedisches Prinzip	30
2.6.11	Cartesianischer Taucher	31
2.6.12	Tauchspindel (Aräometer)	31
2.6.13	Geschwindigkeitsprofil in durchströmten Röhren	31
2.6.14	Prandtl'sches Staurohr	32
2.6.15	Druckverteilung in durchflossenen Rohren	32
2.6.16	Wasserstrahlpumpe	32
2.6.17	Hydrodynamisches/Aerodynamisches Paradoxon	33
2.6.18	Schweben eines Balles im Luftstrom	33
2.6.19	Hagen-Poiseuille-Gesetz	33
2.6.20	Messung der Oberflächenspannung von Seifenlösung	34
2.6.21	Messung der Oberflächenspannung von Seifenlösung mit einem Drahring	34
2.6.22	Schwimmende Büroklammer/Rasierklinge	34
2.6.23	Kleine Seifenblase bläst größere auf	35
2.6.24	Randwinkel (Keilgläser)	35
2.6.25	Kapillarität	35
2.7	Schwingungen und Wellen	36
2.7.1	Stimmgabel	36
2.7.2	Monochord	36
2.7.3	Lochsirene	36
2.7.4	Orgelpfeifen	37
2.7.5	Federpendel	37
2.7.6	Fadenpendel variabler Länge	37
2.7.7	Stangenpendel (variable Neigung der Pendelebene)	37
2.7.8	Schwebung mit Stimmgabeln	38
2.7.9	Fourier-Analyse von Sprache	38
2.7.10	Lissajousfiguren auf dem Oszilloskop	38
2.7.11	Gekoppelte Pendel	39
2.7.12	Schraubenfeder	39

2.7.13	Pohl'sches Rad	40
2.7.14	Zungenfrequenzmesser	40
2.7.15	Wellengerät für longitudinale Wellen	41
2.7.16	Wellengerät für transversale Wellen	41
2.7.17	Wasserwellenwanne	42
2.7.18	Schallausbreitung im Vakuum	43
2.7.19	Hörbereich des Menschen	43
2.7.20	Hohe Stimme beim Einatmen von Helium	44
2.7.21	Messung der Schallgeschwindigkeit	44
2.7.22	Konservendosen-Telefon	44
2.7.23	Schallausbreitung im Holzstab	44
2.7.24	Schallausbreitung in Luft	45
2.7.25	Stehende Welle auf einem Gummiseil	45
2.7.26	Kundtsches Rohr	46
2.7.27	Kundtsche Staubfiguren	46
2.7.28	Dopplereffekt: Kreisende Pfeife	46
3	Wärme	47
3.1	Grundlagen	47
3.1.1	Brown'sche Molekularbewegung	47
3.1.2	Flüssigkeitsthermometer	47
3.2	Längen- und Volumenausdehnung	48
3.2.1	Bimetallschalter	48
3.2.2	Längen-Ausdehnung von Rohren	48
3.2.3	Kontraktionsapparat (Bolzensprenger)	48
3.2.4	Volumenausdehnung einer Kugel (Kugel und Ring)	49
3.2.5	Volumenausdehnung von Gas/Gasthermometer	49
3.3	Ideale Gase	50
3.3.1	Mechanisches Gas-Modell (Schüttelapparat)	50
3.4	Wärmeenergie	50
3.4.1	Mischungskalorimeter	50
3.5	Wärmetransport, Wärmestrahlung	51
3.5.1	Diffusion von Kaliumpermanganat in Wasser	51
3.5.2	Modell einer Warmwasserheizung	51
3.5.3	Wärmeleitung in Kupfer, Messing, Eisen und Kunststoff	51
3.5.4	Leslie-Würfel mit Thermosäule	52
3.5.5	Lichtmühle	52
3.6	Hauptsätze der Thermodynamik	53
3.6.1	Adiabat	53
3.7	Wärme-Kraftwandlung	53
3.7.1	Dampfmaschine	53
3.7.2	Stirling-Motor	54
3.8	Aggregatzustände	54
3.8.1	Regelation des Eises	54
3.8.2	Trockenschnee	55
3.8.3	Dampfdruck des Wassers	55
3.8.4	Dampfdruck von Äther (Spritzflasche)	55

3.8.5	Sieden und Gefrieren von Wasser bei Zimmertemperatur	56
3.8.6	Geysir-Modell	56
3.8.7	Verflüssigung von SF ₆ unter Druck	56
3.8.8	Kritischer Punkt (Freon-Kammer)	57
3.8.9	Joule-Thomson-Effekt	57
4	Elektrizität und Magnetismus	57
4.1	Elektrostatik	57
4.1.1	Reibungselektrizität	57
4.1.2	Millikan-Versuch (R. C. Millikan, 1907)	58
4.1.3	Elektrometer, Influenz	58
4.1.4	Coulomb-Waage	59
4.2	Elektrische Felder	59
4.2.1	Elektrische Felder sichtbar gemacht mit Grießkörnern	59
4.2.2	Kathodenstrahlröhre	60
4.2.3	Kugel bewegt sich zwischen Kondensatorplatten („Trommler“)	60
4.2.4	Doppelplatten im Kondensator	61
4.2.5	Influenzmaschine (Blitze)	61
4.2.6	Bandgenerator (Van-de-Graaff-Generator)	62
4.2.7	Effekte mit dem Bandgenerator	62
4.2.8	Sprührad	63
4.2.9	Faraday-Käfig	63
4.2.10	Becherelektrometer	63
4.2.11	Kunststoffstab im Kondensatorfeld	64
4.2.12	Kunststoffstab und Wasserstrahl	64
4.3	Kondensatoren	65
4.3.1	Kondensatoren	65
4.3.2	Plattenkondensator, Leidener Flasche	65
4.3.3	Parallel- und Serienschaltung von Kondensatoren	65
4.3.4	Kondensator treibt LED	65
4.3.5	Spannungsabfall bei Dielektrikum im Kondensator	66
4.4	Elektrischer Strom	66
4.4.1	Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern	66
4.5	Elektrischer Widerstand, Leitungsmechanismen	66
4.5.1	Ohm'sches Gesetz, Widerstand von Metalldrähten	66
4.5.2	Wheatstone'sche Brückenschaltung	67
4.5.3	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands	67
4.5.4	Leitfähigkeit von Glas in Abhängigkeit von der Temperatur	68
4.5.5	Leitfähigkeit von Wasser/Salzwasser	68
4.5.6	Knallgaserzeugung	68
4.5.7	Verkupfern	69
4.5.8	Entladung durch Flamme	69
4.5.9	Kanalstrahlen	69
4.5.10	Glimmentladung	69
4.5.11	Leuchtstofflampe	70
4.5.12	Supraleitender Elektromagnet	70
4.6	Elektrische Leistung	70

4.6.1	Joule'sche Wärme	70
4.7	Stromerzeugung	70
4.7.1	Galvanische Elemente	70
4.7.2	Brennstoffzelle	71
4.7.3	Solarzelle	71
4.8	Thermoelemente	71
4.8.1	Kupfer-Konstantan-Thermoelement	71
4.8.2	Thermomagnet	71
4.8.3	Peltier-Element	72
4.9	Strom-/Spannungsmessung	72
4.9.1	Drehspulinstrument	72
4.10	Magnetfelder	72
4.10.1	Permanentmagnete	72
4.10.2	Magnetfelder von stromdurchflossenen Leitern (zweidim.)	72
4.10.3	3-dim. Feldlinien eines Stabmagneten	73
4.10.4	Magnetfeldlinien um einen stromdurchflossenen Leiter	73
4.10.5	„Monopol“ umkreist stromdurchflossenen Leiter	73
4.10.6	Fadenstrahlrohr	73
4.10.7	Barlow'sches Rad	74
4.10.8	Leiterschaukel	74
4.10.9	Helmholtz-Spulenpaar	74
4.10.10	Hall-Effekt	74
4.11	Induktion	75
4.11.1	Induktion durch bewegten Stabmagneten	75
4.11.2	Induktion durch Ein- und Ausschalten eines Elektromagneten	75
4.11.3	Induktion in rotierender Leiterschleife	75
4.11.4	Motormodell/Generatormodell	75
4.11.5	Lenz'sche Regel	76
4.11.6	Magnet fällt durch Kupferrohr	76
4.11.7	Waltenhofen-Pendel	76
4.11.8	Thomson'scher Ringversuch	76
4.11.9	Strom- und Spannungsverzögerung an einer Spule	77
4.11.10	Ein-/Ausschaltvorgänge an Spule bzw. Kondensator	77
4.11.11	Gegenseitige Induktion	77
4.12	Lineare Netzwerke	78
4.12.1	Tief-/Band- und Hochpass	78
4.12.2	Differenzierglied	78
4.13	Transformatoren	78
4.13.1	Transformator	78
4.13.2	Induktionsofen (Schweißtransformator)	79
4.13.3	„Hörner-Blitz“	79
4.13.4	Tesla-Transformator	79
4.14	Schwingungen	79
4.14.1	Gedämpfter Schwingkreis	79
4.14.2	Kippschaltung mit Glimmlampe	80
4.15	Elektromagnetische Wellen	80

4.15.1	Sender - Empfänger: Nachweis mit Glühlampe	80
4.15.2	Wellenlänge im Wasser	80
4.15.3	Abschirmung von elm. Wellen durch einen Faraday-Käfig	80
4.15.4	Reflexion und stehende Wellen (Mirkowellen)	81
4.15.5	Beugung von Mikrowellen am Doppelspalt	81
4.15.6	Koaxialkabel: Pulstransport, -verformung, -reflexion	81
4.15.7	Lecherleitung	82
4.16	Materie in Feldern	82
4.16.1	Öl wird in Plattenkondensator eingezogen	82
4.16.2	CO ₂ -Bläschen in Öl werden von Ladung abgestoßen	83
4.16.3	Metallstäbe im Magnetfeld	83
4.16.4	Flüssige Luft im Magnetfeld	83
4.16.5	Hufeisenmagnet und Eisenplatte	83
4.16.6	Magnetmodelle in Helmholtzspulen	84
4.16.7	Weißsche Bezirke	84
4.16.8	Hysterese	84
4.16.9	Barkhausen-Effekt	84
4.16.10	Curie-Temperatur: Nagel am Faden	85
4.16.11	Curie-Temperatur: Motor	85
4.17	Piezo-Elektrizität	85
4.17.1	Piezo-Funkenerzeuger	85
4.17.2	Seignette-Salz	85
5	Optik	85
5.1	Lichtausbreitung, Reflexion, Brechung	85
5.1.1	Messung der Lichtgeschwindigkeit	85
5.1.2	Gekrümmter Lichtstrahl (Fata Morgana)	86
5.1.3	Streuung	87
5.1.4	Lichtbrechung im Prisma	87
5.1.5	Natrium-Dampf	87
5.1.6	Prismenspektrum von Quecksilber-Dampf	88
5.1.7	Reflexion, Brechung	89
5.1.8	„Geknickter Stab“	89
5.1.9	Totalreflexion	90
5.1.10	Lichtleitfaser	91
5.1.11	Brewster-Winkel	91
5.2	Geometrische Optik	92
5.2.1	Grenzen der geometrischen Optik	92
5.2.2	Lochkamera	92
5.2.3	Spiegelkabinett	92
5.2.4	Konvexe bzw. konkave Linse Linse	93
5.2.5	Hohlspiegel	93
5.2.6	Prisma	93
5.2.7	Linse im Wasser	93
5.2.8	Verschiebung einer Linse zwischen Gegenstand und Schirm	94
5.2.9	Additionstheorem der Brechkkräfte	94
5.2.10	Auge = Linse + Schirm	94

5.2.11	Schärfentiefe	95
5.2.12	Lupe	96
5.2.13	Fresnellinse	96
5.2.14	Astronomisches Fernrohr	97
5.2.15	Galileisches Fernrohr	97
5.2.16	Spiegelteleskop	97
5.2.17	Mikroskop auf optischer Bank	98
5.3	Linsenfehler	98
5.3.1	Dicke Linsen	98
5.3.2	Chromatische Abberation	98
5.3.3	Sphärische Abberation	99
5.3.4	Astigmatismus	99
5.3.5	Koma	99
5.3.6	Verzeichnung	99
5.4	Polarisation	99
5.4.1	Drehbare Polarisationsfilter	99
5.4.2	Zirkulares Polarisationsfilter	100
5.4.3	Polarisation mit Glasplatten	100
5.4.4	Streuung an kolloidaler Lösung	100
5.4.5	Doppelbrechung am Kalkspat	100
5.4.6	Polarisation am Kalkspat	100
5.4.7	Drehung des außerordentlichen Strahls	101
5.4.8	Nicolsches Prisma	101
5.4.9	Spannungsdoppelbrechung	101
5.4.10	Kerrzelle	102
5.4.11	Polarisationsdrehung an Doppelquarz, Glimmer und Zuckerlösung	102
5.5	Wellenoptik: Beugung, Interferenz	103
5.5.1	„Interferenz“ durch Überlagerung von Folien mit schwarz-weißen Mustern	103
5.5.2	Fresnelscher Spiegelversuch	103
5.5.3	Biprisma	103
5.5.4	Einzelspalt, Doppelspalt, Dreifachspalt	103
5.5.5	Beugung von Licht am Einzelspalt	104
5.5.6	Michelson-Interferometer	104
5.5.7	Reflexion/Interferenz am Glimmerplättchen	104
5.5.8	Seifenblasen	105
5.5.9	Newtonsche Ringe	105
5.5.10	Keilförmig angeordnete Glasplatten	105
5.5.11	Beugung am Strichgitter/Kreuzgitter	105
5.5.12	Reflexion eines Laserstrahls an einer CD/DVD	106
5.5.13	Beugung am Loch	106
5.5.14	Beugung am Spalt/Draht	106
5.5.15	Fresnelsche Zonenplatte	106
5.5.16	Fraunhofer-Beugung an rechteckiger Blende	107
5.5.17	Auflösung eines „Fernrohrs“	107
5.5.18	Auflösung eines Mikroskops	108
5.6	Lichtquellen	108

5.6.1	Glühlampen	108
5.6.2	Gasentladungslampe	109
5.6.3	Leuchtstoffröhren	109
5.6.4	Leuchtdioden	109
5.6.5	HeNe-Laser	109
5.6.6	Laser-Moden	110
5.7	Holographie	110
5.7.1	Rotlicht-Hologramm	110
5.7.2	Weißlicht-Hologramme	111
5.7.3	Alltägliche Hologramme	111
5.8	Lumineszenz	111
5.8.1	Fluoreszenz	111
5.8.2	Phosphoreszenz	111
5.9	Farblehre	111
5.9.1	Additive Farbmischung mit rotierender Farbscheibe	111
5.9.2	Additive Farbmischung mit Farbmischung durch Leuchten	112
5.9.3	Subtraktive Farbmischung	112
5.9.4	Metamere	112
5.9.5	Beleuchtung von Körpern mit verschiedenfarbigem Licht	113
6	Spezielle Relativitätstheorie	113
6.1	Messung der Lichtgeschwindigkeit	113
6.1.1	Drehspiegelmethode	113
7	Nichtlineare Dynamik – Chaos	114
7.1	Mechanik	114
7.1.1	Magnetpendel	114
7.1.2	Doppelpendel	115
7.1.3	Asymmetrischer Kreisel	115
7.2	Sonstiges	115
7.2.1	Video-Rückkopplung	115

Bildquellen: Bilder/Skizzen zu folgenden Versuchen wurden dem kommentierten Verzeichnis der Vorlesungsversuche des Institutes für Physik der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I der Humboldt-Universität Berlin entnommen: 2.2.8, 2.2.13, 2.4.3, 2.4.8, 2.5.3, 2.5.13, 2.5.14, 2.6.2, 2.6.6, 2.6.7, 2.6.8, 2.6.11, 2.6.14, 2.6.15, 2.6.17, 2.6.20, 2.6.24, 2.6.25, 2.7.3, 2.7.13, 3.2.4 4.2.4, 4.2.10.

Die restlichen Bilder sind während der Vorlesungen Physik I bis III von Prof. Dr. Hebbeker von Wintersemester 2001/2002 bis Wintersemester 2002/2003 an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule zu Aachen entstanden.

1 Allgemeines, Messmethoden, -Geräte etc.

1.1 Zeitmessung

1.1.1 Uhren

Benötigte Geräte und Materialien: verschiedene Zeitmesser (z. B. Sanduhr, Pendeluhr, Fadenpendel, Metronom, Feder-Pendel usw.)

Versuchsaufbau und -durchführung: Verschiedene Arten der Zeitmessung werden anhand der vorgeführten Zeitmesser verdeutlicht.

1.2 Längenmessung

1.2.1 Längen-Messgeräte

Benötigte Geräte und Materialien: verschiedene Längen-Messgeräte (z. B. Klappmaßstab, Lineal, Maßband, Mikrometer-Schraube, Schieblehre usw.)

Versuchsaufbau und -durchführung: Verschiedene Arten der Längenmessung werden anhand der vorgeführten Geräte verdeutlicht.

1.3 Gewichtsmessung

1.3.1 Waagen

Benötigte Geräte und Materialien: verschiedene Waagen (z. B. Balkenwaage, Federwaage)

Versuchsaufbau und -durchführung: Verschiedene Arten der Bestimmung von Massen (schwere bzw. träge Masse) sollen verdeutlicht werden.

2 Mechanik

2.1 Einfache Bewegungsabläufe

2.1.1 Feder in evakuierter Röhre

Benötigte Geräte und Materialien: Glas-Rohr mit Feder und Blei-Stück, Luftpumpe

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Glasrohr wird mit der Luftpumpe evakuiert. Durch Hin- und Herdrehen wird anschaulich gemacht, dass alle Körper (hier: Feder und Blei-Stück) im Gravitationsfeld der Erde gleich beschleunigt werden. Man kann danach wieder Luft in das Rohr einströmen lassen und demonstrieren, welchen Einfluss der Luft-Widerstand auf die Fall-Bewegung hat.

Bemerkungen: Ein solches Glas-Rohr ist nicht in der Sammlung im Karman-Auditorium vorhanden, es muss ausgeliehen werden. Beim Evakuieren muss man darauf achten, dass die Feder nicht aus dem Rohr gesaugt wird.

2.1.2 Stroboskop-Aufnahme von fallender Kugel

Benötigte Geräte und Materialien: Stroboskop, Polaroid-Kamera, Stahl-Kugel (mit Reflexband umwickelt), Elektromagnet, Netzgerät, schwarzes Tuch, Stativ-Material, Auffangbehälter für die Kugel

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Elektromagnet wird am Netzgerät angeschlossen und an einem (etwa 2m hohen Stativ befestigt. Dahinter wird das schwarze Tuch aufgehängt, damit die Aufnahme genügend Kontrast erhält. Die Spannung des Netzgeräts muss so eingestellt werden, dass die Kugel am Magneten hält. Die Kamera wird ausgerichtet und die Blitz-Frequenz des Stroboskops so eingestellt, dass es während der Fallzeit der Kugel hinreichend oft blitzt (dies muss man evtl. vorher ausprobieren). Gleichzeitig mit dem Öffnen des Kamera-Verschlusses (Belichtungszeit: B) wird der Elektromagnet abgeschaltet und die Kugel fällt in den Auffangbehälter. Dann sollte der Kamera-Verschluss direkt wieder geschlossen werden.

Bemerkungen: Der Hörsaal sollte für die Aufnahme abgedunkelt werden, um eine Überbelichtung zu vermeiden.

2.1.3 Luftkissenbahn mit Messwerterfassung (gleichförmige und beschleunigte Bewegung)

Benötigte Geräte und Materialien: 2m-Luftkissenbahn mit Lichtschranken, Reiter mit Federn an den Enden, Reiter mit Kugel für die Start-Vorrichtung, Start-Vorrichtung, Gebläse, Computer mit CASSY-Interface

Versuchsaufbau und -durchführung: Vor Inbetriebnahme muss die Luftkissenbahn mit der Wasser-Waage ausgerichtet werden, so dass sie möglichst waagrecht steht und die Reiter bei laufendem Gebläse an einer Stelle stehen bleiben. Das Gebläse sollte so stark eingestellt sein, dass der Reiter nirgends an der Bahn entlang schleifen kann.

Nachdem man den Computer über das CASSY-Interface an die Bahn angeschlossen hat, kann man mit den vorbereiteten Messprogrammen ein $s-t$ -Diagramm, und daraus abgeleitet ein $v-t$ bzw. $a-t$ -Diagramm, aufnehmen. Für die Messung der gleichförmigen Bewegung stößt man den Reiter mit den Federn an und startet gleichzeitig am Rechner die Messung (Space-Taste). Für die Messung einer beschleunigten Bewegung kann man an einem Ende der Bahn Metall-Klötzchen unterlegen, so dass diese eine Neigung erhält. Man benutzt bei dieser Messung die Start-Vorrichtung und den Reiter mit der Kugel. Auch jetzt startet man Reiter und Messung gleichzeitig.

Zur Auswertung ist es möglich, in die Diagramme Ausgleichsgeraden und Parabeln einzutragen.

Bemerkungen: Reiter und Messung sollten möglichst gleichzeitig gestartet werden, da das Messprogramm nach einer bestimmten Zeit einfach abbricht.

2.1.4 Freier Fall einer Kugel

Benötigte Geräte und Materialien: Fall-Schiene mit Lichtschranken, Stahl-Kugel, Computer mit CASSY-Interface

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Fall-Schiene wird mit Hilfe der Wasser-Waage senkrecht aufgestellt und mit dem CASSY-Interface verbunden. Auf dem Computer sind vorbereitete Messprogramme vorhanden. Die Kugel hängt man an den Elektromagneten am oberen Ende der Schiene. Möglichst gleichzeitig mit dem Messprogramm (Start mit Space-Taste) startet man den Fall der Kugel mit der Start-Taste des Messinterfaces. Das Messprogramm kann die

aufgenommenen s - und t -Werte in Diagrammen (s - t , v - t , a - t) darstellen.

Zur Auswertung ist es auch hier möglich, in die Diagramme Ausgleichsgeraden und Parabeln einzutragen.

Bemerkungen: Auch diesmal hat das Messprogramm eine Zeit-Begrenzung!

2.1.5 Wasserstrahl: Bahn von Wassertropfen

Benötigte Geräte und Materialien: Glas-Rohr, Schlauch, Auffangwanne, Stativ-Material

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Glas-Rohr schließt man mit dem Schlauch an die Wasserleitung und montiert es am Stativ über der Auffangwanne. Am Besten benutzt man eine Stativ-Klemme, mit der das Glas-Rohr drehbar ist, damit man den „Abschuss-Winkel“ verändern kann.

Bemerkungen: Den Wasserhahn sollte man nur vorsichtig aufdrehen, denn es kann zu unvorhergesehenen Spritz-Effekten kommen, wenn sich noch Luft-Bläschen in Schlauch und Rohr befinden! Außerdem kann sich der Schlauch auch vom Glas-Rohr lösen. Um das zu vermeiden, sollte man ihn mit Schlauch-Schellen sichern.

2.1.6 Spielzeug-Eisenbahn mit Schuss-Gerät

Benötigte Geräte und Materialien: Schienen, Lokomotive, Wagen mit Schuss-Gerät, Kunststoff-Kugel, Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Vor dem Versuch muss man überprüfen, ob das Schuss-Gerät auch senkrecht steht. Dann schaltet man es ein, spannt es und legt die Kugel hinein. Lässt man die Lokomotive die Schienen mit gleich bleibender Geschwindigkeit entlang fahren, wird ungefähr auf halber Strecke am Schuss-Gerät eine Lichtschranke von einer Blech-Fahne unterbrochen (diese sollte man auch vorher auf korrekte Ausrichtung hin überprüfen). Die Kugel wird senkrecht hochgeschossen und landet wieder im Schuss-Gerät.

Bemerkungen: Die Schienen stellt man im Hörsaal am Besten auf zwei hohe Rolltische, damit sie von jedem Sitz gut sichtbar ist. Falls die Schienen in der Mitte zu stark durchgebogen sind, kann man auch noch einen dritten Tisch darunter stellen.

2.1.7 Sprungschanze

Benötigte Geräte und Materialien: Sprungschanze, Lichtschranke, Steuergerät, Netzgerät, Stativ, Elektromagnet, zwei Stahl-kugeln

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Sprungschanze wird in gewisser Höhe auf einem Tisch montiert. Das Stativ mit dem Elektromagneten wird dort aufgestellt, wo die Kugel von der Sprungschanze kommend auf den Boden aufschlägt (den Startpunkt auf der Sprungschanze sollte man markieren, damit die Kugel immer gleich beschleunigt wird). Der Elektromagnet mit der zweiten Kugel wird auf dieselbe Höhe wie das Ende der Sprungschanze aufgehängt. Die Lichtschranke wird am äußersten Ende der Sprungschanze befestigt, sie schaltet über das

Steuergerät den Elektromagneten, so dass die zweite Kugel in dem Moment losgelassen wird, in dem die erste Kugel die Schanze verlässt. Beide Kugeln sollten dann gleichzeitig auf den Boden schlagen. Das Netzgerät liefert die Betriebsspannungen von Lichtschranke und Elektromagnet.

2.2 Newton'sche Axiome

2.2.1 Gewicht und zwei Fäden (Trägheit)

Benötigte Geräte und Materialien: Stativ-Material, schwere Kugel mit Sicherungsdrähten, dünne Kordel, dicke Kordel, Holz-Griff

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kugel wird mit der dünnen Kordel am Stativ aufgehängt (dieses sollte recht stabil aufgebaut sein). Die Sicherungsdrähte werden am Stativ fest eingehängt, so dass aber noch Spielraum zum Zerreißen der Kordeln bleibt. Mit der dickeren Kordel wird der Griff unten an der Kugel befestigt. Zieht man nun langsam am Griff, dann zerreißt die dünne Kordel. Zieht man jedoch schlagartig, so sollte die dicke Kordel zerreißen.

Bemerkungen: Man sollte einige dicke und dünne Kordel-Stücke vorbereiten, damit man den Versuch schnell wiederholen kann.

2.2.2 Flasche auf Papier-Tischdecke

Benötigte Geräte und Materialien: Flasche, Papier

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Flasche stellt man auf dem Stück Papier (hier reicht schon ein A4-Blatt) auf den Tisch. Zieht man das Papier schnell weg, so bleibt die Flasche an derselben Stelle stehen.

Bemerkungen: Damit nichts schief gehen kann, sollte man eine Plastikflasche (mit etwas Wasser gefüllt) benutzen.¹

2.2.3 Zwei Federwaagen tragen gemeinsam ein Gewicht

Benötigte Geräte und Materialien: Stativ-Material, zwei Federwaagen, verschiedene Gewichte

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Federwaagen hängt man an zwei senkrechte Stativ-Stangen, so dass sie schräg hängen und man ein Gewicht an beide hängen kann. Den Versuch kann man mit verschiedenen Gewichten durchführen.

¹Alternativ kann man den Versuch natürlich auch mit Mutters bestem Porzellan durchführen...

2.2.4 Absprung vom „Skateboard“

Benötigte Geräte und Materialien: langes „Skateboard“, zwei Freiwillige

Versuchsaufbau und -durchführung: Eine Person setzt sich an das Ende des stehenden Skateboards. Die zweite Person springt (mit etwas Anlauf) vom anderen Ende ab. Dadurch wird sich das Skateboard in Bewegung setzen.

2.2.5 Ballon auf Wagen

Benötigte Geräte und Materialien: Luftballon, Spielzeug-Auto mit Ballon-Antrieb, Mundstück mit Rückschlag-Ventil

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Luftballon wird am Auto befestigt und mit dem Mundstück aufgeblasen. Dann wird das Auto auf den Tisch oder den Boden gestellt und das Mundstück abgezogen. Das Auto fährt dann los.

2.2.6 Luftkissenbahn mit zwei gleichen Massen, dazwischen eine gespannte Feder

Benötigte Geräte und Materialien: 5m-Luftkissenbahn mit Gebläse, Lichtschranken und Stoppuhren, zwei Reiter mit Federn, Faden, Feuerzeug oder Streichhölzer, Balkenwaage, Knetgummi

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Ausrichtung der Bahn erfolgt genauso wie in Versuch 2.1.3. Die Reiter werden vor dem Versuch mit Hilfe der Balkenwaage und etwas Knetgummi auf die gleiche Masse gebracht. Sie werden dann auf die Bahn gestellt und mit einem Faden so zusammengebunden, dass die Federn an ihren Enden zusammengedrückt werden. Brennt man nun den Faden durch, so schießen die Reiter in entgegengesetzte Richtung davon. Mit Hilfe der Lichtschranken und Stoppuhren kann leicht überprüft werden, ob die Reiter dieselbe Geschwindigkeit haben (natürlich nur dann, wenn die Unterbrechungsfahnen für die Lichtschranken auch gleichlang sind).

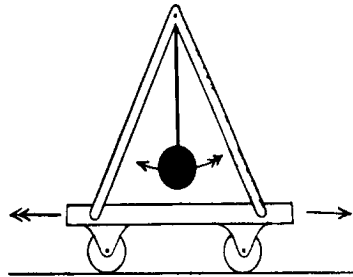
Bemerkungen: Da über der Bahn ein starker Luftzug herrscht, kann sich das durchbrennen etwas schwierig gestalten. Man muss ausprobieren, ob sich Streichhölzer oder Feuerzeug besser eignen.

2.2.7 2 Personen auf „Skateboard“ ziehen an Seil

Benötigte Geräte und Materialien: 2 kurze „Skateboards“, Seil, zwei Freiwillige

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Skateboards werden in einem gewissen Abstand aufgestellt, jede Person stellt sich auf eins. Beide Personen nehmen die Enden des Seils in die Hand. Eine oder beide Personen ziehen am Seil und die Skateboards fahren aufeinander zu.

2.2.8 Pendel-Wagen



Benötigte Geräte und Materialien: Pendel-Wagen

Versuchsaufbau und -durchführung: Wird das Pendel in Schwingungen versetzt und der Wagen losgelassen, so vollführt der Wagen Schwingungen entgegengesetzt zu den Pendelschwingungen.

2.2.9 Wasser-Rakete

Benötigte Geräte und Materialien: Wasser-Rakete, Messbecher, Trichter, Druckluft-Flasche mit Raketenfüll- und Start-Vorrichtung

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Rakete wird mit 40ml Wasser betankt. Der Füllstutzen wird angesetzt, verriegelt und die Rakete mit Druckluft gefüllt (ca. 4bar). Beim Füllen muss man die Rakete mit der Spitze nach unten halten und während des Versuchs muss auch die ganze Anordnung unter Druck bleiben, damit kein Wasser in den Füllschlauch läuft. Durch Entriegeln der Start-Vorrichtung wird die Rakete gestartet. Man sollte sie vom einen Ende des Podiums zum anderen schießen und Wasser empfindliche Gerätschaften in Sicherheit bringen.

2.2.10 Raketen-Wagen

Benötigte Geräte und Materialien: Wagen mit Gasflaschen-Halterung, CO₂-Flasche, Helm

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Gas-Flasche wird in der Halterung auf dem Wagen befestigt und die Ventilöffnung (ohne Druckminderer) nach hinten gerichtet. Der Dozent (mit Helm auf dem Kopf) setzt sich in den Wagen und öffnet das Ventil der Gas-Flasche. Der Wagen sollte sich dann in Bewegung setzen. Zur Sicherheit sollten zwei Helfer nebenher laufen, um den Wagen in der Bahn zu halten und am Ende ab zu bremsen.

2.2.11 Drehwaage nach Cavendish

Benötigte Geräte und Materialien: Drehwaage (hängt im Hörsaal), zwei große Kugeln, Netzgerät für die Laser-LED; bei Messungen zusätzlich: Stoppuhr, Meter-Maß

Versuchsaufbau und -durchführung: Die großen Kugeln werden auf die Halterungen an der

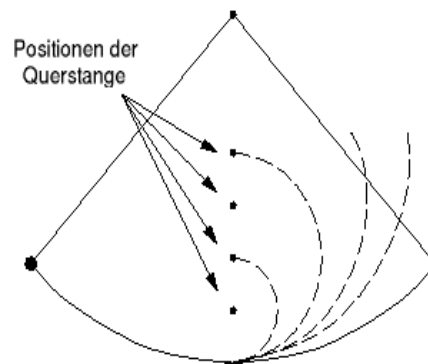
Drehwaage gesetzt und die Laser-LED an das Netzgerät angeschlossen (Betriebsspannung 3-6V). Will man Messungen durchführen, so muss der Spiegel an der Drehwaage noch richtig justiert werden, dies nimmt wegen der langen Schwingungsdauer der Drehwaage allerdings sehr viel Zeit in Anspruch. Den Ausschlag kann man mit dem Lichtpunkt auf der Wand am anderen Ende des Hörsaals messen.

2.2.12 Langes Pendel mit Lichtschranke

Benötigte Geräte und Materialien: Pendel-Faden (Draht, hängt im Hörsaal), Pendel-Masse, Lichtschranke, Uhr mit großer Leuchtanzeige

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Pendel-Masse wird am Draht befestigt und die Lichtschranke so aufgestellt, dass sie in der Ruhestellung der Masse unterbrochen ist. Sie wird so mit der Uhr verbunden, dass die Dauer von zehn Pendelschwingungen gemessen wird.

2.2.13 Galilei-Pendel



Benötigte Geräte und Materialien: Faden, Pendel-Masse, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Ein stabiles Stativ wird auf einem Rollwagen aufgebaut, an dem das Pendel befestigt wird. Eine Querstange (möglichst verschiebbar) wird in den Weg des Pendels gebracht, so dass je eine Halb-Schwingung mit verkürztem Faden vollführt wird. Deren Dauer ist dann kürzer als die der anderen Halb-Schwingung.

2.2.14 Looping-Bahn

Benötigte Geräte und Materialien: Looping-Bahn, Kugel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kugel wird in der Looping-Bahn von einem Ende aus laufen gelassen.

2.2.15 Metall-Kugel und Knetgummi-Kugel auf Metall-Platte

Benötigte Geräte und Materialien: Metall-Platte, Metall-Kugel, Knetgummi-Kugel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Metall- und die Knetgummi-Kugel werden auf die Metall-Platte fallen gelassen. Die Metall-Kugel springt wieder hoch, die Knetgummi-Kugel bleibt liegen.

2.2.16 Gewicht – Dynamo – Lampe

Benötigte Geräte und Materialien: Dynamo mit Rolle, Lämpchen, Faden, Gewicht, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Dynamo wird am Stativ befestigt und das Lämpchen daran angeschlossen. Der Faden, an dessen Ende das Gewicht hängt, wird auf die Rolle am Dynamo aufgewickelt. Lässt man das Gewicht los, so wird der Faden abgewickelt und der Dynamo erzeugt Strom, so dass das Lämpchen leuchtet.

2.2.17 Stoß von Münzen

Benötigte Geräte und Materialien: zwei gleiche Münzen

Versuchsaufbau und -durchführung: Eine Münze wird auf dem Overhead-Projektor gegen die andere gestoßen.

2.2.18 Kugel-Stoß-Reihe

Benötigte Geräte und Materialien: Kugel-Stoß-Reihe

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kugel-Stoß-Reihe lässt man „pendeln“.

2.2.19 Ballistisches Pendel

Benötigte Geräte und Materialien: Gewehr, ballistisches Pendel mit Schiebe-Zeiger und Aufhängung, Kugelfang

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Gewehr wird auf einem schweren Tisch fest eingespannt und auf das ballistische Pendel ausgerichtet. Der Kugelfang wird hinter dem Pendel aufgebaut. Vor dem Schuss wird das Pendel gewogen und der Schiebe-Zeiger auf Null gestellt. Durch den Einschlag der Kugel wird das Pendel ausgelenkt und der Zeiger verschoben. Aus dem Maß der Auslenkung kann man die kinetische Energie der Kugel bestimmen.

2.3 Reibung

2.3.1 Messung des Reibungskoeffizienten mittels Federwaage, Reibungskraft bei verschiedenen Auflageflächen

Benötigte Geräte und Materialien: Lauf-Schiene, Holz-Klotz, Federwaage, Schnur, Motor, Netzgerät für den Motor

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Lauf-Schiene und der Motor werden so aufgebaut, dass der Motor den Holz-Klotz mit der Schnur über die Schiene ziehen kann. Zwischen den Holz-Klotz und die Schnur wird die Federwaage gespannt, so dass man während des Ziehens die Zugkraft (Reibungskraft) ablesen kann. Aus Zugkraft und Gewichtskraft des Holz-Klotzes kann man den Reibungskoeffizienten berechnen: $\mu_{Gl} = \frac{F_R}{F_G}$. Den Holz-Quader kann einmal auf einer großen und ein anderes Mal auf einer kleinen Fläche laufen gelassen werden, um zu zeigen, dass die Reibungskraft gleich bleibt.

2.3.2 Reibung auf schiefer Ebene

Benötigte Geräte und Materialien: Holz-Klotz, glattes Brett, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Stativ wird so aufgebaut, dass man das Brett auf verschiedene Neigungen einstellen kann. der Klotz wird auf das Brett gelegt und dieses immer stärker geneigt, bis der Klotz anfängt zu rutschen.

2.3.3 Gleitreibung Stab

Benötigte Geräte und Materialien: Stab, Gewicht, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Stab wird schräg und drehbar (entlang seiner Achse) im Stativ eingespannt. An sein Ende befestigt man noch eine Kurbel (aus Stativ-Material), damit man den Stab drehen kann. Das Gewicht wird an das obere Ende des Stabes gehängt und die Neigung des Stabs so eingestellt, dass das Gewicht nicht herunterrutscht. Kurbelt man am Stab, so beginnt das Gewicht herunter zu rutschen.

2.3.4 Stock auf zwei Fingern

Benötigte Geräte und Materialien: Holz-Stab oder Aluminium-Stativ-Stange

Versuchsaufbau und -durchführung: Man legt die Enden des Stabes auf die Zeigefinger. Diese bewegt man aufeinander zu. Sie sollten sich in der Mitte des Stabes treffen.

2.3.5 Kugel-Fall in Öl-Behälter (Kugelfall-Viskosimeter)

Benötigte Geräte und Materialien: Metall-Kugeln verschiedener Durchmesser, Öl-Behälter, Stoppuhr

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kugeln lässt man im Öl fallen und misst die Fallzeit mit der Stoppuhr.

2.3.6 Luft-Widerstandsmessung im Windkanal

Benötigte Geräte und Materialien: Windkanal, verschiedene Versuchskörper

Versuchsaufbau und -durchführung: Bei den verschieden geformten Versuchskörpern wird die vom Luftstrom ausgewirkte Kraft gemessen.

2.3.7 Spielzeug-Fallschirm

Benötigte Geräte und Materialien: Plastik-Beutel, Spielzeug-Püppchen, Faden

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit dem Plastik-Beutel und dem Faden wird ein Fallschirm für die Puppe gebaut. Diese kann man dann hoch werfen und zu Boden gleiten lassen.

2.4 Translation, Rotation, Scheinkräfte

2.4.1 Federwaage im Aufzug

Benötigte Geräte und Materialien: Federwaage, Gewichte, Umlenkrolle, Faden, Stativ, Kamera

Versuchsaufbau und -durchführung: An einem Wagen wird eine Stativ-Stange befestigt, an deren oberen Ende sich die Umlenkrolle befindet (Höhe ca. 2m). Der Faden wird über die Rolle gelegt und an einem Ende die Federwaage, an der ein kleines Gewicht hängt, festgebunden. An das andere Ende wird ein weiteres Gewicht gehängt. Dieses wählt man so, dass die Federwaage nach unten oder oben beschleunigt wird. Die Beschleunigung sollte so stark sein, dass einerseits die Federwaage sichtbar ausgelenkt wird, aber andererseits die Kamera der Bewegung nachgeführt werden kann.

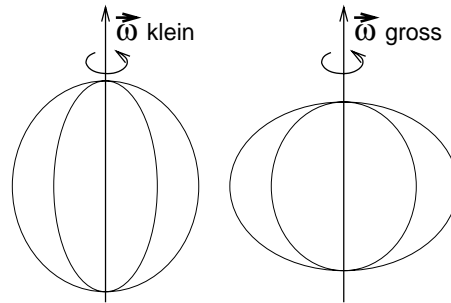
2.4.2 Rotierender Eimer

Benötigte Geräte und Materialien: Eimer mit Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Man lässt den Eimer am Arm rotieren.²

²So schnell, dass das Wasser drin bleibt!

2.4.3 Abplattungsmodell der Erde



Benötigte Geräte und Materialien: Experimentiermotor mit senkrecht nach oben gerichteter Achse, Abplattungsmodell

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Abplattungsmodell wird im Futter des Experimentiermotors festgeschraubt. Mit immer höherer Umdrehungszahl wird eine immer stärkere Abplattung am Modell sichtbar.

2.4.4 Oberfläche einer rotierenden Flüssigkeit

Benötigte Geräte und Materialien: Motor (wie in Versuch 2.4.3), Flasche mit Achse

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Flasche wird mit etwas Wasser gefüllt und im Futter des Motors befestigt. Man erhöht die Drehzahl solange, bis die Oberfläche des Wassers eine deutliche Parabel-Form erhält.

Bemerkungen: Wird der Versuch mit der Kamera gezeigt, so erhöht ein schwarzer Hintergrund die Sichtbarkeit der gekrümmten Wasseroberfläche. Einfärben des Wassers bringt keine wesentlichen Vorteile.

2.4.5 Fliehkraft-Regler

Benötigte Geräte und Materialien: Motor mit Fliehkraft-Regler, Schalter und Lampe, regelbares Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Motor wird mit einer Klemme am Tisch montiert. Der Motor wird an das Netzgerät angeschlossen. Ab einer gewissen Drehzahl ist der Ausschlag des Fliehkraft-Reglers so groß, dass der Schalter unterbrochen wird. Dadurch wird die Motor- und Lampen-Spannung abgeschaltet und der Motor bleibt stehen. Der Fliehkraft-Regler fällt zurück und schaltet Motor und Lampe wieder ein.

2.4.6 Eisbär-Jäger

Benötigte Geräte und Materialien: Drehstuhl, Saugnapf-Pistole, Saugnapf-Pfeile, Plexiglas-Scheibe mit Eisbär, Gegengewicht, Stativ-Material, Holz-Klötze

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit dem Stativ-Material wird die Plexiglas-Scheibe

am Drehstuhl in etwa 2m Entfernung vor dem Sitz befestigt. Damit der Stuhl nicht kippt, wird an der Lehne das Gegengewicht montiert. Direkt vor dem Sitz wird die Pistole am Stativ festgemacht und auf den Eisbären ausgerichtet. Der ganze Aufbau muss drehbar bleiben! Im Hörsaal wird der Stuhl für bessere Stabilität auf die Holz-Klötze gestellt und mit Hilfe der Schrauben an den Füßen gerade ausgerichtet (Libelle in der Sitz-Fläche). Schießt man auf den Eisbären, wenn der Stuhl in Ruhe ist, so trifft man diesen (sofern die Pistole korrekt ausgerichtet ist). Versetzt man den Aufbau in Rotation und schießt dann, so landet der Pfeil ein Stück neben dem Eisbären. Das Schießen kann ein Freiwilliger (Student(in)) übernehmen.

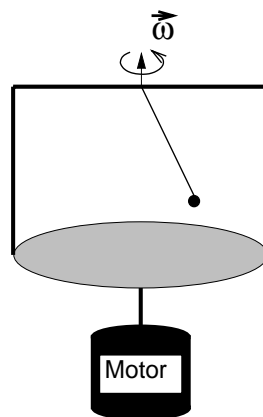
2.4.7 Foucault'sches Pendel

Benötigte Geräte und Materialien: langes Pendel (wie in Versuch 2.2.12), Hocker, höhenverstellbares Experimentiertischchen, kleine Holz-Klötzchen (z. B. Bau-Klötze), Gewinde-Stange (ca. 5-10cm)

Versuchsaufbau und -durchführung: In die Pendel-Kugel wird von unten die Gewinde-Stange eingeschraubt. Im Bereich der Auslenkung wird der Hocker und darauf das Experimentiertischchen gestellt. Die Holz-Klötzchen werden in einer Reihe aufgestellt, so dass sie von der Gewinde-Stange nacheinander umgeworfen werden können, wenn sich die Pendel-Ebene durch die Erddrehung verändert. Zunächst wird aber die Höhe des Tischchens so eingestellt, dass die Gewinde-Stange die Klötzchen nicht berührt. Das Pendel wird in Schwingungen versetzt und abgewartet, bis es ruhig schwingt (durch das Anstoßenschwingt das Pendel zuerst nicht „sauber“). Jetzt werden das Tischchen mit den Klötzchen höher gestellt. Mit der Zeit stößt das Pendel alle Klötzchen um.

Bemerkungen: Zwischen dem Umfallen der Klötzchen vergeht einige Zeit, so dass man den Versuch am Besten im Hintergrund während der Vorlesung weiterlaufen lässt.

2.4.8 Modell des Foucault'schen Pendels



Benötigte Geräte und Materialien: Motor (wie in Versuch 2.4.3), Modell des Foucault'schen Pendels, Kamera, Stativ-Material

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Pendel-Modell wird auf der Motoren-Achse festgeschraubt und die Kamera mit dem Stativ senkrecht darüber montiert. Man versetzt das Pendel in Schwingungen und schaltet den Motor ein. Durch die unter dem Pendel aufgemalten Striche kann man gut sehen, dass die Schwingungsebene trotz der Drehung des Modells gleich bleibt.

2.5 Dynamik starrer Körper, Drehbewegungen

2.5.1 Drehmoment-Scheibe

Benötigte Geräte und Materialien: Drehmoment-Scheibe, Gewichte, Tisch-Klemme

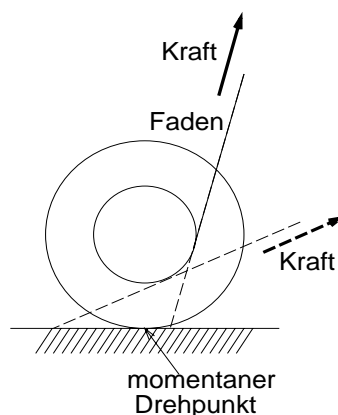
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Scheibe wird mit der Klemme an den Tisch geschraubt. An ihre Haken kann man bei verschiedenen Radien Gewichte hängen und damit Drehmomente ausüben. Diese kann man auf der gegenüberliegenden Seite mit anderen Gewichten bei anderen Radien ausgleichen.

2.5.2 Bestimmung des Schwerpunkts

Benötigte Geräte und Materialien: verschieden geformte Plexiglas-Scheiben, Stativ, Griff mit Spitze, Lot

Versuchsaufbau und -durchführung: Ein Stativ wird auf einem Tisch montiert und das Lot daran aufgehängt. Hängt man eine der Plexiglas-Scheiben davor, und zeichnet die Linie der Lot-Schnur nach, so geht diese durch den Schwerpunkt. Wiederholt man dies mit verschiedenen Aufhängungspunkten, so ist der Schnittpunkt der Linien der Schwerpunkt der Scheibe. Dies kann man bestätigen, indem man die Scheibe im so bestimmten Schwerpunkt auf die Spitze des Griff setzt. Sie sollte dann darauf waagrecht liegen bleiben.

2.5.3 Rolle am Faden



Benötigte Geräte und Materialien: „Garn-Rolle“

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Rolle legt man auf den Fußboden. Zieht man am

Faden unter verschiedenen Winkel, so wird die Rolle entweder von einem weg rollen (steiler Winkel bzgl. Fußboden) oder auf einen zu (flacher Winkel bzgl. Fußboden).

2.5.4 Statisches Gleichgewicht

Benötigte Geräte und Materialien: Uhrglas, Metall-Kügelchen

Versuchsaufbau und -durchführung: Je nachdem wie man das Uhrglas auf den Tisch legt, ist das Kügelchen, wenn man es in die Mitte des Glases legt, im stabilen oder labilen Gleichgewicht.

2.5.5 Gyroskop

Benötigte Geräte und Materialien: Fahrrad-Felge mit Achse, Stativ, Faden, Bohrmaschine mit Gummi-Rolle

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Fahrrad-Felge wird an einem Ende der Achse mit dem Faden an das Stativ gehängt. Hält man sie senkrecht und versetzt sie mit Hilfe der Bohrmaschine in Rotation, so bleibt sie nach dem loslassen (nahezu) senkrecht. Die Felge wird sich zusätzlich zur eigenen Rotation um den Aufhängungspunkt am Faden drehen.

2.5.6 Maxwell-Rad

Benötigte Geräte und Materialien: Maxwell-Rad (JoJo), Balken-Waage, Gewichte

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Maxwell-Rad wird an einer Schale der Balken-Waage befestigt. Diese wird an den Rand des Tisches gestellt, so dass sich das Rad ungehindert nach unten bewegen kann. Mit den Gewichten wird die Waage wieder ins Gleichgewicht gebracht. Lässt man das Rad los, so rollt es sich ab und bewegt sich nach unten. Die Waagschale, an der es befestigt ist, geht nach oben. Da das Rad eine relativ große Masse hat, bewegt es sich auch wieder fast bis ganz nach oben. Auch dabei ist die Waagschale „leichter“.

Bemerkungen: Durch das Umschlagen am unteren Umkehrpunkt, wird der ganze Aufbau stark durch gerüttelt. Dies kann man mit einem Stempel in einem Öl-Bad, den man an der anderen Waagschale befestigt, etwas dämpfen.

2.5.7 Zylinder auf schiefer Ebene

Benötigte Geräte und Materialien: langes Brett, Hohl- und Voll-Zylinder gleicher Masse

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Brett wird auf einem Stuhl o. ä. aufgelegt, so dass es eine schiefe Ebene bildet. Lässt man die Zylinder nebeneinander herunter rollen, so sieht man, dass der Hohl-Zylinder langsamer als der Voll-Zylinder beschleunigt, weil sein Trägheitsmoment größer ist.

Bemerkungen: Ein Helfer sollte die Zylinder am Ende des Bretts wieder abbremsen.

2.5.8 Drehschwingung

Benötigte Geräte und Materialien: Spiral(dreh-)feder, „Hantel“ (Stange mit Gewichten an den Enden)

Versuchsaufbau und -durchführung: Die „Hantel“ wird in ihrem Schwerpunkt auf der Achse der Feder befestigt. Der Aufbau kann entweder waagrecht in einem Stativ-Fuß auf den Tisch gestellt oder mit einer Tisch-Klemme senkrecht an der Kante des Tisches montiert werden.

2.5.9 Drehstuhl und Hanteln

Benötigte Geräte und Materialien: Drehstuhl, Holz-Klötze, Hanteln

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Drehstuhl wird mit Hilfe der Klötze stabil aufgestellt. Ein Freiwilliger (Student(in)) nimmt in jede Hand eine Hantel und setzt sich auf den Stuhl. Den versetzt man dann in Rotation. Bewegt der Freiwillige die Hanteln nach außen, so wird die Drehung langsamer. Bewegt dieser die Hanteln jedoch nach innen, so wird die Drehung schneller.

2.5.10 Drehstuhl mit rotierender Fahrrad-Felge

Benötigte Geräte und Materialien: Drehstuhl, Holz-Klötze, Blei verstärkte Fahrrad-Felge, Bohrmaschine mit Gummi-Rad

Versuchsaufbau und -durchführung: Man setzt sich auf den Drehstuhl und hält die Felge an der Achse, so dass die Achse waagrecht ist. Ein Helfer versetzt die Felge mit der Bohrmaschine in Rotation. Der Drehstuhl soll sich dabei noch nicht drehen. Verändert man nun die Richtung der Achse, hält die Felge z. B. nach unten oder oben, so beginnt sich der Drehstuhl zu drehen.

2.5.11 Kardanischer Kreisel

Benötigte Geräte und Materialien: Kardanischer Kreisel, Bohrmaschine mit Gummi-Rad

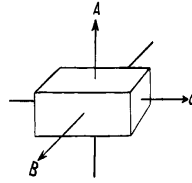
Versuchsaufbau und -durchführung: Der Kreisel wird auf einem Rollltisch aufgestellt und mit der Bohrmaschine angedreht. Man kann nun mit dem Tisch umher fahren und der Kreisel behält seine Richtung.

2.5.12 Koffer mit „verstecktem Drehimpuls“

Benötigte Geräte und Materialien: Koffer mit eingebautem Kreisel, Bohrmaschine mit Gummi-Kegel

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit der Bohrmaschine wird der Kreisel im Koffer in Drehung versetzt. Ein Freiwilliger wird gebeten, den Koffer ein wenig umher zu tragen, zu drehen, abzulegen etc.

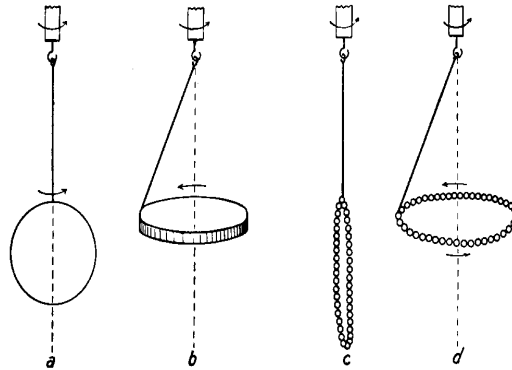
2.5.13 Buch werfen



Benötigte Geräte und Materialien: Zigarrenkiste (Buch) mit verschieden gefärbten Seiten

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kiste wird in die Luft geworfen und dabei in Drehung um eine der drei Achsen versetzt. Man sieht, bei welchen Achsen die Drehung stabil bzw. nicht stabil ist.

2.5.14 Kette, Eisen-Ring oder -Stab rotieren am Faden



Benötigte Geräte und Materialien: Experimentiermotor mit Netzgerät, Kette, Eisen-Ring, Eisen-Stab, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Motor wird mit dem Stativ so aufgestellt, dass seine Achse nach unten zeigt und die daran aufgehängten Versuchs-Objekte frei rotieren können. Die Kette, der Ring und der Stab werden nacheinander an einem Draht an der Achse aufgehängt und gedreht. Ab einer gewissen Drehzahl rotieren die Versuchs-Objekte um die Achse mit dem größten Trägheitsmoment.

2.5.15 Motor mit Unwucht (Waschmaschine beim Schleudern)



Benötigte Geräte und Materialien: Motor (wie in Versuch 2.5.14), Regelgerät, Scheibe mit Unwucht, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Motor wird mit senkrechter Achse auf ein stabiles Stativ montiert und die Unwuchtscheibe auf seiner Achse befestigt. Mit dem Regelgerät wird die Drehzahl langsam erhöht (nicht zu hoch), so dass sich der Aufbau in Schwingungen versetzt.

2.5.16 Sakai-Kreisel

Benötigte Geräte und Materialien: Sakai-Kreisel (befindet sich nicht in der Sammlung im Karman-Auditorium \Rightarrow selbst basteln)

Versuchsaufbau und -durchführung: Man lässt den Kreisel auf dem Overhead-Projektor laufen.

2.5.17 Kreisel nach Magnus, kräftefreier Kreisel

Benötigte Geräte und Materialien: Kräfte freier Kreisel oder große Stahl-Kugel mit Achse auf Druckluft-Polster (dann zusätzlich eine Druckluft-Flasche), Farbscheibe, Bohrmaschine mit Gummi-Rad

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Farbscheibe wird auf die Achse des Kreisels bzw. der Kugel gesetzt. Mit der Bohrmaschine wird er Aufbau in Rotation gebracht. Durch Anschlagen der Achse kann man die Nutation des Kreisels zeigen. Auf der Farbscheibe sieht man nun in der Mitte einen Kreis in einer Farbe. Damit wird der Rastpol des Kreisels sichtbar.

Bemerkungen: Dieser Versuch funktioniert mit der großen Stahl-Kugel am Besten.

2.5.18 Spielzeug-Kreisel

Benötigte Geräte und Materialien: Spielzeug-Kreisel (Brummkreisel)

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Kreisel wird angedreht. Man kann ihn evtl. schräg aufstellen.

2.5.19 Kreisel-Kompass

Benötigte Geräte und Materialien: Drehstuhl, Holz-Klötze, drehbar gelagertes Metall-Rad mit Blech-Pfeil

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Drehstuhl wird auf den Klötzen aufgestellt. Man setzt sich darauf und nimmt das Metall-Rad in die Hand, so dass es sich drehen kann und der Pfeil waagrecht steht. Man versetzt es dann in Rotation. Dreht man sich jetzt auf dem Stuhl, so dreht sich das Rad mit dem Pfeil nach oben oder unten (je nach Drehrichtung).

2.5.20 Hebel

Benötigte Geräte und Materialien: Stativmaterial, Gewicht

Versuchsaufbau und -durchführung: An einem Tisch wird eine senkrechte Stativstange befestigt. An dieser wiederum befestigt man eine lange Stange drehbar (mit Hilfe einer Drehmuffe), so dass es ein langes und ein kurzes Ende gibt. Am kurzen Ende kann man nun das Gewicht aufhängen. Zieht man am langen Ende, so kann man das Gewicht ohne großen Kraftaufwand anheben.

2.5.21 Flaschenzug

Benötigte Geräte und Materialien: Stativmaterial, Flaschenzug, einige gleiche Gewichte

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit dem Stativ wird der Flaschenzug am Tisch befestigt. Man kann durch anhängen der Gewichte zeigen, dass das Kräftegleichgewicht gegeben ist, wenn an einem Ende nur ein kleines Gewicht hängt und am anderen Ende ein größeres. Benutzt man einige gleiche Gewichtsstücke, so kann man das Verhältnis der Gewichte deutlich machen.

2.6 Deformierbare Medien

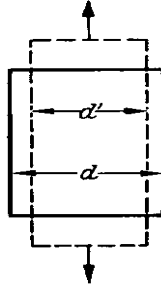
2.6.1 Dehnung eines Kupferdrahtes bis zum Zerreißen

Benötigte Geräte und Materialien: Kupferdraht, Umlenkrolle mit Zeiger, Gewicht, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Umlenkrolle mit dem Zeiger wird mit einem Stativ am Tisch befestigt. Ein Stck Draht (ca. 3-4m lang) wird an der Wand befestigt (z. B. im Fo2 am Haken im Türrahmen). Sein anderes Ende legt man über die Umlenkrolle und hängt ein kleines Gewicht zur Vorspannung daran. Den Zeiger stellt man auf den Nullpunkt seiner Skala.

Hängt man nun weitere kleine Gewichte an den Draht, so sieht man am Zeiger, dass dieser sich proportional zur Gewichtszunahme verlängert. Nimmt man die Gewichte wieder ab, so geht der Zeiger zurück auf Null. Hängt man jetzt größere Gewichte an, so ist die Verlängerung nicht mehr proportional zu dem Gewicht. Beim Abnehmen der Gewichte wird der Zeiger auch nicht mehr auf Null zurückgehen (man überschreitet die Elastizitätsgrenze recht schnell). Hängt man nun noch mehr Gewichte an den Draht, so wird er schließlich reißen.

2.6.2 Dehnung eines Gummituches



Benötigte Geräte und Materialien: Gummituch mit aufgemaltem Kreis und „Referenzkreis“ auf Plastikfolie, Leiter

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Gummituch wird am oberen Ende der Leiter aufgehängt (es muss stabil aufgehängt werden, da man sehr kräftig daran ziehen muss). Zieht man am unteren Ende des Gummituchs, so wird es länger. Durch die Querkontraktion wird der aufgemalte Kreis zur Ellipse. Der „Referenzkreis“ ist so am Tuch befestigt, dass er ohne Zugkraft mit dem aufgemalten Kreis übereinstimmt. So hat man beim Ziehen den Vergleich zur ursprünglichen Kreisform.

2.6.3 Drehpendel

Benötigte Geräte und Materialien: Stahldrähte verschiedener Querschnitte, entsprechen viele gleiche Stangen (ca. 20-30cm lang), Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Drähte werden parallel zueinander senkrecht gespannt. In der Mitte wird je eine der Stangen (in ihrer Mitte) quer zum Draht befestigt. Die Stangen lassen sich nun in Drehschwingungen versetzen. Die Periodendauer hängt von der jeweiligen Drahtdicke ab (dicker Draht: kurze Periodendauer, dünner Draht: lange Periodendauer).

Bemerkungen: Für diesen Versuch ist Kupferdraht ungeeignet, da seine Elastizitätsgrenze zu schnell überschritten ist.

2.6.4 Druckverteilung in einer Kugel

Benötigte Geräte und Materialien: Glaskugel mit Schubkolben und verschiedenen Anschlussstutzen, Schlauch, Glasröhrchen, Stativmaterial

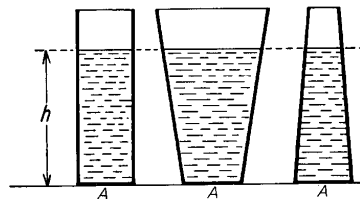
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kugel wird am Stativ befestigt und an jeden Anschlussstutzen mit einem Stück Schlauch eines der Glasröhrchen angeschlossen. Die Röhrchen werden alle auf derselben Höhe ebenfalls am Stativ befestigt. Sie dienen mit etwas eingefärbtem Wasser als Druckanzeige. Verschiebt man den Kolben, so sieht man, dass der Druck an jedem der Anschlussstutzen gleich ist.

2.6.5 Modell einer hydraulischen Presse

Benötigte Geräte und Materialien: Modell einer hydraulischen Presse, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Modell wird im Stativ eingespannt (*Vorsicht Glas!!*) und mit Wasser (evtl. gefärbt) gefüllt. Beim Pumpen sollte man ebenfalls beachten, dass es sich um ein Modell aus *Glas* handelt!

2.6.6 Hydrostatisches Paradoxon

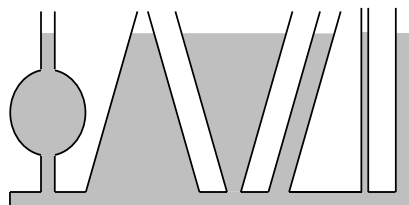


Benötigte Geräte und Materialien: Druckmesser für hydrostatisches Paradoxon mit verschieden geformten Aufsätzen

Versuchsaufbau und -durchführung: Man setzt einen der Aufsätze auf den Druckmesser auf und füllt ihn mit etwas Wasser. Den Druck, den das Wasser auf die Membran des Druckmessers ausübt. Dann wechselt man den Aufsatz. Das Wasser kann man über den seitlichen Stutzen ablaufen lassen. Die Höhe der Wassersäule kann man zuvor mit einem Zeiger, der an einer senkrechten Stange verschoben werden kann, markieren. In den neuen Aufsatz füllt man nun soviel Wasser ein, dass man dieselbe Wasserhöhe wieder erreicht. Der Druckmesser zeigt nun denselben Druck wie vorher an.

Bemerkungen: Evtl. muss die Membran des Druckmessers erneuert werden. Dies geht einfach mit einem Stück Luftballon.

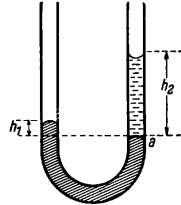
2.6.7 Kommunizierende Röhren



Benötigte Geräte und Materialien: kommunizierende Röhren, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die kommunizierenden Röhren werden so befestigt, dass das Verbindungsrohr waagrecht ist. Befüllt man das Ganze mit Wasser (evtl. eingefärbt), so ist die Wasserhöhe in allen Röhren dieselbe.

2.6.8 Dichtewaage



Benötigte Geräte und Materialien: U-Rohr, Wasser, leichtes Öl, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Das U-Rohr wird mit den Öffnungen nach oben am Stativ montiert und mit etwas Wasser (evtl. gefärbt) befüllt. Auf einer Seite des U-Rohres wird dann ein wenig Öl eingefüllt. Nun ist der Flüssigkeitsstand auf den beiden Seiten des U-Rohres nicht mehr derselbe.

2.6.9 Magdeburger Halbkugeln

Benötigte Geräte und Materialien: Magdeburger Halbkugeln, Gerüst, Vakuumpumpe, Helm

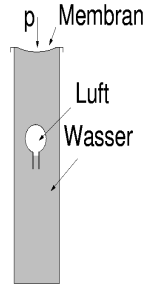
Versuchsaufbau und -durchführung: Eine der Halbkugeln wird im Gerüst befestigt und die zweite daran gehalten. Die Vakuumpumpe wird nun eingeschaltet und die Halbkugeln haften zusammen. Nun können sich auch Personen an die untere Kugel hängen (Schutzhelm tragen!).

2.6.10 Archimedisches Prinzip

Benötigte Geräte und Materialien: Federwaage, Alukörper, Becherglas, Wasser, Stativ, höhenverstellbares Experimentiertischchen

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Alukörper wird mit der Federwaage am Stativ frei aufgehängt. Das mit etwas Wasser gefüllte Becherglas wird auf dem Tischchen darunter gestellt, so dass der Alukörper beim Hochschrauben des Tischchens vollständig ins Wasser eintaucht. Es lässt sich so die Gewichtskraft des Alukörpers freihängend und eingetaucht messen.

2.6.11 Cartesianischer Taucher



Benötigte Geräte und Materialien: Cartesianische Taucher, Glaszylinder, Stopfen, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Glaszylinder wird mit Wasser gefüllt und ein (oder mehrere) Cartesianische(r) Taucher hineingesetzt. Der Stopfen dient als Membran und wird so auf den Zylinder gesetzt, dass keine Luft mehr darin ist. Drückt man auf den Stopfen, dann sinkt der Taucher im Zylinder ab.

2.6.12 Tauchspindel (Aräometer)

Benötigte Geräte und Materialien: 2 Bechergläser, Tauchspindel, Wasser, Kochsalz

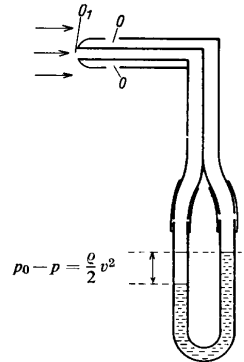
Versuchsaufbau und -durchführung: In einem der Bechergläser wird eine gesättigte Salzlösung angesetzt, das andere wird mit reinem Wasser gefüllt. Die Tauchspindel taucht im reinen Wasser tiefer ein als in der Salzlösung.

2.6.13 Geschwindigkeitsprofil in durchströmten Röhren

Benötigte Geräte und Materialien: Windkanal, keilförmiges Profil, Staurohr, Differenzdruckmesser

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Keilprofil wird in den Windkanal eingeschraubt, so dass sich der Strömungskanal immer enger wird. Mit dem Staurohr (siehe auch Versuch 2.6.14) kann man den Druck und damit die Strömungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Rohrquerschnitten messen.

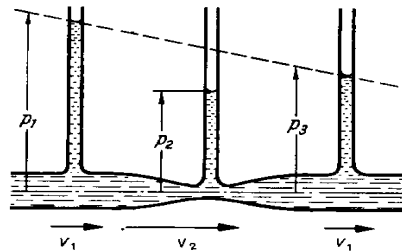
2.6.14 Prandtl'sches Staurohr



Benötigte Geräte und Materialien: Windkanal, Staurohr, Differenzdruckmesser

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Staurohr wird in den Windkanal eingeführt. Durch einzelnes Aufstecken der Verbindungsschläuche am Differenzdruckmesser kann man die einzelnen Drücke (statischer Druck, Gesamtdruck) messen. Den Staudruck kann man durch das Aufstecken beider Schläuche am Druckmesser messen.

2.6.15 Druckverteilung in durchflossenen Rohren



Benötigte Geräte und Materialien: Glasrohr (entspr. Skizze), Auffangwanne, Schlauch, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Glasrohr wird waagrecht im Stativ über der Auffangwanne eingespannt, so dass die Abzweige senkrecht stehen. Mit dem Schlauch wird es am Wasserhahn angeschlossen. Der Ablaufschlauch der Auffangwanne sollte im Abfluss liegen. Lässt man nun Wasser durch das Rohr strömen, so zeigt sich eine Druckverteilung entsprechend der Skizze.

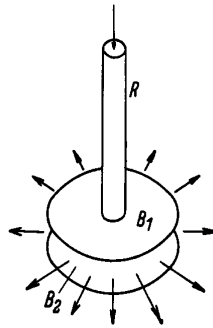
Bemerkungen: Eventuell muss man nach dem Aufdrehen des Wasserhahns das Rohr etwas hin und her kippen, damit keine Luftblasen mehr darin sind. Bei einer idealen Flüssigkeit wären p_1 und p_3 gleich.

2.6.16 Wasserstrahlpumpe

Benötigte Geräte und Materialien: Wasserstrahlpumpe, Schlauch, Auffangwanne, Stativmaterial, Küvette oder Becherglas

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Wasserstrahlpumpe wird waagrecht an einem Stativ über der Auffangwanne montiert und mit dem Schlauch an die Wasserleitung angeschlossen. Die Küvette bzw. das Becherglas wird mit gefärbtem Wasser gefüllt und unter den Saugstutzen der Wasserstrahlpumpe gestellt. Wird der Wasserhahn aufgedreht, so saugt die Pumpe das gefärbte Wasser aus der Küvette. Man sieht dies durch die Färbung auch in der Pumpe deutlich.

2.6.17 Hydrodynamisches/Aerodynamisches Paradoxon



Benötigte Geräte und Materialien: Scheibe für aerodyn. Paradoxon (s. Skizze), Stativ, Schlauch, Druckluftflasche

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Scheibe wird am Stativ befestigt und mit dem Schlauch an die Druckluftflasche angeschlossen. Wenn nun Luft hindurch strömt, beginnt die Scheibe zu flattern, da sie zunächst durch die Luftströmung angezogen wird, dann aber den Luftkanal verschließt und wieder „weggepustet“ wird usf.

Bemerkungen: Die Scheibe macht beim Flattern recht viel Lärm.

2.6.18 Schweben eines Balles im Luftstrom

Benötigte Geräte und Materialien: Gebläse, Styroporball

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Gebläse wird senkrecht aufgestellt und gegen elektrostatische Aufladung geerdet. Der Styroporball wird auf die Öffnung gelegt. Wenn das Gebläse eingeschaltet wird, schwebt der Ball im Luftstrom nach oben. Kippt man das Gebläse, so bleibt der Ball (bis zu einem gewissen Winkel) auch im Luftstrom schweben.

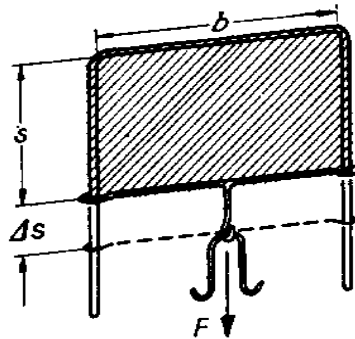
2.6.19 Hagen-Poiseuille-Gesetz

Benötigte Geräte und Materialien: Kanister, Wasser, Schlauchstücke, Ventil, Y-Verbinder, 2 Ausflussrohre verschiedener Durchmesser, Stativ, 2 Bechergläser oder Glaskolben mit Volumenskala

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Kanister wird mit (evtl. gefärbtem) Wasser gefüllt und auf dem Stativ befestigt. An seinem Füllstutzen wird das Ventil mit einem Stück Schlauch

befestigt. An dessen Ende kommt das Y-Stück mit zwei gleichlangen Stücken Schlauch, in denen die Ausflussrohre stecken. Lässt man das Wasser laufen, so sollte sich nach einer gewissen Zeit die Menge Wasser in den Auffangbehältern um die vierte Potenz des Rohrradius' der Ausflussrohre unterscheiden.

2.6.20 Messung der Oberflächenspannung von Seifenlösung



Benötigte Geräte und Materialien: Drahtbügel mit Reiter (s. Skizze), Behälter mit Seifenlösung

Versuchsaufbau und -durchführung: Setzt man den Bügel in die Seifenlösung, so lässt sich mit dem Reiter eine Seifenhaut herausziehen.

Bemerkungen: Mit einer Federwaage könnte man nun die Kraft messen, die dazu nötig ist. Zur Messung ist allerdings der Versuch 2.6.21 besser geeignet.

2.6.21 Messung der Oberflächenspannung von Seifenlösung mit einem Drahring

Benötigte Geräte und Materialien: leichter Drahring, Faden, Federwaage, flache Schale, Seifenlösung, höhenverstellbares Experimentiertischchen, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Drahring wird an der Federwaage am Stativ waagrecht aufgehängt. Die Schale mit der Seifenlösung wird auf dem Tischchen darunter gestellt, so dass der Ring in die Lösung eintaucht. Durch Absenken des Tischchens kann man den Ring aus der Seifenlösung herausziehen und die nötige Kraft an der Federwaage ablesen.

2.6.22 Schwimmende Büroklammer/Rasierklinge

Benötigte Geräte und Materialien: Schale mit Wasser, Büroklammer, Rasierklinge, Spülmittel

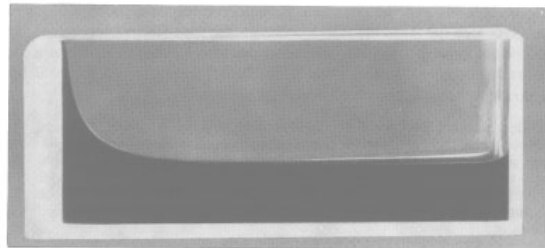
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Büroklammer und die Rasierklinge werden vorsichtig auf die Wasseroberfläche gelegt, so dass sie dort schwimmen. Gibt man das Spülmittel hinzu, so versinken sie.

2.6.23 Kleine Seifenblase bläst größere auf

Benötigte Geräte und Materialien: Seifenlösung (Pustefix o. ä.), 2 Trichter über ein Ventil miteinander und mit Aufblasstutzen verbunden, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Trichter werden mit ihrer großen Öffnung nach unten aufgehängt und mit Seifenlösung benetzt, so dass sich eine Seifenhaut bildet. Nun werden die Seifenblasen auf verschiedene Größen aufgeblasen. Dreht man das Ventil so, dass die Blasen miteinander verbunden sind, dann strömt die Luft aus der kleineren in die größere Blase.

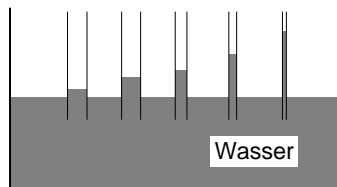
2.6.24 Randwinkel (Keilgläser)



Benötigte Geräte und Materialien: Keilglas, gefärbtes Wasser, mit Quecksilber gefülltes verschlossenes Keilglas

Versuchsaufbau und -durchführung: In das erste Keilglas wird das gefärbte Wasser gefüllt. Man sieht nun die verschiedenen Randwinkel bei Wasser und Quecksilber in den Keilgläsern (die Abbildung zeigt ein mit Wasser gefülltes Keilglas).

2.6.25 Kapillarität



Benötigte Geräte und Materialien: Küvette, Halter mit Glasrohren in verschiedenen Durchmessern, gefärbtes Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Küvette wird mit dem gefärbten Wasser gefüllt und die Glasrohr hineingehängt. Je dünner der Rohrdurchmesser ist, desto höher steigt die Wassersäule in dem jeweiligen Glasrohr.

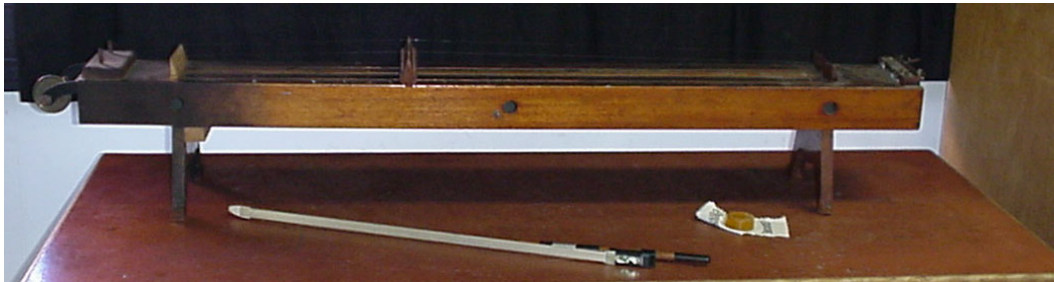
2.7 Schwingungen und Wellen

2.7.1 Stimmgabel

Benötigte Geräte und Materialien: Stimmgabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Stimmgabel wird angeschlagen.

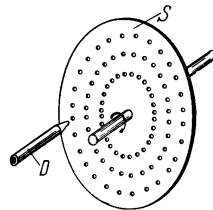
2.7.2 Monochord



Benötigte Geräte und Materialien: Monochord, Bogen, Kolophonium

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Monochord wird mit dem Bogen gestrichen. Evtl. muss der Bogen mit Kolophonium bestrichen werden.

2.7.3 Lochsirene



Benötigte Geräte und Materialien: Lochsirenen-Scheibe, Düse, Druckluftflasche, Schlauch, Stativmaterial, Experimentiermotor (wie in Versuch 2.4.3)

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Scheibe wird im Motor-Futter eingespannt. Darüber wird drehbar die Düse befestigt, die über den Schlauch mit der Druckluftflasche verbunden ist. Die Luft wird aufgedreht und der Motor eingeschaltet. Stellt man die Düse über eine der verschiedenen Lochreihen (s. Skizze), dann hört man einen entsprechenden Ton.

2.7.4 Orgelpfeifen



Benötigte Geräte und Materialien: Orgelpfeifen

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Pfeifen werden angeblasen.

2.7.5 Federpendel

Benötigte Geräte und Materialien: Feder, Gewicht, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Gewicht wird mit der Feder am Stativ montiert. Man kann es somit schwingen lassen.

2.7.6 Fadenpendel variabler Länge

Benötigte Geräte und Materialien: verstellbares Fadenpendel, Stativmaterial

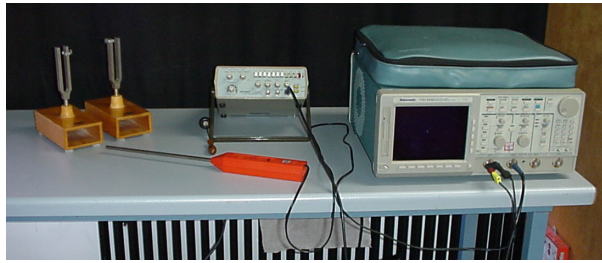
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Halterung des Pendels wird im Stativ eingespannt. Man kann nun am Faden ziehen und damit die Länge verändern.

2.7.7 Stangenpendel (variable Neigung der Pendelebene)

Benötigte Geräte und Materialien: kippbares Stangenpendel, Schraubzwingen

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit den Schraubzwingen wird das Stangenpendel am Tisch befestigt. Neigt man die Pendelebene, so wird die Periodendauer der Schwingung länger.

2.7.8 Schwebung mit Stimmgabeln



Benötigte Geräte und Materialien: 2 Stimmgabeln 440Hz mit Abstimmsschrauben, Mikrofon, Oszilloskop

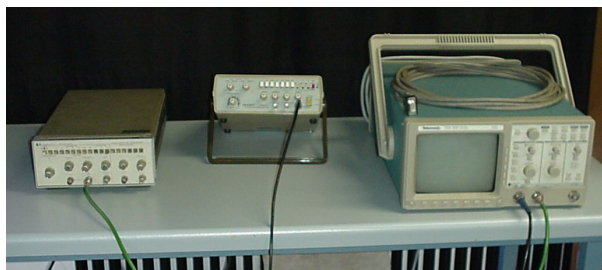
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Stimmgabeln werden so abgestimmt, dass sich ihre Frequenz leicht unterscheidet, damit eine Schwebung auftritt. Die Wellenform der Schwebung sowie einer einzelnen Stimmgabel kann man mit dem Mikrofon auf dem Oszilloskop sichtbar machen.

2.7.9 Fourier-Analyse von Sprache

Benötigte Geräte und Materialien: Computer mit Programm „Audiotester“ o. ä., Mikrofon

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Mikrofon wird am Computer angeschlossen und das Programm gestartet. In einem Diagramm wird die Fourier-Analyse der aufgenommenen Töne gezeigt.

2.7.10 Lissajousfiguren auf dem Oszilloskop



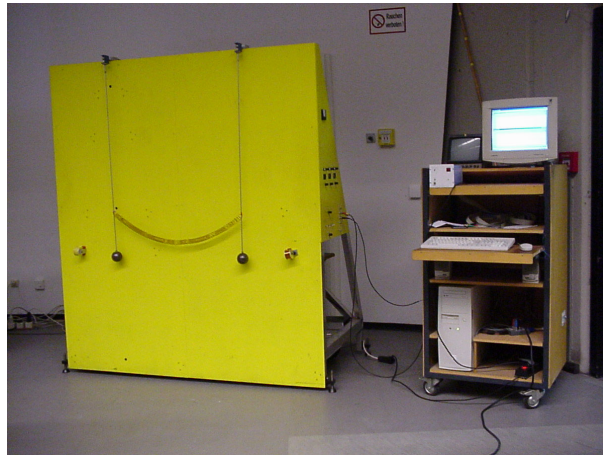
Benötigte Geräte und Materialien: 2 Tongeneratoren, Zweikanal-Oszilloskop mit X-Y-Darstellung

Versuchsaufbau und -durchführung: Ein Tongenerator wird an den X-Kanal und der andere an den Y-Kanal des Oszilloskops angeschlossen. Beide werden zunächst auf dieselbe Frequenz (einige Kilohertz) eingestellt. Bei vorsichtigem Justieren der Frequenz wird eine Lissajousfigur sichtbar.

Bemerkungen: Bei diesem Aufbau ist die Phasenbeziehung zwischen den Generatoren nicht fest definiert. Dadurch sind die Figuren auf dem Oszilloskop nicht sonderlich stabil. Besser zeigt

man diese mit einer Computersimulation.

2.7.11 Gekoppelte Pendel



Benötigte Geräte und Materialien: „gelbe Wand“ mit 2 Pendeln, Feder, 2 Haltemagnete, Computer mit CASSY-Interface

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Pendel werden an der Front der gelben Wand aufgehängt und ihre Bewegungssensoren auf Null justiert. Danach wird mit etwas Klebeband die Feder zwischen ihnen befestigt. Die Wand wird an das CASSY-Interface am Computer angeschlossen und das (vorbereitete) Messprogramm gestartet. Man kann nun durch entsprechendes Einstecken der Haltemagnete (zum Starten der Pendel bei jeder Messung) die Pendel gegenphasig und in Phase schwingen lassen, oder nur ein Pendel anstoßen (Starten der Messung mit der Space-Taste). Die Bewegung eines jeden Pendels wird auf dem Computer in einem Ort-Zeit-Diagramm aufgezeichnet.

2.7.12 Schraubenfeder

Benötigte Geräte und Materialien: Schraubenfeder, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Schraubenfeder wird an einer langen Stativstange befestigt. Man kann in der Ruhelage entweder am Gewicht eine Drehschwingung oder eine longitudinale Federschwingung anstoßen. Diese geht über in die jeweils andere und wieder zurück.

2.7.13 Pohl'sches Rad



Benötigte Geräte und Materialien: Pohl'sches Rad, je ein einstellbares Netzgerät für Anregung und Wirbelstrombremse, 2 DMM

Versuchsaufbau und -durchführung: Motor und Wirbelstrombremse werden an die Netzgeräte angeschlossen. Die DMM dienen zur Anzeige von Motorspannung bzw. Bremsstrom. Das Pendel kann man entweder von Hand in Schwingung versetzen, um z. B. die kritische Dämpfung (aperiodischer Grenzfall), starke Dämpfung (Kriechfall) oder kleine Dämpfung zu demonstrieren. Der Bremsstrom sollte nur kurzzeitig bis etwa 2,5A eingestellt werden (sonst qualmt's). Mit dem Motor kann die Pendelschwingung und Phasenverschiebung bei verschiedenen Anregungsfrequenzen gezeigt werden (Resonanz bei einer Motorspannung von etwa 9,3-9,7V). Dazu stellt man am Besten eine kleine Dämpfung ein (ca. 0,3A).

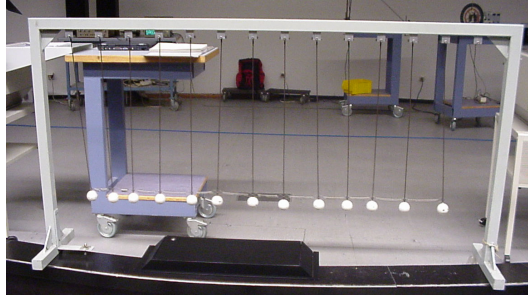
2.7.14 Zungenfrequenzmesser



Benötigte Geräte und Materialien: Holzplatte mit Motor und Blechzungen, 2 Fünfkilogramm-Gewichte, einstellbares Netzgerät (0-230V), Gleichrichter

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Motor wird mit dem Gleichrichter an das Netzgerät angeschlossen. Auf die Holzplatte werden die Gewichte gestellt, damit der Aufbau nicht von Tisch „wandern“ kann. Man beginnt den Versuch am Besten mit einer hohen Umdrehungsfrequenz und verlangsamt diese. Es schwingt dann eine der verschiedenen langen Blechzungen nach der anderen.

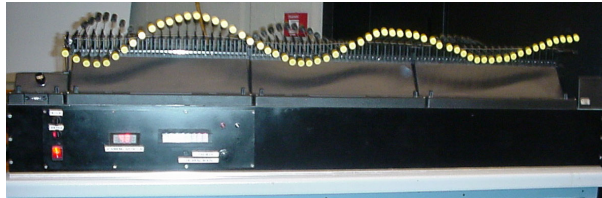
2.7.15 Wellengerät für longitudinale Wellen



Benötigte Geräte und Materialien: Wellengerät für longitudinale Wellen

Versuchsaufbau und -durchführung: Setzt man eines der Pendel an den Enden in Schwingung, so pflanzt sich eine longitudinale Welle durch die Pendelkette fort.

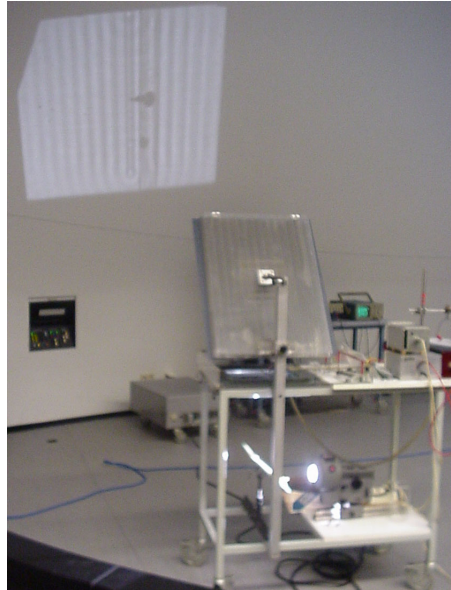
2.7.16 Wellengerät für transversale Wellen



Benötigte Geräte und Materialien: Wellengerät für transversale Wellen

Versuchsaufbau und -durchführung: Das eine Ende der Wellenkette lässt sich als offenes, festes oder gedämpftes Ende benutzen. Man kann vom anderen Ende aus entweder von Hand einen Wellenzug durch die Kette laufen lassen und seine Reflexion beobachten oder den eingebauten regelbaren Motor zur Anregung verwenden.

2.7.17 Wasserwellenwanne

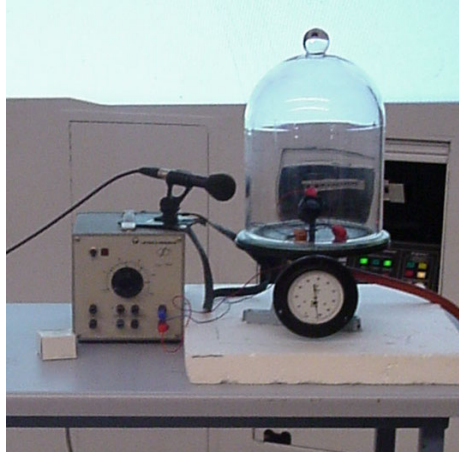


Benötigte Geräte und Materialien: Wagen mit Wasserwellenwanne

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Wagen und die Bogenlampe werden so ausgerichtet, dass man eine gute Projektion auf die Hörsaalwand erhält. Bevor Wasser eingefüllt wird, sollte die Wanne noch waagrecht ausgerichtet werden. Nun kann das Wasser eingefüllt werden und der Wasserstand in der Wanne wird mit durch Verschieben des Überlaufbehälters so eingestellt, dass der Erreger *nicht* eintaucht. Der Erreger lässt sich in seiner Höhe mit einer Schraube noch feinjustieren. Erst jetzt darf die Hochspannung zur Erregung eingeschaltet werden. Je nach Erreger erhält man Kreiswellen, Überlagerung von mehreren Kreiswellen oder ebene Wellen. Durch Einlegen einer Barriere kann man Reflexionen der Wellen erreichen, mit flachen Plexiglasscheiben (die vollständig im Wasser eintauchen), schräg zur Ausbreitungsrichtung eingelegt, kann man die Brechung der Wellen zeigen. Nimmt man einen einzelnen Erreger, kann man durch Verschieben am isolierten (!) Griff den Dopplereffekt und den Mach'schen Kegel demonstrieren.

Bemerkungen: Die Wellen werden mit Hochspannungspulsen erregt, daher ist bei Änderungen an der Versuchsanordnung stets die Hochspannungsversorgung abzuschalten! Ansonsten besteht die Gefahr von gefährlichen Stromschlägen!

2.7.18 Schallausbreitung im Vakuum

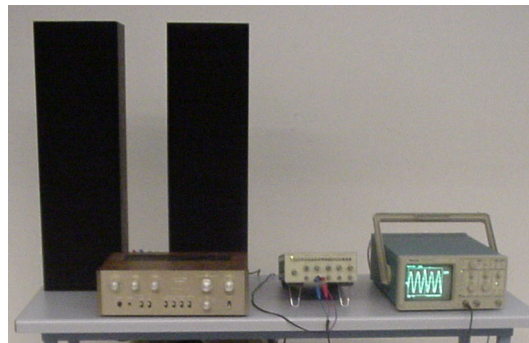


Benötigte Geräte und Materialien: Vakuumblocke, Vakuumpumpe, Piezosummer, Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Vakuumblocke wird mit der Pumpe verbunden. In der Glocke wird der Summer befestigt und durch die Spannungsdurchführung mit dem Netzgerät verbunden. Die Glasglocke wird aufgesetzt und der Summer eingeschaltet. Evtl. ist dieser zu leise für den Hörsaal, Abhilfe schafft ein Mikrofon, das neben die Glocke gelegt wird. Evakuiert man die Vakuumblocke, dann wird der Ton des Piezosummers immer leiser, bis er schließlich nicht mehr zu hören ist. Lässt man dann wieder Luft einströmen wird der Ton des Summers wieder lauter.

Bemerkungen: Zur Sicherheit sollte man eine Schutzbrille tragen, um Augenverletzungen bei einer Implosion der Vakuumblocke vorzubeugen!

2.7.19 Hörbereich des Menschen



Benötigte Geräte und Materialien: Tonverstärker, Lautsprecherboxen, Tongenerator, Oszilloskop

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Tongenerator wird an den Verstärkereingang angeschlossen, zusätzlich kann man noch das Oszilloskop zur Veranschaulichung der Tonschwingung anschließen. Man kann jetzt die unteren und oberen Grenzen des menschlichen Hörbereichs

(ca. 20Hz-17kHz) anfahren und das Publikum nach der Hörbarkeit befragen.

2.7.20 Hohe Stimme beim Einatmen von Helium

Benötigte Geräte und Materialien: Heliumflasche

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Mund wird beim Sprechen mit Hilfe eines Schlauches mit Helium gespült. Nicht tief einatmen (ungesund!).

2.7.21 Messung der Schallgeschwindigkeit

Benötigte Geräte und Materialien: Stoppuhr mit großem Display, 2 Mikrofone, Schreckschusspistole, Maßband

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Mikrofone werden mit Hilfe des Maßbandes in 10m Entfernung voneinander aufgestellt und mit dem Start- bzw. Stop-Eingang der Uhr verbunden, so dass ein Mikrofon die Uhr startet und das andere die Uhr anhält. Feuert man mit der Pistole neben dem Start-Mikrofon einen Schuss ab, dann startet der Knall die Uhr und stoppt sie, sobald der Schall das Stop-Mikrofon erreicht hat. Die Uhr zeigt dann genau die Zeit an, die der Schall für 10m gebraucht hat (ca. 30ms).

Bemerkungen: Der Knall der Pistole ist sehr laut!

2.7.22 Konservendosen-Telefon

Benötigte Geräte und Materialien: 2 Konservendosen mit Bindfaden verbunden

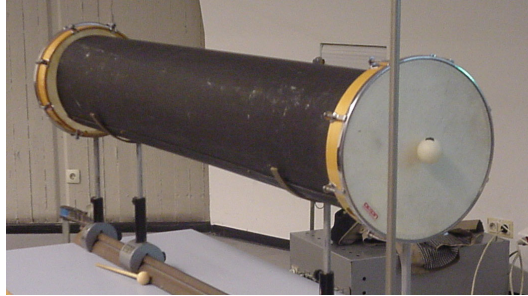
Versuchsaufbau und -durchführung: Man gibt eine der Dosen einem Freiwilligen in die Hand und spannt den Faden. Spricht man nun in die andere Dose, so ist der Schall in der ersten Dose zu hören.

2.7.23 Schallausbreitung im Holzstab

Benötigte Geräte und Materialien: langer, dicker Holzstab, schwerer Ständer mit Marmorplatte, Schraubzwingen, Hammer, Kugel mit Faden, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Holzstab wird in seiner Mitte waagrecht mit den Schraubzwingen auf der Marmorplatte befestigt. An einem Ende wird die Kugel am Faden an einem Stativgalgen dicht vor das Stabende gehängt (so dass sie den Stab gerade berührt, aber der Faden noch gerade hängt). Schlägt man mit dem Hammer auf das andere Stabende, dann schlägt die Kugel aus.

2.7.24 Schallausbreitung in Luft



Benötigte Geräte und Materialien: großes Rohr mit Haltern, 2 Trommeln, Tischtennisball mit Faden, Stativmaterial, optische Bank

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Rohr wird mit seinen Haltern auf die optische Bank montiert. Vor seinen Enden wird je eine Trommel aufgestellt. Mit dem Stativ wird der Tischtennisball am Faden direkt vor eine der Trommeln gehängt. Schlägt man die andere Trommel an, so schlägt der Ball aus.

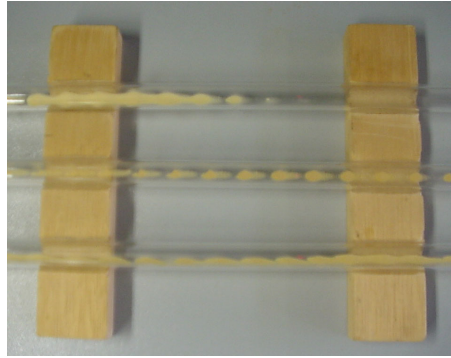
2.7.25 Stehende Welle auf einem Gummiseil



Benötigte Geräte und Materialien: regelbare Bohrmaschine, Gummiseil, Exzentrerscheibe, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Exzentrerscheibe wird in die Bohrmaschine eingespannt. Diese wird auf einem stabilen Stativ waagrecht befestigt. Das Gummiseil wird ebenfalls am Stativ festgebunden und über die Exzentrerscheibe gelegt, so dass diese das Seil in Schwingungen versetzt. Das andere Seilende wird an der Wand festgebunden. Schaltet man die Bohrmaschine ein, so erhält man je nach Geschwindigkeit die Grundschwingung oder deren Harmonische als Stehwellen auf dem Seil. Schwingungsbäuche und -knoten kann man gut sehen und abzählen.

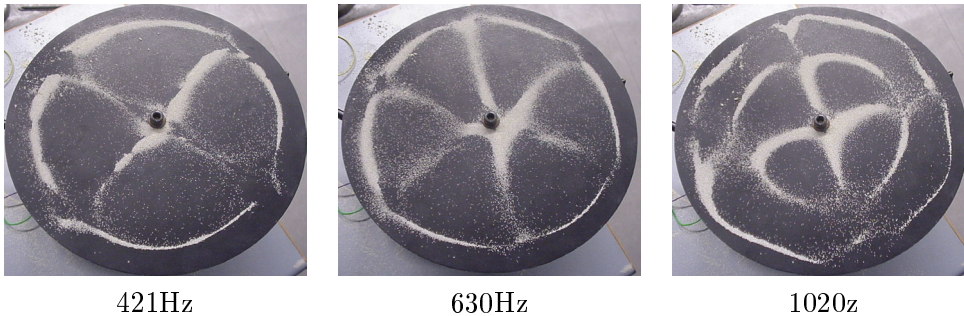
2.7.26 Kundtsches Rohr



Benötigte Geräte und Materialien: Glasrohre mit Korken an einer Seite, Ablage für Overheadprojektor, Korkmehl, Druckluftpfeife, Druckluftflasche

Versuchsaufbau und -durchführung: In den Glasrohren wird etwas Korkmehl verteilt. Sie werden in der Ablage auf den Projektor gelegt. Hält man die Pfeife an die Enden der Rohre und justiert die Frequenz, dann entstehen stehende Wellen in den Rohren und das Korkmehl sammelt sich in den Schwingungsknoten, da sich dort die Luft nicht bewegt.

2.7.27 Kundtsche Staubfiguren



Benötigte Geräte und Materialien: Computer mit Programm „Audiotester“, Tonverstärker, Lautsprecher, Blechscheibe, Grieß, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Tonausgang des Computers wird mit dem Verstärker, an den der Lautsprecher angeschlossen ist, verbunden. Die Blechscheibe wird waagrecht am Stativ montiert und der Lautsprecher darunter geschoben (mit der Schallöffnung zur Scheibe). Dann streut man etwas Grieß auf die Blechscheibe. In der Vorbereitung sucht man am Besten schon nach Resonanzfrequenzen der Scheibe und notiert diese, da die Suche evtl. langwierig ist. Sodann stellt man das Computerprogramm auf diese Frequenzen ein und erhöht die Lautstärke, bis sich Figuren ähnlich den Bildern zeigen.

2.7.28 Dopplereffekt: Kreisende Pfeife

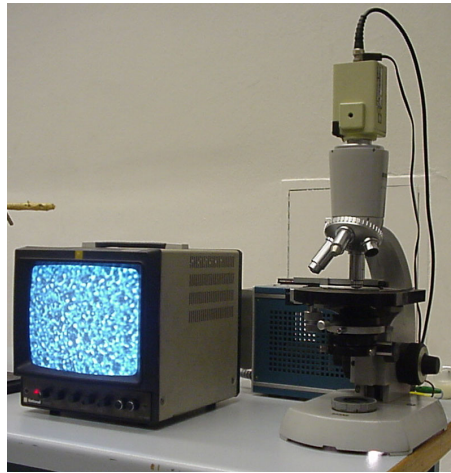
Benötigte Geräte und Materialien: Piezopfeife am Faden

Versuchsaufbau und -durchführung: Man schaltet die Pfeife ein und lässt sie so an der Schnur kreisen, dass sie sich auf die Zuhörer zu und wieder von ihnen weg bewegt.

3 Wärme

3.1 Grundlagen

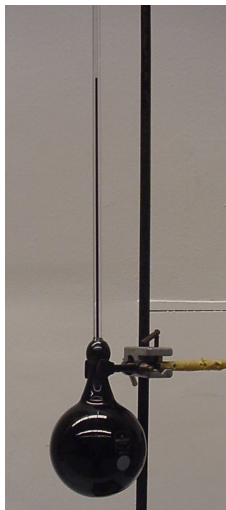
3.1.1 Brown'sche Molekularbewegung



Benötigte Geräte und Materialien: Mikroskop mit Kamera, Videomonitor, Wasser mit etwas Milch, Objektträger

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf einem Objektträger wird etwas Wasser mit Milch gegeben und unter das Mikroskop gelegt. Nach dem Fokussieren ist die Wärmebewegung der Fetttropfchen im Wasser sichtbar.

3.1.2 Flüssigkeitsthermometer

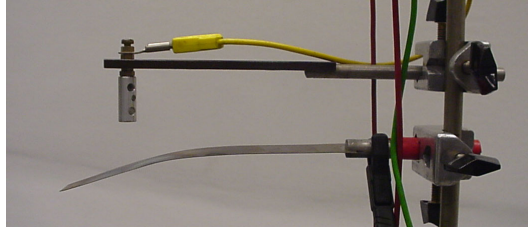


Benötigte Geräte und Materialien: Flüssigkeitsthermometer, Kerze, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Flüssigkeitsthermometer wird im Stativ eingespannt und mit der brennenden Kerze erwärmt.

3.2 Längen- und Volumenausdehnung

3.2.1 Bimetallschalter



Benötigte Geräte und Materialien: Bimetallschalter, Hupe, Netzgerät, Stativ, Feuerzeug

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Bimetallschalter wird am Stativ befestigt und mit Netzgerät und Hupe verbunden, so dass er Letztere ein- und ausschaltet. Erwärmt man ihn mit dem Feuerzeug, so verbiegt er sich und betätigt die Hupe.

3.2.2 Längen-Ausdehnung von Rohren

Benötigte Geräte und Materialien: Wasser-Kocher mit Deckel (mit Schlauch-Anschluss), Metall-Rohr, Rohr-Halterung mit Zeiger und Skala, Schlauch zur Verbindung von Rohr und Kocher

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Wasser-Kocher und das Metall-Rohr werden mit dem Schlauch verbunden, der Zeiger an der Rohr-Halterung wird auf Null gestellt. Sobald das Wasser kocht, wird das Metall mit dem durchströmenden Dampf erhitzt und dehnt sich aus. Die Ausdehnung kann man an der Skala ablesen.

Bemerkungen: Der Wasser-Kocher sollte erst kurz vor der Versuchsdurchführung mit heißem Wasser gefüllt werden, damit sich schneller Dampf entwickelt. Eventuell kann man den Versuch mit Rohren aus verschiedenen Materialien durchführen.

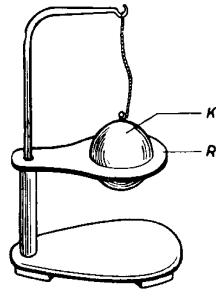
3.2.3 Kontraktionsapparat (Bolzensprenger)

Benötigte Geräte und Materialien: Bolzensprenger, Bolzen, Hammer, Gasbrenner, Spritzflasche mit Wasser, Tischklemme

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Bolzensprenger wird mit der Tischklemme am Rand des Tisches befestigt. Der Bolzen wird eingespannt und die Kontraktionsstange wird mit dem Gasbrenner erhitzt. Während des Erhitzens wird der Keil mit dem Hammer immer weiter eingeschlagen. Wenn der Keil ganz eingeschlagen ist, dann hört man mit dem Erhitzen auf und lässt die Apparatur abkühlen. Die Stange verkürzt sich dann wieder und sprengt den Bolzen.

Das Abkühlen kann man mit kaltem Wasser beschleunigen.

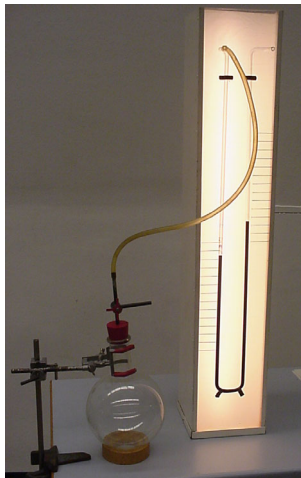
3.2.4 Volumenausdehnung einer Kugel (Kugel und Ring)



Benötigte Geräte und Materialien: Kugel mit passendem Ring, Gasbrenner, Stativ, evtl. Zugschalter, Hupe, Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kugel wird am Stativ aufgehängt, der Ring ebenfalls. Zunächst passt die Kugel noch durch den Ring. Erhitzt man sie mit dem Gasbrenner, dann dehnt sie sich aus und passt nicht mehr durch den Ring. Evtl. kann man die Kugel am Zugschalter aufhängen und nach dem Erhitzen auf den Ring legen. Wenn sie genügend abkühlt, fällt sie hindurch und betätigt den Schalter. Dieser schaltet die Hupe ein.

3.2.5 Volumenausdehnung von Gas/Gasthermometer



Benötigte Geräte und Materialien: großer Glaskolben, U-Rohr mit Hintergrundbeleuchtung und gefärbtem Wasser, Schlauch, Stopfen, kurzes Glasrohr

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Glaskolben wird mit dem Stopfen verschlossen, in dem das Glasrohr steckt, und wird mit dem Schlauch mit dem U-Rohr verbunden. Erwärmt man den Kolben mit den Händen, dann verändert sich der Wasserstand im U-Rohr entsprechend der Ausdehnung der Luft im Kolben.

3.3 Ideale Gase

3.3.1 Mechanisches Gas-Modell (Schüttelapparat)

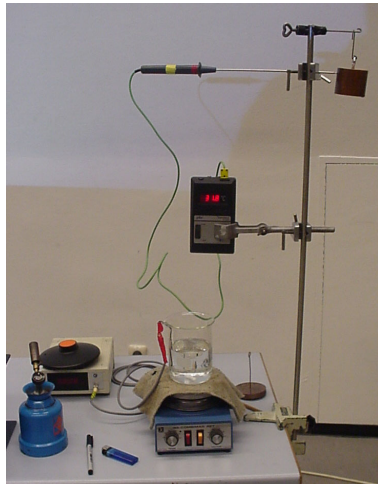
Benötigte Geräte und Materialien: Schüttelapparat, Auffangbehälter, Glas-Kügelchen, regelbarer Netztrafo, Tisch-Klemmen

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit den Tisch-Klemmen wird die Rüttelmaschine am Tisch befestigt, vor der Öffnung des Kugel-Behälters platziert man den Auffangbehälter. Mit dem Netztrafo kann die Motordrehzahl der Rüttelmaschine und damit die Bewegung der Glas-Kügelchen (Gas-Teilchen) verändern. Der Auffangbehälter erlaubt durch seine senkrechte Unterteilung eine Statistik über die Flug-Weite (Geschwindigkeit) der Kügelchen aus der Öffnung.

Bemerkungen: Man muss darauf achten, dass die Glas-Kügelchen nicht zu groß sind, sie verklemmen sich sonst im Auffangbehälter. Wenn der Versuch mit der Videokamera aufgezeichnet wird, ist eine Lampe zur besseren Ausleuchtung der Versuchsanordnung nötig.

3.4 Wärmeenergie

3.4.1 Mischungskalorimeter



Benötigte Geräte und Materialien: 2 Thermometer (eins mit Temperatur-Spannungsausgang zum Anschluss an CASSY), Computer mit CASSY-Interface, Becherglas, Wasser, Kupferblock, Magnetrührer, Gasbrenner, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Becherglas mit kaltem Wasser (ca. 400ml) wird auf den Magnetrührer gestellt (dessen Heizung muss ausgeschaltet sein!) und der Temperaturfühler des an CASSY angeschlossenen Thermometers hineingehängt. Der Kupferblock wird am Stativ aufgehängt und der Fühler des zweiten Thermometers in das vorbereitete Loch gesteckt. Man erhitzt das Kupfer bis etwa 100°C und hängt es dann in das Becherglas mit Wasser (der Magnetrührer ist eingeschaltet). Der Kupferblock darf nur so tief hängen, dass er zwar völlig eintaucht, der Rührer sich aber noch drehen kann. Mit dem Computer kann man den zeitlichen Verlauf des Temperaturanstiegs im Wasser aufzeichnen.

Bemerkungen: Besser geeignet wäre für den Versuch anstatt dem Becherglas ein wärmeisoliertes Gefäß.

3.5 Wärmetransport, Wärmestrahlung

3.5.1 Diffusion von Kaliumpermanganat in Wasser

Benötigte Geräte und Materialien: Glas- oder Kunststoffküvette, Kaliumpermanganat, dünnes Papier, Wasser

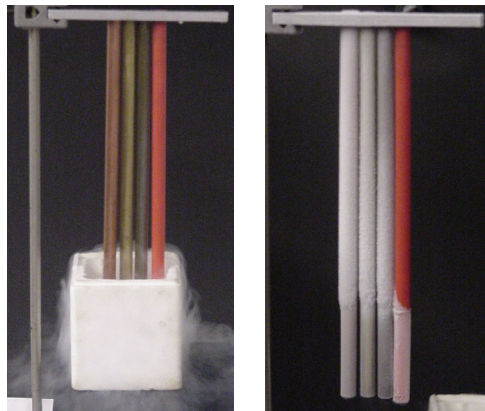
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Küvette wird mit Wasser gefüllt. Etwas Kaliumpermanganat wird in Papier gewickelt und in das Wasser geworfen. Das Kaliumpermanganat löst und verteilt sich langsam im Wasser.

3.5.2 Modell einer Warmwasserheizung

Benötigte Geräte und Materialien: Glasmodell der Warmwasserheizung, Kaliumpermanganat, Alufolie, Wasser, Gasbrenner, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Glasmodell wird am Stativ befestigt und mit Wasser gefüllt. Etwas Kaliumpermanganat wird in Alufolie gewickelt und in das Modell geworfen. An einer Ecke des Modells erhitzt man dann mit dem Gasbrenner (die Ecke sollte zur besseren Verteilung der Wärme mit Metallgaze oder Draht umwickelt sein). Durch die Erwärmung zirkuliert das Wasser durch das Modell. Dies wird durch das Kaliumpermanganat sichtbar.

3.5.3 Wärmeleitung in Kupfer, Messing, Eisen und Kunststoff



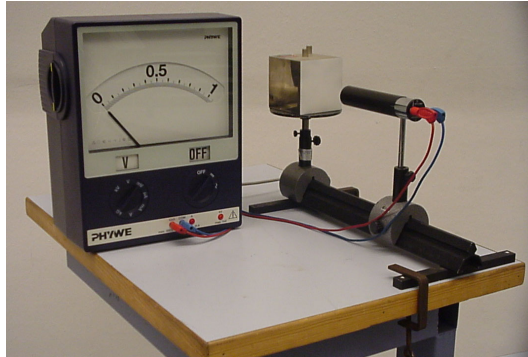
Benötigte Geräte und Materialien: Stäbe aus Kupfer, Messing, Eisen, Kunststoff, Styroporbehälter, flüssiger Stickstoff, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Stäbe werden senkrecht am Stativ befestigt, so dass sie in den Styroporbehälter eintauchen. Dann gießt man den flüssigen Stickstoff in den Behälter, so dass die Stäbe abgekühlt werden. Langsam bildet sich an den Stäben Reif, je nach

Wärmeleitfähigkeit.

Bemerkungen: Es dauert etwa 5-10 Minuten, bis die Stäbe genügend abgekühlt sind, so dass sich sichtbar Reif bildet.

3.5.4 Leslie-Würfel mit Thermosäule



Benötigte Geräte und Materialien: Leslie-Würfel, Thermosäule, optische Bank, HP-Nullvoltmeter, heißes Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Würfel und die Thermosäule werden auf der optischen Bank montiert und der Würfel mit heißem Wasser gefüllt. Die Thermosäule wird am Voltmeter angeschlossen, so dass man die Thermospannung ablesen kann (zur besseren Sichtbarkeit kann man noch ein Demonstrationsvoltmeter mit großer Anzeige am Nullvoltmeter anschließen). Durch Drehen des Würfels kann man die unterschiedliche Wärmestrahlung der verschiedenen Würfelflächen zeigen.

3.5.5 Lichtmühle

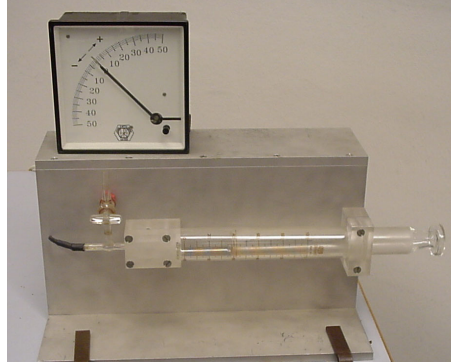


Benötigte Geräte und Materialien: Lichtmühle, Lampe zur Beleuchtung

Versuchsaufbau und -durchführung: Unter dem Licht der Lampe dreht sich die Lichtmühle.

3.6 Hauptsätze der Thermodynamik

3.6.1 Adiabat

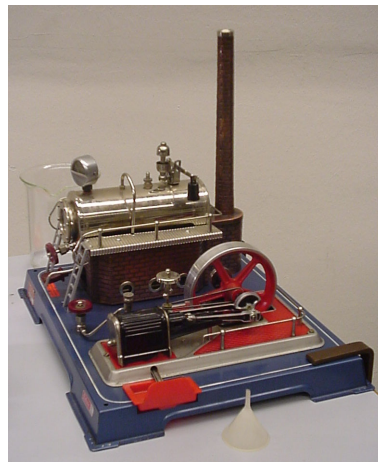


Benötigte Geräte und Materialien: Adiabat

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Adiabat wird eingeschaltet und auf Null justiert. Dehnt man das Kolbenvolumen aus, so kühlt sich die Luft darin ab, komprimiert man das Volumen, so erhöht sich die Temperatur. Am Anzeigeeinstrument sieht man entsprechende Ausschläge.

3.7 Wärme-Kraftwandlung

3.7.1 Dampfmaschine



Benötigte Geräte und Materialien: Dampfmaschine

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Dampfmaschine wird mit heißem Wasser befüllt und angeheizt.

3.7.2 Stirling-Motor

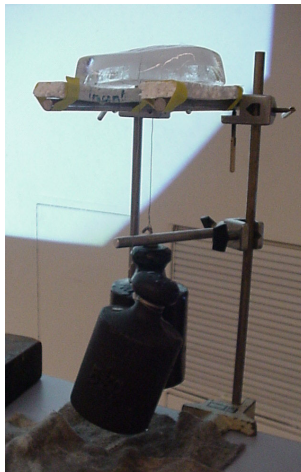
Benötigte Geräte und Materialien: Stirling-Motor, p - V -Indikator, Netzgerät (bis 20A), Laser, Thermometer mit Großanzeige, Experimentiermotor mit Steuergerät, Stativ

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Stirling-Motor wird zur Kühlung am Wasserhahn angeschlossen (alle Schlauchverbindungen im Kühlungsverlauf sollten sorgfältig mit Schlauchschellen befestigt sein!) und der Wasserhahn leicht aufgedreht. Der p - V -Indikator wird am Tisch befestigt und mit einem Faden über die Umlenkrolle mit dem Arbeitskolben des Motors verbunden (V). Mit einem Schlauch wird er am Druckmessstutzen des Motors angeschlossen (p). Der Laser wird ebenfalls am Tisch befestigt und auf den Spiegel des Indikators ausgerichtet. Alles wird so ausgerichtet, dass das p - V -Diagramm auf die Hörsaalwand projiziert wird. Da der Laser dadurch in Richtung Publikum gerichtet ist, sollte man zur Sicherheit ein Stück Pappe als Blendschutz aufstellen. In den Kopf des Motors wird die Heizspirale eingebaut und mit dem Netzgerät verbunden. Bei einem Strom von etwa 15-16A wird der Motor geheizt. Man kann ihn nun am Schwungrad anwerfen. Der Laser zeichnet dann das p - V -Diagramm an die Wand (dieses entspricht allerdings nicht dem idealen Stirling-Prozess!).

Um den Motor als Kälte- bzw. Wärmemaschine zu betreiben baut man die Heizspirale aus und setzt stattdessen den Reagenzglashalter in den Motorkopf. In das Reagenzglas wird ein wenig Wasser gefüllt und der Fühler des Thermometers eingetaucht. Der Experimentiermotor wird für diesen Versuchsteil so am Tisch befestigt, dass er das Schwungrad des Stirling-Motors über einen Riemen antreiben kann. Je nach Drehrichtung des Antriebs wird das Wasser im Reagenzglas abgekühlt oder erwärmt.

3.8 Aggregatzustände

3.8.1 Regulation des Eises



Benötigte Geräte und Materialien: Eisblock (ca 5cm×5cm×20cm), zwei 5kg-Gewichte, Draht (dünn, aber fähig, die Gewichte zu tragen), Stativ, Styroporstücke

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Eisblock wird wie abgebildet auf eine Stativhalterung gelegt. Seine Auflageflächen sind die Styroporstücke, um ihn wärmeisoliert vom Metallstativ zu lagern. Ein Stück Draht wird über das Eis gelegt und an die Enden je ein Gewicht gehängt.

Der Draht „schmilzt“ sich nun langsam durch das Eis, dass dabei seine Form behält.

3.8.2 Trockenschnee



Benötigte Geräte und Materialien: CO₂-Flasche, Austrittsrohr (s. Abb.), Stoffsack, Handschuhe, Erdungskabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die CO₂-Flasche wird auf einen Tisch gelegt (eine Steigrohrflasche an aufrecht an die Wand stellen) und das Austrittsrohr aufgeschraubt. Der Stoffsack wird über das Rohr gestülpt und festgehalten (Handschuhe tragen!). Dreht man den Flaschenhahn plötzlich für kurze Zeit auf, dann bildet sich im Sack Trockenschnee. Diesen kann man auf den Boden ausschütteln, ohne dass der Schnee sichtbare Spuren hinterlässt. Das Austrittsrohr sollte zum Schutz vor statischen Aufladungen geerdet werden.

3.8.3 Dampfdruck des Wassers

Benötigte Geräte und Materialien: Wasserbehälter mit Manometer, zugehöriger Gasbrenner, Gasflasche, Thermometer, optische Bank, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Wasserbehälter wird auf die optische Bank montiert und der Brenner darunter geschoben. Das Thermometer wird am Stativ befestigt und der Fühler in das entsprechende Loch am Behälter gesteckt. Man kann den Behälter nun heizen und den Druck in Abhängigkeit von der Temperatur messen.

3.8.4 Dampfdruck von Äther (Spritzflasche)

Benötigte Geräte und Materialien: Glaskolben mit durchbohrtem Stopfen, Reagenzglas, Äther, Erlenmeyerkolben mit doppelt durchbohrtem Stopfen, Spritzrohr, Wasser, Schlauch

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Erlenmeyerkolben wird mit etwas Wasser gefüllt und mit dem Spritzrohr zur Spritzflasche gemacht. Mit dem zweiten Loch im Stopfen wird er über den Schlauch mit dem zweiten Kolben verbunden. Das Reagenzglas wird mit etwas Äther gefüllt und aufrecht in den zweiten Kolben gelegt. Dessen Stopfen wird nun wieder aufgesetzt.

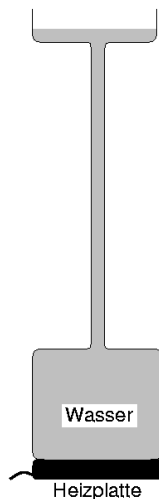
Bringt man das Reagenzglas im Kolben zum umkippen, dann verdampft der Äther recht schnell. Durch den Dampfdruck wird das Wasser aus dem Erlenmeyerkolben herausgespritzt.

3.8.5 Sieden und Gefrieren von Wasser bei Zimmertemperatur

Benötigte Geräte und Materialien: Vakuumpumpe und -glocke, Thermometer, Uhrglas, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Uhrglas wird mit etwas Wasser gefüllt und der Fühler des Thermometers eingetaucht. Letzterer wird durch die Leitungsdurchführung mit dem Thermometer verbunden. Evakuiert man die Vakuumpumpe nun, so sinkt die Wassertemperatur. Das Wasser beginnt zu sieden und gefriert schließlich.

3.8.6 Geysir-Modell



Benötigte Geräte und Materialien: Heizplatte, Erlenmeyerkolben mit durchbohrtem Stopfen, passendes Glasrohr (ca. 1m lang, Jenaer Glas), Trichter, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Kolben wird auf die Heizplatte gestellt und das Rohr in den Stopfen gesteckt. Auf das obere Ende des Rohrs wird der Trichter gesteckt. Der Aufbau wird nun bis zum oberen Ende des Glasrohres mit Wasser gefüllt, so dass sich keine Luftblasen mehr im Rohr oder im Kolben befinden. Heißt man den Kolben, so bricht der „Geysir“ nach einigen Minuten aus.

3.8.7 Verflüssigung von SF_6 unter Druck

Benötigte Geräte und Materialien: Gerät zur Verflüssigung von Gasen unter Druck (gefüllt mit SF_6), Kunststoffwanne, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Gerät wird in der Wanne aufgestellt, falls Quecksilber auslaufen sollte. Der Behälter um das Steigrohr aus Glas wird mit etwas Wasser gefüllt, um die Temperatur bei der Kompression möglichst konstant zu halten. Mit dem Handrad kann man Quecksilber in das Steigrohr drücken und die Gasfüllung komprimieren. Den Druck in der Apparatur kann am Manometer abgelesen werden. Ab einem gewissen Druck beginnt das Gas sich zu verflüssigen. Man kann weiter komprimieren, bis die Gasfüllung vollständig verflüssigt ist.

3.8.8 Kritischer Punkt (Freon-Kammer)

Benötigte Geräte und Materialien: Freon-Kammer, Wasserbehälter mit Heizung und Pumpe, Schläuche, Bogenlampe, Umlenkprisma, optische Bank, Thermometer mit Großanzeige, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Lampe, Freonkammer und das Prisma werden auf der optischen Bank befestigt, so dass der Inhalt der Kammer auf die Hörsaalwand projiziert wird. Der Wasserbehälter wird gefüllt und die Pumpe mit den Schläuchen an die Freon-Kammer angeschlossen. Heizung und Pumpe werden eingeschaltet. Der Temperaturfühler wird in das Loch an der Kammer gesteckt. Bei etwa 80°C sind Druck und Temperatur in der Kammer jenseits des kritischen Punktes. Man kann nicht mehr zwischen Flüssigkeit und Gas unterscheiden.

3.8.9 Joule-Thomson-Effekt

Benötigte Geräte und Materialien: Joule-Thomson-Apparatur, Sauerstoffflasche, Heliumflasche, Thermometer

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Thermometer wird in den Temperaturfühler der Apparatur angeschlossen. Lässt man Helium durch das Gerät strömen, dann erhöht sich die Temperatur (die Raumtemperatur liegt oberhalb der Inversionstemperatur von Helium). Bei Sauerstoff sinkt die Temperatur. Mit einer vollen Sauerstoffflasche genügt der Druck, um die Verflüssigungstemperatur von Sauerstoff zu erreichen.

4 Elektrizität und Magnetismus

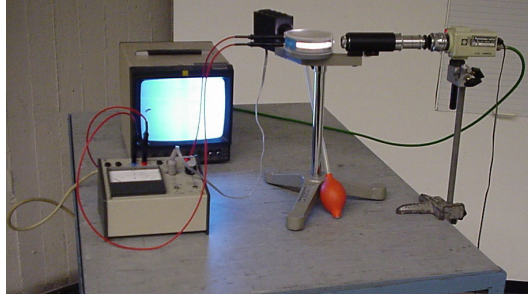
4.1 Elektrostatik

4.1.1 Reibungselektrizität

Benötigte Geräte und Materialien: Kunststoffstab, Fell, Porzellanstab, Seidentuch, Papierschnipsel

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Kunststoffstab wird am Fell oder der Porzellanstab am Seidentuch gerieben. Hält man einen Stab über die Papierschnipsel, dann werden diese angezogen.

4.1.2 Millikan-Versuch (R. C. Millikan, 1907)



Benötigte Geräte und Materialien: Millikan-Versuchsaufbau mit Steuergerät (befindet sich im Physikzentrum!), Kamera, Monitor, Stativmaterial

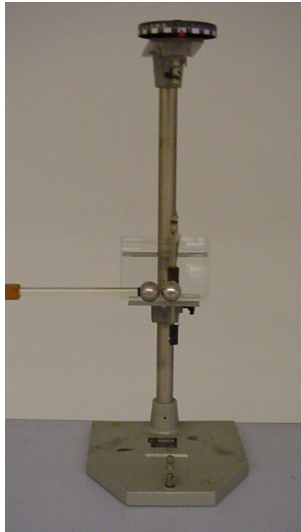
Versuchsaufbau und -durchführung: Der Aufbau wird mit Steuergerät und Monitor auf einem Tisch aufgestellt. Zunächst stellt man das Okular mit dem Auge scharf und bläst einige Öltröpfchen in die Kammer. Die Spannung wird so eingestellt, dass die Tröpfchen auf einer Stelle schweben. Jetzt wird die Kamera mit einem Stativ vor das Okular gestellt und am Monitor angeschlossen. Die wird scharf eingestellt, so dass man die Tröpfchen auf dem Monitor sehen kann. Durch Variation der Spannung kann man die Tröpfchen nach oben und unten schweben lassen. Die zurückgelegte Strecke kann man an der Skala im Okular ablesen.

4.1.3 Elektrometer, Influenz

Benötigte Geräte und Materialien: Kunststoffstab, Fell, Porzellanstab, Seidentuch, verschiedene Elektrometer

Versuchsaufbau und -durchführung: Durch Reiben der Stäbe an Fell bzw. Seidentuch kann man Ladungen trennen und mit diesen Ausschläge an einem Elektrometer hervorrufen (durch Influenz oder Aufbringen der Ladung). Außerdem kann man deutlich machen, dass Kunststoffstab am Fell gerieben und Porzellan an Seide gerieben entgegengesetzte Ladungen haben (zuerst Ladung vom Kunststoff aufs Elektrometer bringen und diese dann mit der Ladung des Porzellans neutralisieren).

4.1.4 Coulomb-Waage

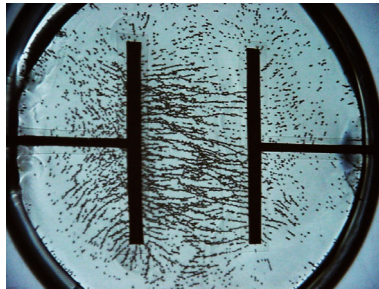


Benötigte Geräte und Materialien: Kunststoffstab, Fell, Porzellanstab, Seidentuch, Coulomb-Waage

Versuchsaufbau und -durchführung: Auch hier kann man wie in den vorigen Versuchen die Reibungsladung nutzen. Man kann nun verschiedene oder gleiche Ladungen auf die Kugeln der Drehwaage aufbringen und so Anziehung bzw. Abstoßung zeigen.

4.2 Elektrische Felder

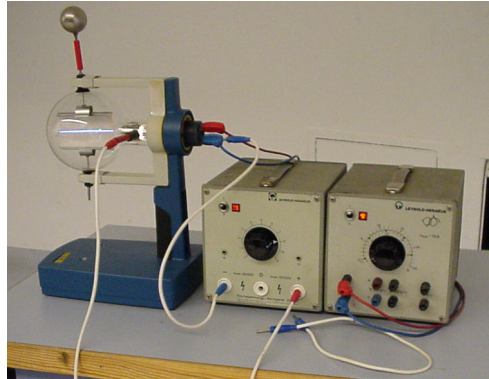
4.2.1 Elektrische Felder sichtbar gemacht mit Grießkörnern



Benötigte Geräte und Materialien: Overhead-Projektor, verschiedene Plexiglas-Platten mit Elektroden, flache Glas-Schale, Rizinus-Öl, Grieß, Hochspannungsnetzteil

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Elektroden werden mit dem Hochspannungsnetzteil verbunden und die Glas-Schale mit etwas Rizinus-Öl gefüllt, darauf gestellt. Im Rizinus-Öl ist etwas Grieß verteilt. Legt man nun eine Spannung an die Elektroden (ca. 20kV), so richten sich die Grieß-Körner entlang der elektrischen Feld-Linien an. Stellt man die Anordnung auf den Projektor, dann kann im Hörsaal alles an der Wand verfolgt werden.

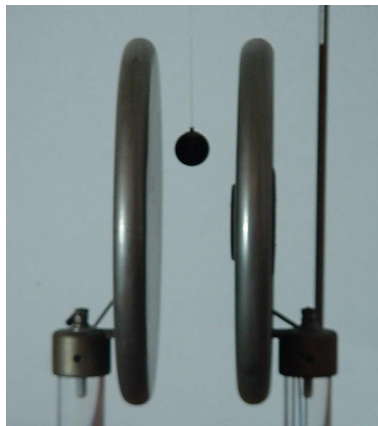
4.2.2 Kathodenstrahlröhre



Benötigte Geräte und Materialien: Kathodenstrahl(ablenk-)röhre, Hochspannungsnetzteil (ca. 7-8kV), Heizspannungsnetzteil (6,3V), Hochspannungskabel, einfache Verbindungskabel, Metallkugel, Kunststoffstab, Fell, Porzellanstab, Seidentuch

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit den Hochspannungskabeln werden Anode und Kathode der Röhre mit dem Hochspannungsnetzgerät verbunden, die Heizung wird mit den anderen Kabeln an die 6,3V-Versorgung angeschlossen. Die Metallkugel wird auf den oberen Ablenkplatten-Anschluss gesteckt. Heizung und Hochspannung werden eingeschaltet, so dass nun auf dem Schirm der Elektronenstrahl sichtbar wird. Bringt man nun den geriebenen Kunststoffstab in die Nähe der Kugel, so wird der Strahl abgelenkt (für eine dauerhafte Ablenkung kann man natürlich die Ladung auch auf die Kugel aufgebracht werden). Mit dem geriebenen Porzellanstab kann man den Strahl in die entgegengesetzte Richtung ablenken.

4.2.3 Kugel bewegt sich zwischen Kondensatorplatten („Trommler“)

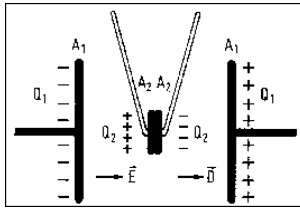


Benötigte Geräte und Materialien: großer Plattenkondensator, mit Graphit beschichteter Tischtennisball mit Faden, Stativmaterial, Kunststoffstab, Fell, Erdungskabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Ball wird mit dem Faden am Stativ in die Mitte zwischen den beiden Kondensatorplatten aufgehängt. Eine der Platten wird geerdet. Die andere wird mit dem geriebenen Stab aufgeladen. Ab einer gewissen Ladung beginnt der Ball zwischen

den Platten hin und her zu pendeln („trommeln“).

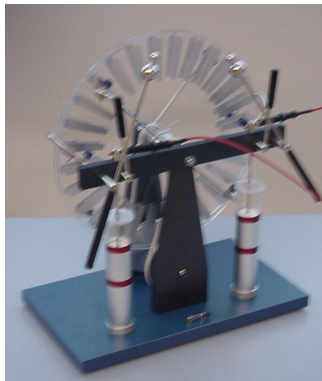
4.2.4 Doppelplatten im Kondensator



Benötigte Geräte und Materialien: großer Plattenkondensator, Plattenpaar mit Griffen, Kunststoffstab, Fell, Erdungskabel, Elektrometer

Versuchsaufbau und -durchführung: Eine der Kondensatorplatten wird geerdet, die andere mit dem geriebenen Kunststoffstab aufgeladen. Nun hält man die beiden Platten mit den Griffen aufeinanderliegend in den Kondensator (parallel zu dessen Platten, s. Bild). Durch das Feld des Kondensators werden die Ladungen in den Platten getrennt. Nimmt man die beiden Platten nun auseinander und dann aus dem Kondensator heraus, so befinden sich auf einer Platte positive Ladungen und auf der anderen die entsprechende Menge negativer Ladungen. Dies kann man nachweisen, indem man zunächst die Ladungen der einen Platte auf das (ungeladene) Elektrometer bringt und danach diese mit den Ladungen der anderen Platte wieder neutralisiert.

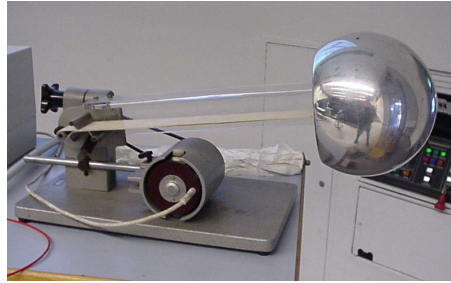
4.2.5 Influenzmaschine (Blitze)



Benötigte Geräte und Materialien: Influenzmaschine, große Metallkugeln auf Isolatoren, Hochspannungskabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Pole der Influenzmaschine werden mit je einer Kugel verbunden und die Kugeln im Abstand von einigen Zentimetern aufgestellt. Die Leidener Flaschen an der Influenzmaschine werden bei diesem Versuch zugeschaltet. Setzt man die Influenzmaschine in Gang, so springen nach einigen Kurbelumdrehungen Blitze zwischen den Kugeln über. (Ist der Kugelabstand zu groß, so gibt es Überschläge an der Influenzmaschine!)

4.2.6 Bandgenerator (Van-de-Graaff-Generator)



Benötigte Geräte und Materialien: Bandgenerator, regelbares Netzgerät (0-230V), Erdungskabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Motor des Bandgenerators wird mit dem regelbaren Netzgerät betrieben, damit man seine Umdrehungszahl regeln kann. Die Erdung des Bandgenerators erfolgt an *derselben* (!) Steckdose, an der auch das Netzgerät angeschlossen ist (sonst kann es unkontrollierbare Überschläge in den Elektroinstallationen des Hörsaals geben, die zu schweren Schäden führen können). ***Vorsichtsmaßnahmen:*** *Um Schäden vorzubeugen, müssen während des Betriebs des Bandgenerators alle elektronischen Geräte (Videokameras, Computer etc.) abgeschaltet und vom Netz getrennt werden! Die Verbindung zwischen Kameras und Videobeamer im Hörsaal ist ebenfalls zu trennen! Sämtliche Erdungen bei den Versuchen müssen über dieselbe Steckdose erfolgen, über die auch der Generator geerdet ist!*

4.2.7 Effekte mit dem Bandgenerator

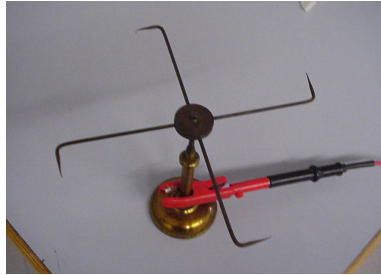


Benötigte Geräte und Materialien: Bandgenerator (siehe 4.2.6), Papierbüschel, isolierter Hocker, Erdungskabel mit Widerstand (einige Megaohm), Freiwillige(r)

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Papierbüschel wird auf den Generator gesteckt. Lässt man diesen laufen, so richten sich die Papierbänder in alle Richtungen auf. Eine andere Version dieses Versuches: Ein(e) Freiwillige(r) stellt sich auf den isolierten Hocker und hält eine Hand an den (ungeladenen!!) Bandgenerator. Schaltet man den Generator an, dann stellen sich die Haare der/des Freiwilligen in die Höhe (siehe Bild). Ehe die Person den Generator nach

dem Abschalten wieder loslässt und vom Hocker steigt, entlädt er/sie sich über den geerdeten Megaohm-Widerstand.

4.2.8 Sprührad



Benötigte Geräte und Materialien: Bandgenerator (siehe 4.2.6), Sprührad, Hochspannungskabel

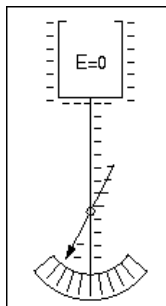
Versuchsaufbau und -durchführung: Das Sprührad schließt man mit dem Hochspannungskabel an der Kugel des Bandgenerators an. Setzt man diesen in Betrieb, so beginnt sich das Sprührad zu drehen.

4.2.9 Faraday-Käfig

Benötigte Geräte und Materialien: Bandgenerator (siehe 4.2.6), Faraday-Käfig, Elektrometer

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Elektrometer wird in der Nähe des Bandgenerators aufgestellt (Abstand ca. 0,5m). Setzt man diesen in Betrieb, so zeigt sich das erzeugte elektrische Feld als Ausschlag des Elektrometers (durch Influenz). Stellt man das Elektrometer stattdessen in den Faraday-Käfig (etwa im selben Abstand zum Generator wie vorher), so zeigt sich keinerlei Ausschlag des Zeigers. Um den Blitzschutz mittels eines Faraday-Käfigs zu demonstrieren kann man nun den Faraday-Käfig erden (*Vorsichtsmaßnahmen beachten!*) und den Generator so aufstellen, dass Blitze zum Käfig überspringen können. Nun kann sich eine Person gefahrlos in den Käfig stellen.

4.2.10 Becherelektrometer



Benötigte Geräte und Materialien: Elektrometer mit aufgestecktem Metallbecher, Kunststoffstab, Fell, „Ladungslöffel“

Versuchsaufbau und -durchführung: Man kann mit dem Ladungslöffel Ladungen vom geriebenen Kunststoffstab auf das Elektrometer löffeln und dessen Ladung schrittweise erhöhen. Außerdem kann man die Ladung des Löffels berührungsfrei (durch Influenz) messen. Dazu hält man ihn in den Becher.

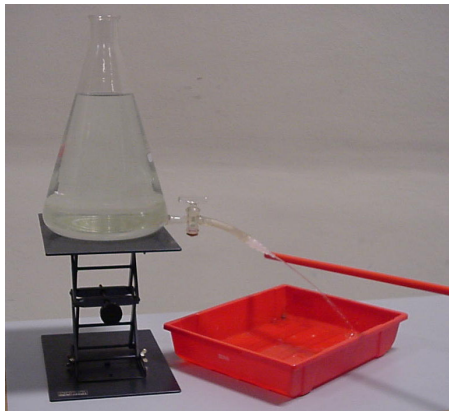
4.2.11 Kunststoffstab im Kondensatorfeld



Benötigte Geräte und Materialien: großer Plattenkondensator, Kunststoffstäbchen (ca. 5-6cm lang), Faden, Stativmaterial, Erdungskabel, Kunststoffstab, Fell

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Kunststoffstäbchen wird mit dem Faden drehbar am Stativ zwischen die Kondensatorplatten gehängt (so dass es diese aber nicht berührt, den Abstand der Platten so einstellen, dass das Stäbchen sich ungehindert drehen kann). Es wird so ausgerichtet, dass es zunächst parallel zu den Platten steht. Eine der Platten wird geerdet. Die andere mit dem geriebenen Kunststoffstab aufgeladen. Das Stäbchen richtet sich jetzt senkrecht zu den Kondensatorplatten aus.

4.2.12 Kunststoffstab und Wasserstrahl



Benötigte Geräte und Materialien: Kolben mit Hahn, Experimentiertischchen, Auffangschale, Wasser, Kunststoffstab, Fell

Versuchsaufbau und -durchführung: Der mit Wasser gefüllte Kolben wird auf dem Experimentiertischchen so aufgestellt, dass das Wasser aus dem Hahn in einem dünnen Strahl in die Schale fließen kann. Kommt man mit dem geriebenen Kunststoffstab in die Nähe des Wasserstrahls, dann wird dieser abgelenkt.

4.3 Kondensatoren

4.3.1 Kondensatoren

Benötigte Geräte und Materialien: versch. Kondensatoren (z. B. entrollten Metallpapier-Kondensator)

4.3.2 Plattenkondensator, Leidener Flasche

Benötigte Geräte und Materialien: Plattenkondensator, Leidener Flasche, Elektrometer, Kunststoffstab, Fell, Erdungskabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Man kann Kondensator oder Leidener Flasche mit dem geriebenen Stab aufladen und die Ladung mit dem Elektrometer nachweisen.

4.3.3 Parallel- und Serienschaltung von Kondensatoren

Benötigte Geräte und Materialien: zwei Plattenkondensatoren in Halterung, DMM mit Kapazitätsmessbereich, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kondensatoren werden mit den Kabeln parallelgeschaltet bzw. übereinandergesetzt und damit in Serie geschaltet. Mit dem DMM misst man die Kapazität der einzelnen Anordnungen.

4.3.4 Kondensator treibt LED

Benötigte Geräte und Materialien: Kondensator (hohe Kapazität, z. B. Goldcap), LED, Netzgerät (ca. 2V)

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit dem Netzgerät wird der Kondensator auf etwa 2V aufgeladen. Nun kann er einige Zeit die LED betreiben.

4.3.5 Spannungsabfall bei Dielektrikum im Kondensator

Benötigte Geräte und Materialien: Kondensator mit einschiebbarem Dielektrikum, Elektrometer, Hochspannungsnetzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Elektrometer misst die Spannung zwischen den Kondensatorplatten. Mit dem Hochspannungsnetzgerät wird der Kondensator auf einige kV aufgeladen. Schiebt man das Dielektrikum ein, so sinkt die Spannung ab. Zieht man es wieder heraus, so steigt die Spannung wieder.

4.4 Elektrischer Strom

4.4.1 Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern

Benötigte Geräte und Materialien: zwei parallele Drähte (großer Querschnitt), Kabel, Hochstromnetzgerät, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die parallelen Drähte werden senkrecht am Stativ aufgehängt. Sie werden entweder in Parallel- oder Reihenschaltung an das Netzgerät angeschlossen. Lässt man einen Strom durch die Drähte fließen, so wird die Kraftwirkung zwischen den Drähten sichtbar: Die beiden Drähte stoßen sich ab oder ziehen sich an.

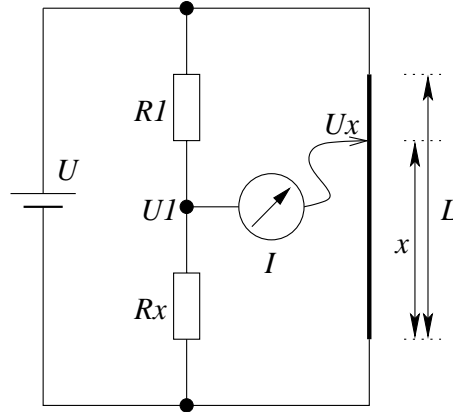
4.5 Elektrischer Widerstand, Leitungsmechanismen

4.5.1 Ohm'sches Gesetz, Widerstand von Metalldrähten

Benötigte Geräte und Materialien: Platte mit verschiedenen Drähten (versch. Material u. Querschnitte), Konstantstromquelle, Voltmeter (Demonstrationsgerät), Stativmaterial, Kabel, Krokoklemme

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Platte mit den Drähten wird mit dem Stativ am Tisch befestigt. Mit der Konstantstromquelle kann man einen Strom durch je einen Draht fließen lassen und die jeweils abfallende Spannung mit dem Voltmeter messen. Um die Abhängigkeit des Widerstands vom Querschnitt zu demonstrieren, kann man den Spannungsabfall bei verschiedenen Drahtquerschnitten vergleichen. Mit einer zusätzlichen Abgriffleitung mit Krokoklemme kann man die Spannung an einem Draht bei verschiedenen Längen abgreifen.

4.5.2 Wheatstone'sche Brückenschaltung

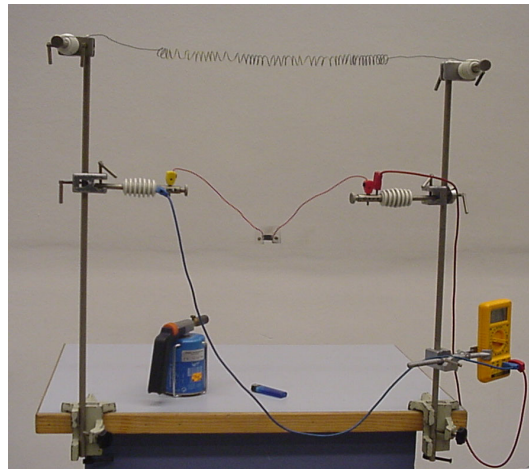


Benötigte Geräte und Materialien: Platte mit Draht, Abgreifschieber und Zentimeterskala, Steckplatte, einen Steckwiderstand mit bekanntem Wert (z. B. 100Ω), den zu bestimmenden Steckwiderstand (z. B. 470Ω), Netzgerät, Amperemeter, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Schaltung wird entsprechend dem Schaltbild aufgebaut. Die Betriebsspannung wird so eingestellt, dass der durch den Draht fließende Strom nicht zu übermäßiger Erwärmung des Drahtes führt (ansonsten wird das Messergebnis evtl. verfälscht). Stellt man nun den Abgreifschieber so ein, dass $I = 0$ wird, so kann man die Länge x an der Skala ablesen. Der Widerstand R_x ergibt sich dann aus

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{x}{L - x}.$$

4.5.3 Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands



Benötigte Geräte und Materialien: Drahtspirale, Germaniumstück, DMM, Stativ, Gasbrenner

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit dem DMM wird der Widerstand der Drahtspirale oder des Germaniumstücks bei Erwärmung gemessen. Den Draht erwärmt man mit dem Gasbrenner, beim Germanium reicht es, dieses mit der Hand zu erwärmen. Die Proben und das DMM werden gemäß der Abbildung im Stativ befestigt.

4.5.4 Leitfähigkeit von Glas in Abhängigkeit von der Temperatur

Benötigte Geräte und Materialien: Regelbares Netzgerät (ca. 110V), Glasröhrchen (Durchmesser ca. 5mm, Länge einige cm), Isolatoren, zwei Nägel, kleine Stativfüße, Metallplatte, Kabel, Gasbrenner

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Nägel werden in den Isolatoren befestigt, welche in die Stativfüße gestellt werden. Das Glasröhrchen wird jetzt so auf die Nägel gesteckt, dass diese im Röhrchen einen Abstand von etwa einem halben Zentimeter haben. Die ganze Anordnung wird zum Schutz des Tisches auf die Metallplatte gestellt. Die Nägel werden mit je einem Pol des Netzgeräts verbunden, welches auf ca. 110V eingestellt wird. Erhitzt man das Glasröhrchen jetzt mit dem Gasbrenner, so wird es mit steigender Temperatur leitfähig. Nun nimmt man die Flamme weg. Durch den jetzt fließenden Strom wird das Glas zum Durchbrennen gebracht.

4.5.5 Leitfähigkeit von Wasser/Salzwasser

Benötigte Geräte und Materialien: Glasküvette, dest. Wasser, Kochsalz, zwei Elektroden, Glühlämpchen, Netzgerät, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Wasser wird in die Glasküvette gefüllt und die beiden Elektroden hineingehängt. Lämpchen, Netzgerät und Küvette werden in Reihe geschaltet. Schaltet man das Netzgerät (für das Lämpchen geeignete Spannung) ein, so leuchtet das Lämpchen noch nicht. Erst wenn man Salz im Wasser auflöst, steigt dessen Leitfähigkeit und das Lämpchen beginnt zu brennen.

4.5.6 Knallgaserzeugung

Benötigte Geräte und Materialien: Elektrolyse-Apparat (gefüllt mit Wasser und etwas Schwefelsäure), Netzgerät, Kabel, Reagenzglas, Feuerzeug

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Elektroden des Elektrolyse-Apparats werden am Netzgerät angeschlossen (Gleichspannung, ca. 10V). Dieses wird eingeschaltet und an den Elektroden entstehen Wasserstoff und Sauerstoff. Die beiden Gase sammeln sich getrennt auf beiden Seiten des Apparats. Auf der Kathodenseite kann man etwas Wasserstoff ins Reagenzglas füllen (Öffnung nach unten halten) und zur Demonstration mit dem Feuerzeug entzünden.

4.5.7 Verkupfern

Benötigte Geräte und Materialien: Becherglas, Eisenstab, gesättigte Kupfersulfatlösung

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Becherglas wird mit der Kupfersulfatlösung gefüllt. Hält man den Eisenstab für etwa eine Minute in die Lösung, so bildet sich eine dünne Kupferschicht darauf.

4.5.8 Entladung durch Flamme

Benötigte Geräte und Materialien: großer Plattenkondensator, Kerze, Kabel, Elektrometer, Kunststoffstab, Fell, Feuerzeug

Versuchsaufbau und -durchführung: Eine Kondensatorplatte wird geerdet, die andere mit dem Elektrometer verbunden. Lädt man die zweite Platte mit dem geriebenen Kunststoffstab auf, so schlägt das Elektrometer aus. Hält man jetzt die brennende Kerze zwischen die Platten (ohne diese zu berühren), so geht der Elektrometer-Ausschlag zurück, da durch die Ionisation der Luft an der Kerzenflamme sich der Kondensator durch die Luft entladen kann.

4.5.9 Kanalstrahlen

Benötigte Geräte und Materialien: Kanalstrahlrohr, Vakuumpumpe, Hochspannungsnetzgerät, Hochspannungskabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Kanalstrahlrohr wird auf den entsprechenden Stützen am Pumpenwagen gesetzt und das Netzgerät an die Elektroden angeschlossen. Nun wird das Rohr evakuiert. Erhöht man die Spannung langsam, so kann man die verschiedenen Leuchterscheinungen im Rohr beobachten, bis sich schließlich am Loch in der Kathode die Kanalstrahlen zeigen. Diesen Versuch führt man im abgedunkelten Hörsaal durch.

4.5.10 Glimmentladung

Benötigte Geräte und Materialien: Glimmlampe, regelbares Netzgerät (bis ca. 100-150V, Gleich- und Wechselspannung), Kabel, Vorwiderstand, Kunststoffstab, Fell

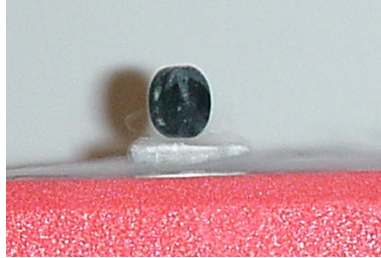
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Glimmlampe wird mit dem Vorwiderstand (zum Schutz vor Zerstörung) in Reihe an das Netzgerät angeschlossen. Erhöht man langsam die Spannung, so „zündet“ die Lampe schließlich (Achtung: zu hohe Spannung zerstört die Glimmlampe!). Alternativ kann man die Glimmlampe auch schon eher mit dem aufgeladenen Kunststoffstab zünden, es genügt meist, ihn in die Nähe zu bringen. Bei Betrieb mit Gleichspannung zeigt sich die Glimmentladung nur an einer Elektrode, bei Wechselspannung an beiden.

4.5.11 Leuchtstofflampe

Benötigte Geräte und Materialien: Leuchtstoffröhre, Vorschaltgerät, Kunststoffstab, Fell

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Leuchtstoffröhre wird mit dem Vorschaltgerät ans Netz angeschlossen. Mit dem geriebenen Kunststoffstab kann man sie zünden. Auch hier reicht es meist schon, den Stab in die Nähe der Lampe zu bringen. (Dieser Versuch befindet sich nicht in der Sammlung im Karman-Auditorium.)

4.5.12 Supraleitender Elektromagnet



Benötigte Geräte und Materialien: Isolierschale, Magnet, Hochtemperatur-Supraleiter, Kunststoffpinzette, flüssiger Stickstoff

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Isolierschale wird mit etwas flüssigem Stickstoff gefüllt und der Magnet hineingestellt. Das Supraleiterstück legt man mit der Pinzette in den flüssigen Stickstoff und wartet, bis es vollständig abgekühlt ist (Stickstoff kocht nicht mehr). Nun kann man es mit der Pinzette über den Magneten bringen. Durch das Magnetfeld der durch den Magneten induzierten Ströme schwebt der Supraleiter über dem Magneten.

4.6 Elektrische Leistung

4.6.1 Joule'sche Wärme

Benötigte Geräte und Materialien: Kupferdraht, Stahldraht, Isolatoren, Stativmaterial, Kabel, Hochstromnetzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Drähte werden mit den Isolatoren am Stativ parallel zueinander gespannt. Ihre Enden werden verbunden und an je einen Pol des Netzgeräts angeschlossen. Lässt man nun einen genügend hohen Strom durch die Drähte fließen, so beginnt der Stahldraht zu glühen, während der Kupferdraht (relativ) kalt bleibt.

4.7 Stromerzeugung

4.7.1 Galvanische Elemente

Benötigte Geräte und Materialien: Glasküvette, stark verdünnte Salzsäure, verschiedene Elektroden (z. B. Zink, Eisen, Kohle, Kupfer), Zitrone, Kupfer- und Eisenstift, Voltmeter

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Säure wird in die Glasküvette gefüllt (*Vorsicht!*). Bei verschiedenen Kombinationen von Elektroden wird die Spannung gemessen (um 1V). Eventuell stimmen die gemessenen Spannungen nicht mit den theoretischen Werten überein, möglicherweise müssen vor dem Versuch die Elektroden von Korrosionsschichten gereinigt werden. Kupfer- und Eisenstift werden in die Zitrone gesteckt. Auch hier lässt sich eine Spannung messen (ca. 0,8V).

4.7.2 Brennstoffzelle

Benötigte Geräte und Materialien: Brennstoffzelle, Methanollösung (siehe Beiblatt der Zelle), DVM, evtl. Solarmotor, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Tank der Brennstoffzelle wird mit der Methanollösung gefüllt. Nach ein paar Minuten baut sich eine Spannung von etwa 0,6-0,7V auf. Zur Demonstration kann man einen Solarmotor mit einer bunten Scheibe anschließen.

4.7.3 Solarzelle

Benötigte Geräte und Materialien: Solarzelle, DVM, Solarmotor, Lampe, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Zur Beleuchtung der Solarzelle wird eine Lampe benutzt, da die Hörsaalbeleuchtung i. d. R. nicht zum Betrieb des Motors an der Solarzelle ausreicht. Der Motor wird an die Solarzelle angeschlossen, bei ausreichender Beleuchtung dreht er sich. Die Spannung kann man mit dem DVM messen.

4.8 Thermoelemente

4.8.1 Kupfer-Konstantan-Thermoelement

Benötigte Geräte und Materialien: Kupfer-Konstantan-Thermoelement, HP-Nullvoltmeter, evtl. Demonstrations-Messgerät, Feuerzeug, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Thermoelement wird am Tisch befestigt, so dass es gut sichtbar ist. Zur Messung der Spannung wird das HP-Nullvoltmeter benutzt, zur besseren Sichtbarkeit des Messwerts im Hörsaal kann man daran ein Demonstrations-Messgerät anschließen. Erwärmt man eine Seite des Thermoelements (mit der Hand oder dem Feuerzeug), so misst man eine Spannung. Lässt man die Seite wieder abkühlen und erwärmt dann die andere Seite, dann misst man eine entgegengerichtete Spannung.

4.8.2 Thermomagnet

Benötigte Geräte und Materialien: Thermomagnet (Thermoelement, Gewicht, Haken), Becherglas mit Eiswasser, Gasbrenner, Feuerzeug, Stativ, Schaumstoffmatte

Versuchsaufbau und -durchführung: Ein Stativ wird am Tisch befestigt, so dass man den

Thermomagneten über die Schaumstoffmatte hängen kann. Nun setzt man den Thermomagneten zusammen und stellt eine Seite ins Eiswasser. Die andere Seite erhitzt man mit dem Gasbrenner. Nach einigen Minuten hält der Thermomagnet zusammen und man kann ihn an das Stativ hängen.

4.8.3 Peltier-Element

Benötigte Geräte und Materialien: Peltier-Element, Hochstrom-Netzgerät, Kabel, Stativmaterial, Phywe-Doppelthermometer

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Peltier-Element und die Temperaturfühler werden so am Stativ befestigt, das man die Temperaturen beider Seiten des Peltier-Elements messen kann. Das Peltier-Element wird am Netzgerät angeschlossen. Bei einem Strom von etwa 20A erwärmt sich die eine Seite des Elements, während sich die andere Seite abkühlt.

4.9 Strom-/Spannungsmessung

4.9.1 Drehspulinstrument

Benötigte Geräte und Materialien: Drehspulinstrument, Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit diesem Versuch soll die Funktionsweise eines Drehspulinstrumentes demonstriert werden.

4.10 Magnetfelder

4.10.1 Permanentmagnete

Benötigte Geräte und Materialien: verschiedene Permanentmagnete

Versuchsaufbau und -durchführung: Verschiedene Permanentmagnete werden vorgeführt.

4.10.2 Magnetfelder von stromdurchflossenen Leitern (zweidim.)

Benötigte Geräte und Materialien: Overhead-Projektor, Halterung mit Plexiglas-Einsätzen mit einfachem Leiter, Spule etc., Eisenfeilspäne, Hochstromnetzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Leiter bzw. Spule werden an das Netzgerät angeschlossen und feine Eisenfeilspäne auf die Plexiglas-Platte gestreut. Schaltet man den Strom ein, so richten sich die Späne entlang der magnetischen Feld-Linien aus. Eventuell muss man dieses mit leichtem Klopfen an der Platte unterstützen. Wie in Versuch 4.2.1 wird das Bild mit dem Projektor an die Wand geworfen.

4.10.3 3-dim. Feldlinien eines Stabmagneten

Benötigte Geräte und Materialien: Stabmagnet, kardanisch aufgehängte Magnetnadel

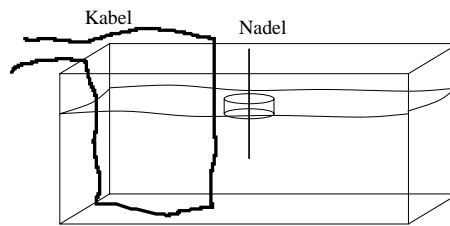
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Magnetnadel richtet sich im Feld des Stabmagneten immer in die Richtung der Feldlinien.

4.10.4 Magnetfeldlinien um einen stromdurchflossenen Leiter

Benötigte Geräte und Materialien: große Leiterschleife, Hochstromnetzgerät, Tischklemmen, kardanisch aufgehängte Magnetnadel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Leiterschleife wird mit ihren Isolatoren und den Klemmen am Tisch befestigt. Mit dem Netzgerät lässt man einen genügend hohen Strom durch die Schleife fließen (ca. 10-20A). Mit der Magnetnadel kann man den Verlauf der Feldlinien nachvollziehen.

4.10.5 „Monopol“ umkreist stromdurchflossenen Leiter



Benötigte Geräte und Materialien: große Glasküvette, Wasser, Stativ, magnetisierte Stricknadel o. ä., Korken, Kabel, Hochstromnetzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Küvette wird mit Wasser gefüllt und ein Kabel mit Hilfe eines Stativs so hindurchgelegt, dass vom Boden der Küvette bis zur Wasseroberfläche ein senkrechtes Leiterstück führt und der Rest des Kabels möglichst direkt aus der Küvette herausgeführt wird (siehe Bild). Die Stricknadel wird zur Hälfte durch den Korken gesteckt und ins Wasser in die Nähe des senkrechten Kabels gesetzt, so dass sie frei im Wasser schwimmen kann. Fließt ein Strom (10-20A) durch das Kabel, so wirkt dessen Magnetfeld im Optimalfall nur auf eine Hälfte der Nadel, d. h. nur auf einen Pol der Nadel. Diese beginnt dann um das senkrechte Stück zu kreisen.

4.10.6 Fadenstrahlrohr

Benötigte Geräte und Materialien: Ablenkröhre und Netzgeräte (wie in Versuch 4.2.2), Stabmagnet

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Aufbau ist im Prinzip genauso wie in Versuch 4.2.2. Zur Ablenkung des Elektronenstrahls dient hier das Magnetfeld des Stabmagneten.

4.10.7 Barlow'sches Rad

Benötigte Geräte und Materialien: Leitergabel, Kupferrolle mit bunten Scheiben an den Enden, Stabmagnete, Stativmaterial, Hochstromnetzgerät, Kabel, Umpolschalter

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Leitergabel wird mit dem Stativ waagrecht über dem Tisch befestigt, so dass die daraufliegende Kupferrolle nicht von alleine rollt. Die Stabmagnete werden darunter gestellt (Pole in die gleiche Richtung). Die Leitergabel wird über den Umpolschalter so am Netzgerät angeschlossen, dass man die Richtung des Stroms durch die Kupferrolle umschalten kann. Durch das Feld der Stabmagnete wird die stromdurchflossene Rolle in Bewegung versetzt.

4.10.8 Leiterschaukel

Benötigte Geräte und Materialien: Leiterschaukel, Hufeisenmagnet, Hochstromnetzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Leiterschaukel wird ans Netzgerät angeschlossen und so aufgestellt, dass sie bei einem fließenden Strom durch das Feld zwischen den Schenkeln des Magneten ausgelenkt wird.

4.10.9 Helmholtz-Spulenpaar

Benötigte Geräte und Materialien: Helmholtz-Spulenpaar, Netzgerät, Magnetnadel, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Spulenpaar wird so angeschlossen, dass die Stromrichtung in den Spulen dieselbe ist. Die Magnetnadel richtet sich beim Einschalten in die Richtung des Magnetfelds.

4.10.10 Hall-Effekt

Benötigte Geräte und Materialien: Plexiglas-Platte mit Hallsonde, Netzgerät (ca. 5V), Kabel, Demonstrationsmessgeräte (für Strom und Hallspannung), Stabmagnet

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Platte mit der Hallsonde wird auf einen Overhead-Projektor gelegt und an das Netzgerät angeschlossen. Die Messgeräte werden mit den entsprechenden Anschlüssen der Sonde verbunden und eingeschaltet (Messbereiche: Strom 300mA, Spannung $\pm 10\text{mV}$). Mit dem Poti an der Sonde wird der Strom auf etwa 100mA (nicht höher!) eingestellt. Nähert man sich der Sonde mit dem Magneten, so misst man eine Hallspannung in der entsprechenden Richtung. Achtung: Die Sonde ist auch mechanisch empfindlich, die dünnen Anschlussdrähtchen können abreißen!

4.11 Induktion

4.11.1 Induktion durch bewegten Stabmagneten

Benötigte Geräte und Materialien: Spule (23000 Windungen), Stabmagnet mit Griff, Führung für den Stabmagneten, Glühlämpchen (ca. 4V), evtl. Oszilloskop

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Führung des Magneten wird in die Spule geschoben (und evtl. mit Holzblöcken und Schraubzwingen am Tisch befestigt). Das Lämpchen wird an den Enden der Spule angeschlossen. Schiebt man den Magneten schnell in der Spule hin und her, dann leuchtet das Lämpchen auf. Auf einem Oszilloskop kann man den Spannungsverlauf an der Spule beim Hinein- oder Herausschieben des Magneten aufzeichnen.

4.11.2 Induktion durch Ein- und Ausschalten eines Elektromagneten

Benötigte Geräte und Materialien: 2 Spulen (z. B. 500 Windungen), Zweikanal-Oszilloskop, Rechteckgenerator, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Eine der Spulen wird mit dem Ausgang des Generators verbunden. Den ersten Kanal des Oszilloskops verbindet man mit dem TTL-Ausgang des Rechteckgenerators (durch die Spule wäre das eigentliche Ausgangssignal des Generators nicht mehr vernünftig auf dem Oszilloskop zu sehen). Die zweite Spule wird an den zweiten Oszilloskop-Kanal angeschlossen. Schaltet man den Rechteckgenerator ein (etwa 100Hz), so sieht man neben dem Rechtecksignal des Generators die in der zweiten Spule induzierte Spannung auf dem Oszilloskop.

4.11.3 Induktion in rotierender Leiterschleife

Benötigte Geräte und Materialien: Generator-Modell, regelbares Netzgerät, Oszilloskop, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Antriebsmotor des Generators wird am Netzgerät angeschlossen, so dass man seine Umdrehungszahl einstellen kann. Die Spule des Generators wird am Eingang des Oszilloskops angeschlossen. Schaltet man den Motor ein, so dreht sich die Spule im Feld des Hufeisenmagneten und die induzierte Spannung wird mit dem Oszilloskop aufgezeichnet.

4.11.4 Motormodell/Generatormodell

Benötigte Geräte und Materialien: Motormodell, Oszilloskop, Netzgerät, Treibriemen, Scheibe mit Kurbel, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Motormodell wird entweder am Netzgerät (Motorbetrieb) oder am Oszilloskop (Generatorbetrieb) angeschlossen. Betreibt man es als Motor, dann werden die Schleifer der Anschlüsse an die Kommutatorscheibe gelegt. Bei einer Gleichspannung von etwa 10-15V läuft der Motor, nachdem man ihn angeworfen hat. Beim Generatorbetrieb werden die Schleifer an die Spulenenden gelegt. Mit der Kurbel, die den Läufer über

den Riemen antreibt, dreht man den Generator. Die erzeugte Wechselspannung wird auf dem Oszilloskop gemessen.

4.11.5 Lenz'sche Regel

Benötigte Geräte und Materialien: Aluminium-Ring, Faden, Stabmagnet, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Aluminiumring wird mit zwei Fäden am Stativ aufgehängt. Bewegt man den Magneten nun in den Ring hinein (ohne den Ring zu berühren!), so „weicht“ dieser zurück. Zieht man den Magneten wieder heraus, dann kommt der Ring mit.

4.11.6 Magnet fällt durch Kupferrohr

Benötigte Geräte und Materialien: Kupferrohr (1/2", etwa 1,20m lang), kleiner starker Permanentmagnet, etwa gleichgroßes unmagnetisches Metallstück

Versuchsaufbau und -durchführung: Zuerst lässt man das unmagnetische Metallstück senkrecht durch das Rohr fallen. Es kommt ungehindert unten an. Dann lässt man den Magneten durch das Rohr fallen. Dieser fällt sehr langsam, da er von induzierten Wirbelströmen im Fall gebremst wird.

4.11.7 Waltenhofen-Pendel

Benötigte Geräte und Materialien: Waltenhofen-Pendel mit Aluscheibe und unterbrochenem Aluring, 2 Spulen mit U-Joch, Netzgerät, Stativ, Kabel

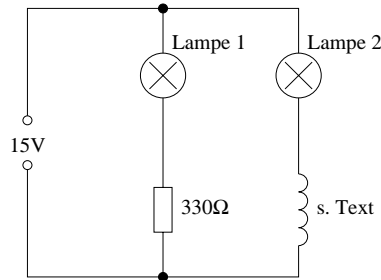
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spulen werden auf das Joch gesetzt und am Netzgerät angeschlossen. Das Pendel wird am Stativ befestigt, so dass es zwischen den Schenkeln des Elektromagneten pendelt. Wahlweise kann man die Alu-Scheibe oder den Ring einsetzen, um die unterschiedlich starke Schwingungsdämpfung durch induzierte Wirbelströme zu demonstrieren.

4.11.8 Thomson'scher Ringversuch

Benötigte Geräte und Materialien: Spule, U-Joch mit verlängertem Schenkel, Alu-Ring, Netzanschluss-Adapter mit Schalter, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spule wird auf den verlängerten Schenkel des Jochs gesetzt und mit dem Adapter ans Netz angeschlossen. Der Alu-Ring wird über den Schenkel mit der Spule gelegt. Schaltet man die Spule ein, dann fliegt der Ring in die Luft. (Achtung: Bei diesem Versuch sollte man darauf achten, keine Lampen von der Decke zu „schießen“.)

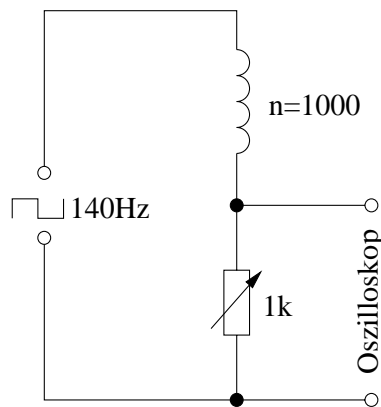
4.11.9 Strom- und Spannungsverzögerung an einer Spule



Benötigte Geräte und Materialien: Platte mit abgebildeter Schaltung, Widerstand 330Ω , Leybold-Spule 2×5100 Wdg., Netzgerät (15V), Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Bauelemente werden auf der Platte eingesteckt und das Netzgerät angeschlossen. Schaltet man die Spannung ein, so leuchtet das erste Lämpchen sofort auf, beim zweiten Lämpchen dauert es etwa eine Sekunde, bis es leuchtet.

4.11.10 Ein-/Ausschaltvorgänge an Spule bzw. Kondensator



Benötigte Geräte und Materialien: Steckplatte, Steckspule 1000 Wdg., Trimpoti $1k\Omega$, Kondensator, Zweikanal-Oszilloskop, Funktionsgenerator, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Schaltung wird entsprechend der Abbildung aufgebaut. Der erste Kanal des Oszilloskops wird am TTL-Ausgang des Funktionsgenerators angeschlossen, um ein dem Spannungsverlauf entsprechendes Signal zu zeigen. Der zweite Eingang wird parallel zum Trimpoti angeschlossen, um den fließenden Strom zu messen. Bei einem Rechtecksignal von etwa 140Hz sieht man auf dem Oszilloskopschirm den Strom- und Spannungsverlauf beim Ein- und Ausschalten der Spule. Entsprechend führt man den Versuch mit einem Kondensator durch.

4.11.11 Gegenseitige Induktion

Benötigte Geräte und Materialien: 1 Spule 500 Wdg., Spulen mit 250, 500 und 1000 Wdg., Funktionsgenerator, Zweikanal-Oszilloskop, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die 500-Wdg.-Spule wird am Funktionsgenerator angeschlossen und dieser auf etwa 140Hz (Sinus) einstellt. Das Generatorsignal wird gleichzeitig auf den ersten Oszilloskop-Kanal gegeben. Eine der anderen Spulen wird am zweiten Kanal des Oszilloskops angeschlossen. Variiert man die Windungszahl, so sieht man, wie sich entsprechend die induzierte Spannung ändert. Ebenfalls kann man die Lage der Spulen zueinander verändern.

4.12 Lineare Netzwerke

4.12.1 Tief-/Band- und Hochpass

Benötigte Geräte und Materialien: Platte mit Tief-/Band-/Hochpass, Lautsprecher, Funktionsgenerator (Phywe), Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Platte wird mit ihrem Eingang an den Funktionsgenerator (Ausgang B) angeschlossen. Dieser wird auf seine niedrigste Frequenz eingestellt. Fährt man den Frequenzbereich des Generators durch, so sieht man am Aufleuchten der den Filtern nachgeschalteten Glühlämpchen die Durchlässigkeit der Filter bei verschiedenen Frequenzen. Ebenfalls lässt sich hinter jedem der Filter ein Lautsprecher anschließen, um eine akustische Darstellung der Durchlässigkeit zu erreichen.

4.12.2 Differenzierglied

Benötigte Geräte und Materialien: Platte mit Tief-/Band-/Hochpass (wie in Versuch 4.12.1), Zweikanal-Oszilloskop, Rechteckgenerator

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Rechteckgenerator wird an den Eingang der Platte angeschlossen und auf eine Frequenz eingestellt, die der Hochpass durchlässt. Das Eingangssignal des Hochpasses wird auf dem ersten Kanal des Oszilloskops dargestellt, das Ausgangssignal (vom Lautsprecheranschluss) auf dem zweiten Kanal. Das Ausgangssignal entspricht der zeitlichen Ableitung des Eingangssignals.

4.13 Transformatoren

4.13.1 Transformator

Benötigte Geräte und Materialien: 2 Spulen (500 Wdg.), Joch, Sinusgenerator, Zweikanal-Oszilloskop, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spulen werden auf das Joch geschoben und dieses mit der zugehörigen Zwinge zusammengeschraubt. Der Sinusgenerator wird an der einen Spule angeschlossen und sein Signal gleichzeitig auf den ersten Kanal des Oszilloskops gegeben. Der zweite Kanal wird an die zweite Spule angeschlossen. Man kann nun auf dem Schirm des Oszilloskops die Ein- und Ausgangsspannung des Transformators beobachten.

4.13.2 Induktionsofen (Schweißtransformator)

Benötigte Geräte und Materialien: Primärspule (500 Wdg.), „Schweißspule“, Joch, Eisen-nagel, regelbares Netzgerät, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spulen werden auf das Joch gesetzt. In die Klemmen der Schweißspule wird ein Nagel geklemmt. Die Primärspule wird am Netzgerät angeschlossen. Dieses wird auf eine Spannung von etwa 200V hochgeregelt. Der Nagel beginnt zu glühen und zerreißt.

4.13.3 „Hörner-Blitz“

Benötigte Geräte und Materialien: Primärspule (250 Wdg.), Sekundärspule (23000 Wdg.), Joch, Blitzelektroden (Hörner), regelbares Netzgerät, Kabel, angekohelter Holzstab

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spulen werden auf das Joch geschoben und dieses so aufgestellt, dass man die Elektroden oben so in die Sekundärspule stecken kann, dass sie aufrecht stehen. Die Primärspule wird am Netzgerät angeschlossen. Bei einer Primärspannung von etwa 200V bilden sich am unteren Ende der Elektroden Überschläge, die langsam nach oben wandern und dabei länger werden. Eventuell muss man mit dem angekohlten Holzstab etwas nachhelfen.

4.13.4 Tesla-Transformator

Benötigte Geräte und Materialien: Tesla-Transformator mit Netztrafo (mit Schalter), Funkenstrecke und Leidener Flasche (der Tesla-Trafo steht im Physikzentrum), Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Netztrafo wird an die Leidener Flasche und die Funkenstrecke und Primärspule des Tesla-Trafos angeschlossen und dieser geerdet. Schaltet man die Netzspannung ein, so bilden sich an der Kugel an der Sekundärspule des Teslatrafos leuchtende Entladungen. *Bei diesem Versuch sind die gleichen Vorsichtsmaßnahmen wie bei Versuchen mit dem Bandgenerator (siehe 4.2.6) zu treffen!!!*

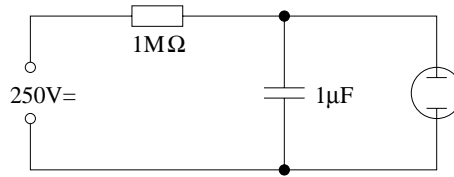
4.14 Schwingungen

4.14.1 Gedämpfter Schwingkreis

Benötigte Geräte und Materialien: Platte mit Schwingkreis und zugehörigen Bauteilen (s. Beschriftung), Rechteckgenerator, Zweikanal-Oszilloskop, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Bauteile werden auf die Platte gesteckt und diese an den Rechteckgenerator angeschlossen. Dieser wird auf eine Frequenz von etwa 60Hz eingestellt. Die Kanäle des Oszilloskops werden mit den entsprechenden Anschlüssen der Platte verbunden, so dass man auf dem Schirm des Oszilloskops das anregende Rechtecksignal und die (gedämpften) Schwingungen des Schwingkreises sehen kann.

4.14.2 Kippschaltung mit Glimmlampe



Benötigte Geräte und Materialien: Steckbrett, Steck-Kondensator $1\mu\text{F}$, Steck-Widerstand $1\text{M}\Omega$, Glimmlampe in Stecksockel, Netzgerät 250V (Phywe), Oszilloskop, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Schaltung wird gemäß der Abbildung auf dem Steckbrett aufgebaut und an das Netzgerät angeschlossen. Mit dem Oszilloskop kann man den Spannungsverlauf am Kondensator aufzeichnen.

4.15 Elektromagnetische Wellen

4.15.1 Sender - Empfänger: Nachweis mit Glühlampe

Benötigte Geräte und Materialien: 70cm-Sender mit Antenne, Netzgerät, Antenne mit Glühlampe, Tischklemme

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Sender wird an das Netzgerät angeschlossen und mit der Klemme am Tisch montiert. Nach der Aufheizzeit der Röhren nach dem Einschalten kann man das Sendesignal noch in ca. 25cm Abstand zum Sender mit der Glühlampe nachweisen.

4.15.2 Wellenlänge im Wasser

Benötigte Geräte und Materialien: 70cm-Sender mit Antenne, Netzgerät, Tischklemme, Küvette mit eingebauten Antennen (lang/kurz) und Lämpchen, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Sender wird mit der Klemme am Tisch montiert und an das Netzgerät angeschlossen. Die Küvette (leer) wird direkt vor die Sendeantenne gestellt, so dass nach dem Einschalten des Senders das Lämpchen an der längeren Antenne in der Küvette leuchtet. Füllt man nun das Wasser ein, dann verlöscht das Lämpchen und das andere Lämpchen an der kurzen Antenne leuchtet auf.

4.15.3 Abschirmung von elm. Wellen durch einen Faraday-Käfig

Benötigte Geräte und Materialien: 70cm-Sender mit Antenne, Netzgerät, Antenne mit Glühlampe, Tischklemme, Faraday-Käfig

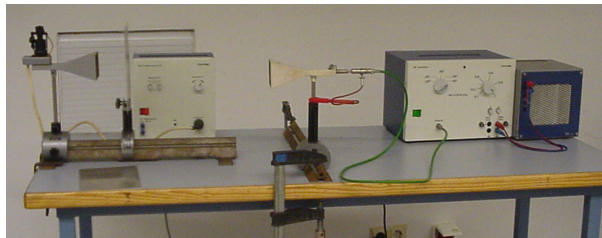
Versuchsaufbau und -durchführung: Der Sender wird mit der Tischklemme an einen Tisch montiert und an sein Netzgerät angeschlossen. Nach der Aufwärmzeit kann man das Sendesignal mit der Glühlampen-Antenne im Bereich von etwa 10-20cm nachweisen. Stellt man den Sender direkt an den Faraday-Käfig, so kann man im Käfig trotz eines geringen Abstands zum Sender kein Signal mehr nachweisen.

4.15.4 Reflexion und stehende Wellen (Mikrowellen)

Benötigte Geräte und Materialien: Mikrowellensender und Netzgerät ($f = 10\text{GHz}$, $\lambda = 3\text{cm}$), Mikrowellenempfänger, NF-Verstärker, Lautsprecher, optische Bank, Reiter, Blech, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf einem Reiter der optischen Bank wird das Blech befestigt. Diesem gegenüber wird auf einem anderen Reiter mit etwas Stativmaterial der Sender neben dem Empfänger montiert (so dass man das am Blech reflektierte Signal empfängt). Der Sender wird an seinem Netzgerät angeschlossen, der Empfänger am NF-Verstärker (an den der Lautsprecher angeschlossen ist). Nach dem Einschalten hört man das Sendesignal als Brummen im Lautsprecher. Durch Verschieben des Blechs kann man in der Lautstärke des Brummens Minima und Maxima feststellen, diese entsprechen den Schwingungsknoten bzw. -bäuchen der stehenden Welle. Auf der Skala an der optischen Bank kann man den Abstand von benachbarten Schwingungsknoten messen.

4.15.5 Beugung von Mikrowellen am Doppelspalt



Benötigte Geräte und Materialien: Mikrowellensender und Netzgerät, Mikrowellenempfänger, NF-Verstärker, Lautsprecher, optische Bank, Blech mit Doppelspalt

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf einer optischen Bank wird der Sender und davor der Doppelspalt montiert. Der Sender wird an sein Netzgerät angeschlossen. Man sollte möglichst eine optische Bank mit Schwenkarm benutzen, an dem der Empfänger montiert ist. Ansonsten muss der Empfänger verschiebbar vor den Spalt gestellt werden. Schließt man den Empfänger am NF-Verstärker an, dann hört man je nach Position ein mehr oder weniger lautes Brummen des Empfangssignals.

4.15.6 Koaxialkabel: Pulstransport, -verformung, -reflexion

Benötigte Geräte und Materialien: 3 Stücke Koaxkabel je 10m, Pulsgenerator, Oszilloskop, kurzes Koaxkabel, verschiedene Abschlusswiderstände (25Ω , 50Ω , 75Ω , Erdabschluss), BNC-Adapter

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Pulsgenerator wird mit dem kurzen Koaxkabel über ein T-Stück mit dem Oszilloskop und dem ersten der 10m-Stücke verbunden. Das Oszilloskop stellt man so ein, dass man einen gesendeten Puls, dessen Reflexion und den nächsten gesendeten Puls auf dem Schirm sieht. Nun kann man mit BNC-Kupplungen weitere 10m-Stücke anschließen, um die Laufzeit der Pulse zu verlängern. Auf diese Weise kann man die Phasengeschwindigkeit im Kabel messen. Außerdem ist, wenn man alle drei 10m-Stücke benutzt, der

reflektierte Puls schon etwas verformt auf dem Oszilloskop zu sehen. Einige Arten der Reflexion kann man mit verschiedenen Abschlüssen des Kabels demonstrieren.

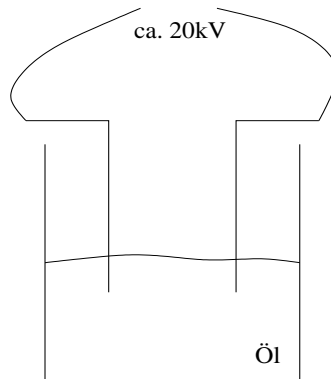
4.15.7 Lecherleitung

Benötigte Geräte und Materialien: 70cm-Sender, Netzgerät, Lecherleitung (mit Zubehör), optische Bank mit zwei Reitern, Glühlampe mit Drahtschleife, Glimmlampe (in Fassung, auf Vorspannung gebracht), Tischklemme

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit der Klemme wird der Sender am Tisch befestigt. Davor wird auf der optischen Bank die Lecherleitung aufgestellt, so dass das Sendesignal dort induktiv eingekoppelt wird. Mit der Glühlampe kann man die Leitung entlangfahren und die Stromböden aufspüren (Lampe leuchtet auf). Mit Glimmlampe kann man durch Entlangfahren die Spannungsmaxima finden. Die Lecherleitung lässt sich variieren: Ende offen/kurzgeschlossen, Verlängerung um $\lambda/2$ etc.

4.16 Materie in Feldern

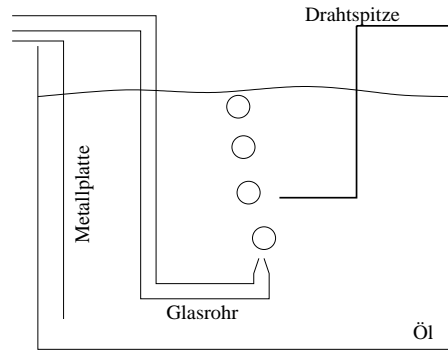
4.16.1 Öl wird in Plattenkondensator eingezogen



Benötigte Geräte und Materialien: Glasküvette, Rizinusöl, Aluplatten, Hochspannungskabel, Hochspannungsnetzgerät, Tisch mit optischer Bank, Linsen, Umlenkprisma und Bogenlampe zur Projektion an die Hörsaalwand, Netzgerät für die Bogenlampe

Versuchsaufbau und -durchführung: Etwas Öl wird in die Küvette gefüllt und die beiden Aluplatten einander gegenüber in etwa einem Zentimeter Abstand darin befestigt. Legt man an die Platten eine Gleichspannung von ungefähr 20kV (so hoch, dass es gerade keine Überschläge gibt), dann steigt das Öl zwischen den Platten einige Millimeter hoch. Um dies sichtbar zu machen, wird das Bild der Küvette mit der optischen Ausrüstung an die Hörsaalwand projiziert.

4.16.2 CO₂-Bläschen in Öl werden von Ladung abgestoßen



Benötigte Geräte und Materialien: Glasküvette, Rizinusöl, Metallplatte, Drahtspitze, Glasrohr, CO₂-Flasche, Schlauch, Hochspannungskabel, Hochspannungsnetzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Versuch wird entsprechend der Zeichnung aufgebaut. Der Hahn an der CO₂-Flasche wird so weit aufgedreht, dass ungefähr eine Blase pro Sekunde im Öl aufsteigt. Zwischen Metallplatte und Drahtspitze legt man eine Hochspannung an. Die Blasen werden dann von der Drahtspitze abgestoßen.

4.16.3 Metallstäbe im Magnetfeld

Benötigte Geräte und Materialien: großes Spulenpaar, Netzgerät, Kabel, Wismut- und Wolframstäbchen

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Spulenpaar wird an das Netzgerät angeschlossen und eines der Stäbchen dazwischen gehängt. Schaltet man ein, so richtet sich das Stäbchen je nach Material parallel oder senkrecht zum Feld aus.

4.16.4 Flüssige Luft im Magnetfeld

Benötigte Geräte und Materialien: großes Spulenpaar, Netzgerät, Kabel, flüssige Luft, Schutzkappen für Magnetpole

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spulen werden am Netzgerät angeschlossen und die Schutzkappen über die Pole gestülpt. Der Abstand zwischen den Polen sollte ungefähr 1-2cm betragen. Nach dem Einschalten wird etwas flüssige Luft zwischen die Pole gegossen. Sie schwebt als Tropfen im Magnetfeld. Beim Abschalten fällt der Tropfen zu Boden.

4.16.5 Hufeisenmagnet und Eisenplatte

Benötigte Geräte und Materialien: Hufeisenmagnet, auf die Schenkel passende Eisenplatte

Versuchsaufbau und -durchführung: Legt man die Eisenplatte auf die Schenkel des Magneten, so lässt sie sich nur unter großem Kraftaufwand wieder (senkrecht) davon abziehen.

4.16.6 Magnetmodelle in Helmholtzspulen

Benötigte Geräte und Materialien: Helmholtzspulen um Overhead-Projektor, Netzgerät, Kabel, hexagonales und kubisches Magnetmodell

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spulen werden am Netzgerät angeschlossen. Eines der Modelle wird auf den Projektor gelegt und sein Bild auf die Wand geworfen. Erhöht man die Spannung an den Spulen, so richten sich die Nadeln im Magnetmodell langsam im Feld aus.

4.16.7 Weißsche Bezirke

Benötigte Geräte und Materialien: Mikroskop mit Kamera, Monitor, Materialprobe, Magnet, Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Mikroskop-Beleuchtung wird an das Netzgerät und die Kamera am Monitor angeschlossen. Die Probe wird unter das Mikroskop gelegt. Bei richtiger Fokussierung sieht man das Bild auf dem Monitor. Nähert man sich der Probe mit dem Magneten, so klappen die verschiedenen Bezirke (hell/dunkel) alle in eine Richtung.

4.16.8 Hysterese

Benötigte Geräte und Materialien: Spule, Joch mit Aussparung für Hallsonde, Hallsonde, Netzgerät für die Hallsonde, Netzgerät für die Spule (einstellbar), Speicher-Oszilloskop, Kabel, Umpolschalter

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spule wird auf das Joch gesetzt und über den Umpolschalter am Netzgerät angeschlossen. Die Spulenspannung gibt man auf den X-Kanal des Oszilloskops. Die Hallsonde wird in die Aussparung im Joch gesetzt und an ihr Netzgerät angeschlossen, welches man auf einen Strom von etwa 100mA einstellt. Die Hallspannung wird mit dem Y-Kanal des Oszilloskops aufgezeichnet. Fährt man die Spulenspannung in beide Richtungen (mit dem Umpolschalter) hoch und wieder herunter, so erscheint die Hysteresekurve des Jochs auf dem Oszilloskopschirm.

4.16.9 Barkhausen-Effekt

Benötigte Geräte und Materialien: Spule mit Weicheisenkern, Stabmagnet, Kabel, NF-Verstärker, Lautsprecher

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Lautsprecher wird am Ausgang des Verstärkers angeschlossen. Die Spule wird am Eingang angeschlossen. Nähert man sich der Spule mit dem Magneten, so hört man das Umklappen der Elementarmagnete bei ausreichender Verstärkung als Rauschen im Lautsprecher.

4.16.10 Curie-Temperatur: Nagel am Faden

Benötigte Geräte und Materialien: Eisennagel an dünnem Draht, Stativmaterial, Stabmagnet, Gasbrenner

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Nagel wird am Stativ so aufgehängt, dass er mit seiner Spitze schräg im Feld des Magneten hängt. Erhitzt man mit dem Brenner die Spitze rotglühend, so bricht ihr Magnetismus zusammen und der Nagel schwingt vom Magneten weg. Während des Schwingens kühlt er sich wieder ab und bleibt wieder im Magnetfeld „hängen“.

4.16.11 Curie-Temperatur: Motor

Benötigte Geräte und Materialien: Dünner Eisenring auf Drehlager, Stativmaterial, Gasbrenner, Stabmagnet

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Eisenring wird so am Tisch befestigt, dass er waagrecht steht und sich frei drehen kann. Der Magnet wird mit einem Pol dicht am Eisenring befestigt. Erhitzt man nun eine Stelle des Rings (einige Zentimeter vom Magneten entfernt) rotglühend, so verschwindet dort der Magnetismus und diese Stelle dreht sich vom Magneten weg.

4.17 Piezo-Elektrizität

4.17.1 Piezo-Funkenerzeuger

Benötigte Geräte und Materialien: Piezo-Funkenerzeuger

4.17.2 Seignette-Salz

Benötigte Geräte und Materialien: Kästchen mit Seignette-Salz, HP-Nullvoltmeter, Demonstrationsmessgerät, Kabel

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Kästchen wird an das Nullvoltmeter (welches als Messverstärker dient) angeschlossen. Zur Anzeige des Messwerts dient das Demonstrationsmessgerät. Nun kann man die Spannungen bei Druck und Entlastung des Salzes messen.

5 Optik

5.1 Lichtausbreitung, Reflexion, Brechung

5.1.1 Messung der Lichtgeschwindigkeit

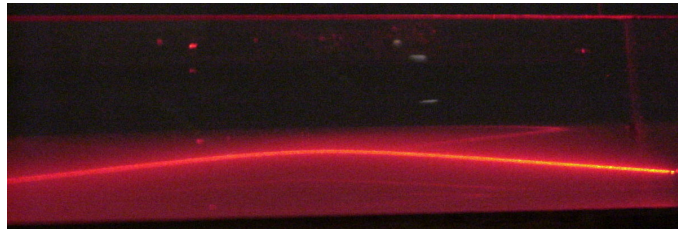
Benötigte Geräte und Materialien: Steuergerät mit Sender/Empfänger, Spiegel-Schlitten, zwei Linsen mit Magnet-Füßen, Schiene, Zwei-Kanal-Oszilloskop, Maßband, Schraubzwingen

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Metall-Schiene wird am Besten mit Schraubzwingen am Tisch befestigt, damit der Aufbau nicht herunterfallen kann. Das Steuergerät wird an einem Ende der Schiene aufgeschoben und der Spiegel-Schlitten am anderen Ende auf die Schiene gestellt. Die Linsen werden vor der Sende-LED und dem Empfänger am Steuergerät platziert. Die Linse vor der LED wird so verschoben, dass ein möglichst heller Strahl auf den ersten Spiegel fällt (man hält am Besten ein Stück weißes Papier in den Strahlen-Gang). Der erste Spiegel muss dann so justiert werden, dass der Strahl auf den zweiten Spiegel fällt. Der zweite Spiegel wird so justiert, dass der Strahl auf den Empfänger fällt. Die zweite Linse wird so platziert, dass der Strahl auf den Empfänger fokussiert wird.

Das Oszilloskop wird mit den Anschlüssen am Steuergerät für das gesendete und empfangene Signal verbunden (je ein Kanal). Man muss beachten, dass die Frequenz der ausgegebenen Signale um den Faktor 10^3 kleiner ist, als die des Signals, mit dem die LED moduliert wird ($f_{\text{LED}} = 50\text{MHz}$, $f_{\text{aus}} = 50\text{kHz}$). Die Phasenverschiebung der ausgegebenen Signale ist so korrigiert, so dass sie der des tatsächlich gesendeten und empfangenen Signals entspricht. Durch Verschieben der Spiegel verändert sich die Phasenverschiebung zwischen den beiden Signalen.

Die Spiegel verschiebt man nun so, dass die Phasenverschiebung gegenüber vorher z. B. $\lambda/2$ entspricht. Ist z. B. $l = 1,5\text{m}$ die Verschiebung der Spiegel, so entspricht $2 \cdot l$ der Hälfte der Wellenlänge $\lambda/2$. Damit kann man die Lichtgeschwindigkeit ausrechnen: $c = \lambda \cdot f = 4 \cdot l \cdot f \approx 4 \cdot 1,5\text{m} \cdot 50\text{MHz} = 6\text{m} \cdot 50 \cdot 10^6\text{s}^{-1} = 3 \cdot 10^8\text{m/s}$.

5.1.2 Gekrümmter Lichtstrahl (Fata Morgana)



Benötigte Geräte und Materialien: HeNe-Laser, optische Bank, Stativmaterial, Reiter mit Tisch, Küvette mit Füllrohr in Bodennähe, gesättigte Kochsalzlösung, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Küvette wird etwa 4cm hoch mit Wasser gefüllt und auf die optische Bank gestellt. Im Hörsaal füllt man mit Hilfe des Rohres am Boden der Küvette die Kochsalzlösung ein, so dass sich in der Küvette zwei verschiedene Schichten bilden, oben Wasser und unten Kochsalzlösung. Man muss darauf achten, dass sich die Schichten nicht vermischen. Der Laser wird so am Tisch montiert, dass der Strahl kurz unterhalb der Schichtgrenze, leicht schräg nach oben, in die Küvette eintritt. Durch den sich kontinuierlich ändernden Brechungsindex entlang dieser Grenze verläuft der Strahl dann gekrümmt (siehe Bild).

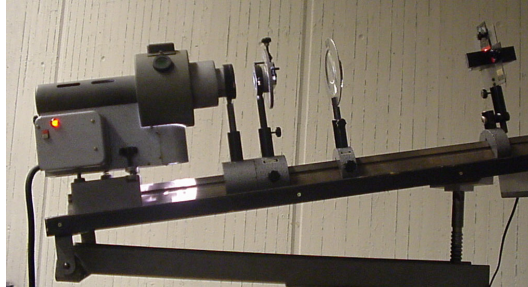
Bemerkungen: Die Kochsalzlösung setzt man einige Tage früher an, da sie zunächst noch vom Salz getrübt wird. Vor dem Versuch dekantiert man die benötigte Menge klarer Lösung vom Ansatz.

5.1.3 Streuung

Benötigte Geräte und Materialien: HeNe-Laser, optische Bank, Küvette und Tischchen für Reiter, Prisma, Linse, Rauch, Wasser mit einem Tropfen Milch getrübt

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Laser wird auf die optische Bank gesetzt. Davor wird entweder Prisma, Linse oder die mit dem Wasser gefüllte Küvette gesetzt, um die Streuung von Licht zu demonstrieren. Man kann dazu auch etwas Rauch in den Lichtstrahl blasen.

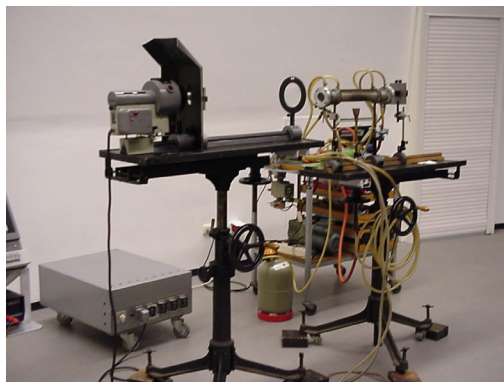
5.1.4 Lichtbrechung im Prisma



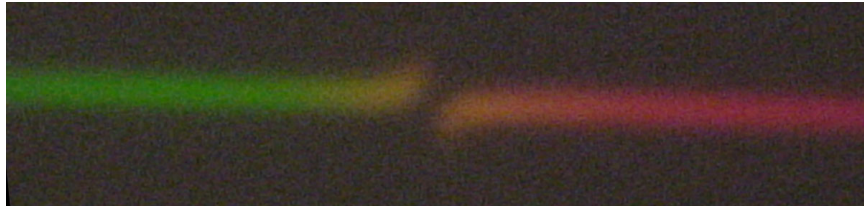
Benötigte Geräte und Materialien: Bogenlampe, Kondensator, Spalt, Linse, Prisma, optische Bank

Versuchsaufbau und -durchführung: Bogenlampe, Kondensator, Spalt, Linse und Prisma werden so auf die optische Bank gesetzt, dass der Spalt auf das Prisma abgebildet wird. Man stellt alles so auf, dass das Spektrum aus dem Prisma auf die Hörsaalwand geworfen wird.

5.1.5 Natrium-Dampf



Spektrum ohne Natriumdampf



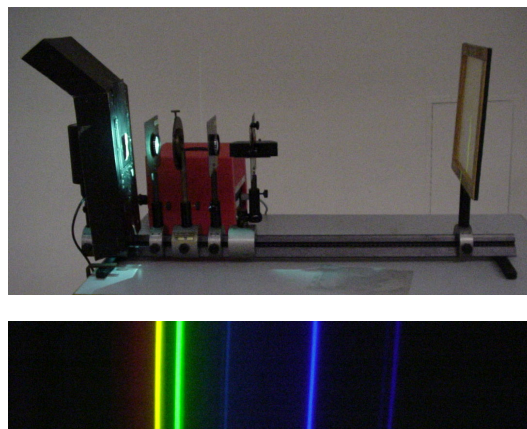
Spektrum durch Natriumdampf

Benötigte Geräte und Materialien: Bogenlampe, Linse ($f = +130\text{mm}$), Linse ($f = +500\text{mm}$), vertikal und horizontal begrenzbarer Spalt, Abblendschirm für die Bogenlampe, Natriumdampf-Kammer, Geradsicht-Prisma mit Halter, Projektionsschirm, Natrium, Gasbrenner und Gasflasche, zwei Tische mit optischen Bänken, Vakuumpumpe

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf die erste optische Bank werden (in dieser Reihenfolge) Bogenlampe, Linse (130mm), Abblendschirm, Spalt und die 500mm-Linse aufgebaut und alles so ausgerichtet, dass der Spalt scharf auf dem Projektionsschirm abgebildet wird. Auf der zweiten optischen Bank werden die Natriumdampf-Kammer und das Prisma aufgestellt und so ausgerichtet, dass die Lichtstrahlen ungehindert durch die Kammer laufen und vom Prisma gebrochen werden. In die Kammer werden einige Natriumstücke gelegt. Die Enden der Kammer werden verschlossen und die Kammer mit der Vakuumpumpe evakuiert. Die Kühlung der Scheiben wird am Wasserhahn angeschlossen und in Gang gesetzt. Zunächst ist auf dem Schirm ein gewöhnliches Spektrum von weißem Licht zu sehen. Der Spalt wird nicht nur horizontal sehr eng eingestellt, sondern auch vertikal auf etwa 5mm begrenzt. Nun erhitzt man mit dem Gasbrenner die Kammer, so dass das Natrium verdampft. Die gelben Natrium-Linien werden jetzt vom Natriumdampf in der Kammer absorbiert.

Bemerkungen: *Achtung: Das Natrium darf nur mit einer Pinzette in die Kammer gelegt werden! Niemals mit bloßen Händen! Nach dem Versuch muss die Kammer erst abkühlen ehe man wieder Luft hineinströmen lässt! Explosionsgefahr! Das Reinigen der Kammer darf nur mit Isopropanol erfolgen! Nicht mit Wasser!*

5.1.6 Prismenspektrum von Quecksilber-Dampf

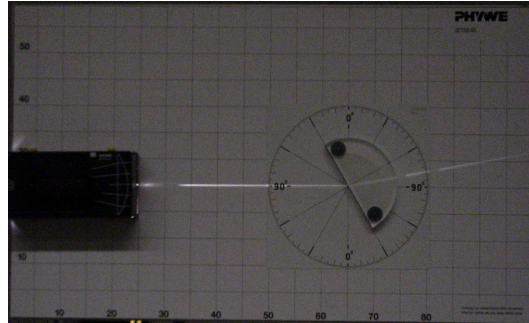


Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Hg-Dampf-Lampe mit Netzgerät, Abblendschirm, 2 Linsen ($f \approx +150\text{mm}$, ausprobieren), horizontal verstellbarer Spalt, Geradsicht-

Prisma auf Klappreiter, Projektionsschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Aufbau erfolgt wie in der Abbildung. Die Hg-Dampf-Lampe wird am Netzgerät angeschlossen und hinter dem Abblendschirm auf die optische Bank gestellt. Mit den Linsen wird der Spalt scharf auf den Projektionsschirm abgebildet. Nun wird erst das Prisma in den Strahlengang hineingeklapppt. Auf dem Projektionsschirm sind nun einige Linien des Hg-Spektrums zu sehen.

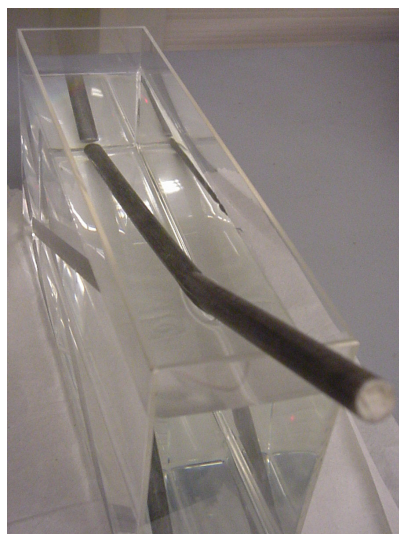
5.1.7 Reflexion, Brechung



Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe (Blende für einen Strahl), Winkelskala und halbkreisförmigem Plexiglasblock, Netzgerät für Lampe

Versuchsaufbau und -durchführung: Lampe und Skala werden entsprechend der Abbildung auf der Tafel platziert. Die plane Fläche des Glasblocks zeigt zur Lampe. Man kann den Lichtstrahl nun in verschiedenen Winkeln in das Glas eintreten lassen. Auf der Tafel sind der an der Oberfläche reflektierte sowie der gebrochene Strahl zu sehen. An der Skala kann man den Einfallswinkel, Brechungswinkel und Reflexionswinkel ablesen.

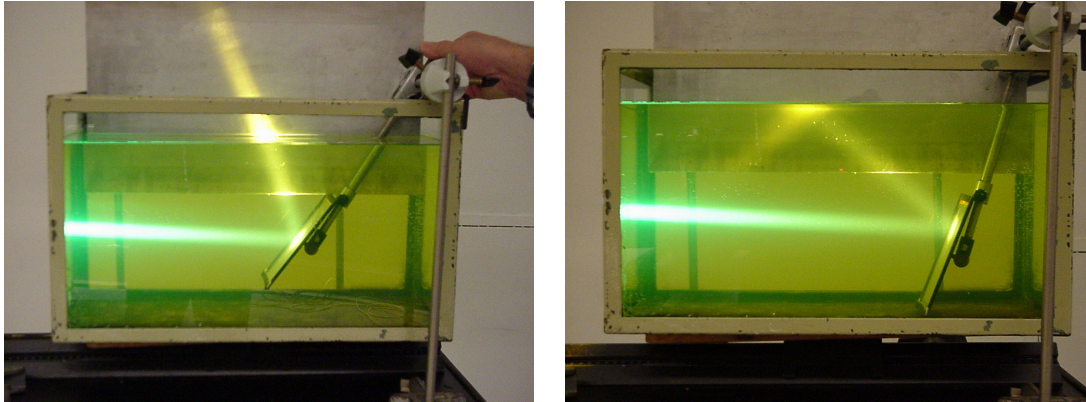
5.1.8 „Geknickter Stab“



Benötigte Geräte und Materialien: Küvette, Metallstab, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Küvette wird mit Wasser gefüllt und der Stab schräg hineingelegt. Blickt man entlang des Stabes, so erscheint dieser wegen der Lichtbrechung an der Wasseroberfläche geknickt.

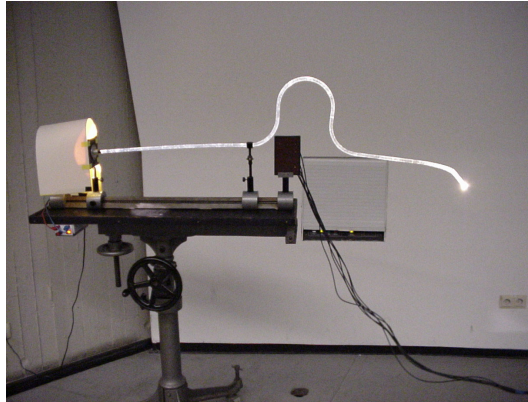
5.1.9 Totalreflexion



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Lichtbogenlampe, Kondensator mit Blende, Reiter mit Tisch, Aquarium, Spiegel, matte Aluplatte, Stativmaterial, Wasser (evtl. eingefärbt)

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Bogenlampe wird auf die optische Bank montiert und der Kondensator direkt vor die Lichtaustrittsöffnung gesetzt. Die Blende wird auf einen Durchmesser von etwa 1cm eingestellt. Das Aquarium wird mit Wasser gefüllt und mit dem Tischreiter auf die optische Bank gestellt, so dass der Lichtstrahl von der Seite eintritt. Der Spiegel wird mit einem Stativ und einer Drehmuffe so befestigt, dass er den Lichtstrahl zur Wasseroberfläche hin reflektiert. Durch Drehen des Spiegels soll der Lichtstrahl in verschiedenen Winkeln auf die Wasseroberfläche treffen, so dass im einen Fall der Lichtstrahl in die Luft gebrochen wird und im anderen Fall an der Oberfläche Totalreflexion auftritt. Die Aluplatte wird mit einem Stativ so befestigt, dass der Strahlengang besser zu sehen ist.

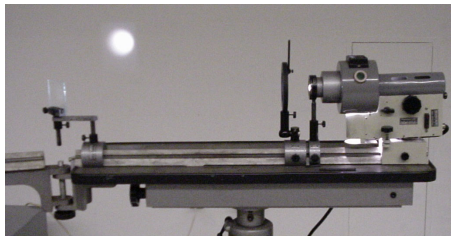
5.1.10 Lichtleitfaser



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank (mit 12V-Netzteil), 12V-Lampe, diverse Lichtleiter (gebogene Stäbe, Platte mit „L“ aus Lichtleitfaserenden ...)

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Lampe dient zur Beleuchtung der Lichtleiter und wird am Netzteil angeschlossen und mit einem Reiter auf die optische Bank gesetzt. Die Lichtleiter werden (z. B. wie im Bild zu sehen) auf der optischen Bank befestigt. Am gebogenen Lichtleitstab kann man mit nassen Händen zeigen, wie Wasser die Lichtleitung beeinflusst (aus tretendes Licht wird dunkler, wenn man den Stab mit nassen Händen anfasst).

5.1.11 Brewster-Winkel

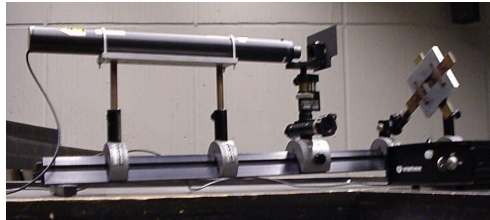


Benötigte Geräte und Materialien: Lichtbogenlampe, Kondensator mit Blende, 2 lineare Polarisationsfilter (drehbar), Glasplatte mit Halter, optische Bank mit Schwenkarm, 1 Klappreiter, einfache Reiter, Netzgerät für Bogenlampe

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Aufbau erfolgt wie im Bild: Die Lichtbogenlampe wird mit dem Kondensator auf die optische Bank gesetzt. Mit der Blende wird der Lichtstrahl etwas begrenzt. Eines der Polfilter auf dem Klappreiter in den Strahl gestellt, zunächst in den Lichtstrahl gestellt und auf senkrechte Polarisation gestellt. Das andere Polfilter wird auf dem Schwenkarm der optischen Bank befestigt und aus dem Lichtstrahl geschwenkt. Die Glasplatte wird drehbar über den Drehpunkt des Schwenkarms montiert. Nun kann man durch Drehen der Glasplatte den Brewsterwinkel suchen (starke Verdunklung des Lichtflecks an der Wand, etwa 56° Einfallswinkel). Klappt man das erste Polfilter aus dem Strahl, so ist der Lichtfleck an der Wand wieder zu sehen. Mit Einschwenken des zweiten Polfilters in den Lichtstrahl kann man dessen Polarisation nachweisen.

5.2 Geometrische Optik

5.2.1 Grenzen der geometrischen Optik



Benötigte Geräte und Materialien: HeNe-Laser, Lochblende (0,3mm, evtl. ausprobieren), horizontal und vertikal begrenzbarer Spalt auf Klappreiter, optische Bank, Netzgerät für Laser

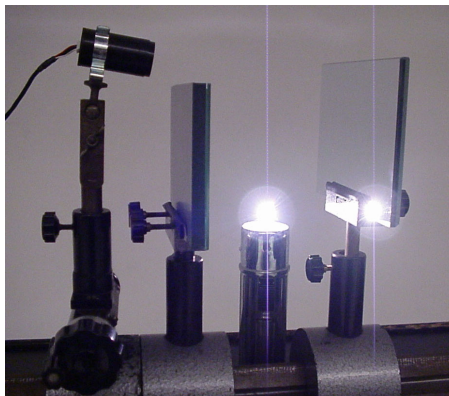
Versuchsaufbau und -durchführung: Vor den Laser werden auf der optischen Bank die Lochblende und der Spalt so aufgestellt, dass man sie einzeln in den Strahl stellen kann. Die Anordnung wird im Hörsaal auf dem Projektionsstand aufgestellt, so dass man ein möglichst deutliches Bild auf die Wand projiziert. Stellt man Lochblende bzw. Spalt in den Strahl, so sieht man Interferenzeffekte.

5.2.2 Lochkamera

Benötigte Geräte und Materialien: SW-CCD-Kamera ohne Objektiv, passender Deckel mit stecknadelgroßem Loch, Netzgerät für Kamera, Lichtbogenlampe mit Kondensator, Bild (kontraststarkes Motiv) mit Halter, Netzgerät für Bogenlampe, optische Bank, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf der optischen Bank wird die Bogenlampe so aufgestellt, dass sie das Bild (ebenfalls auf der optischen Bank befestigt) gut beleuchtet. Die Kamera stellt so auf, dass sie das Bild aufnimmt. Um das aufgenommene Bild zu zeigen, schließt man die Kamera am Videobeamer an.

5.2.3 Spiegelkabinett



Benötigte Geräte und Materialien: CCD-Kamera, optische Bank, 2 Planspiegel, Halter für Spiegel, Reiter, Taschenlampe ohne Reflektor

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Spiegel werden einander gegenüber auf die optische Bank gestellt. Die Kamera „schaut“ über einen der Spiegel hinüber. Die Taschenlampe kann man zusätzlich eingeschaltet zwischen die Spiegel stellen. Das Kamerabild der Spiegelreflexionen wird über den Videobeamer gezeigt.

5.2.4 Konvexe bzw. konkave Linse Linse

Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe (mit 5-strahliger Blende), konvexe Linse, konkave Linse, Netzgerät für Lampe

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit diesem Versuch wird die Bündelung paralleler Strahlen im Brennpunkt durch eine konvexe Linse bzw. deren Zerstreung von einer Konkavlinse demonstriert. Durch Umdrehen der konvexen Linse kann man noch zeigen, dass die Brennweite unabhängig von der Einfallsrichtung der Lichtstrahlen ist.

5.2.5 Hohlspiegel

Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe (mit 5-strahliger Blende), flexibler Spiegel, Netzgerät für Lampe

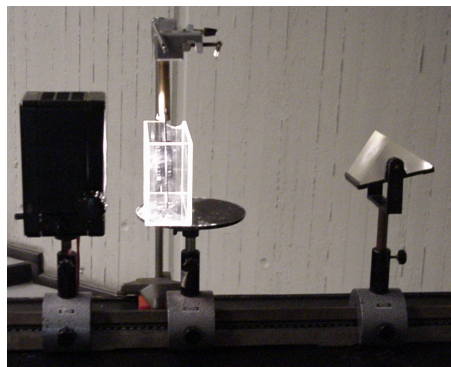
Versuchsaufbau und -durchführung: Mit diesem Versuch wird der Strahlengang bei einem konkaven bzw. konvexen Hohlspiegel gezeigt.

5.2.6 Prisma

Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe (Blende mit einem Strahl), Prisma, Netzgerät für Lampe

Versuchsaufbau und -durchführung: Bei diesem Versuch wird die zweimalige Brechung eines Lichtstrahls an den Prismengrenzflächen gezeigt.

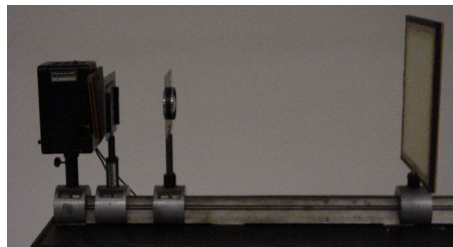
5.2.7 Linse im Wasser



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank mit Netzgerät, Reiter, 12V-Lampe (ohne Linse), Kabel, Linse ($f = +150\text{mm}$), Umlenkprisma, Glasküvette auf Reiter mit Tischchen, Stativmaterial, Wasser

Versuchsaufbau und -durchführung: Lampe, Glasküvette und Umlenkprisma werden auf die optische Bank gestellt. Die Linse wird mit einem Stativ so befestigt, dass sie sich in der Küvette befindet. Man stellt sie so ein, dass der Glühfaden der Lampe scharf an der Wand abgebildet wird (am einfachsten ist es, dazu die Lampe zu verschieben). Gießt man nun Wasser in die Küvette, so dass die Linse ganz darin versinkt, so wird die Abbildung unscharf. Man muss die Lampe weiter von der Linse wegschieben, um wieder eine scharfe Abbildung des Glühfadens zu bekommen, da sich die Linsenbrennweite im Wasser erhöht hat.

5.2.8 Verschiebung einer Linse zwischen Gegenstand und Schirm



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank mit Netzgerät, Reiter, 12V-Lampe (ohne Linse), Gegenstand („F“ im Halter), Linse ($f = +150\text{mm}$), Projektionsschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Gegenstand wird vor die Lampe gestellt, der Schirm an das gegenüberliegende Ende der optischen Bank. Die Linse wird verschiebbar dazwischen gestellt. Es gibt nun zwei Positionen der Linse, bei denen ein scharfes Abbild des Gegenstands auf dem Schirm zu sehen ist.

5.2.9 Additionstheorem der Brechkräfte

Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe (5-strahlige Blende), 2 konvexe Linsen, Netzgerät für Lampe

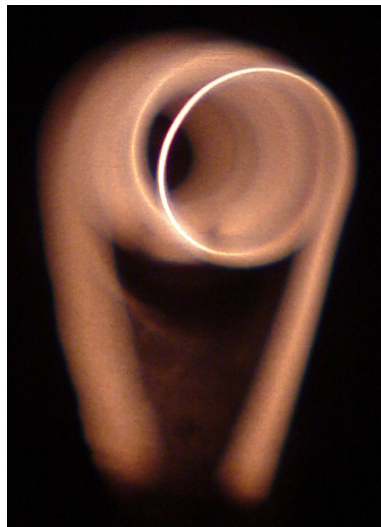
Versuchsaufbau und -durchführung: Durch Vergleich der Brennweiten mit einer bzw. beiden Linsen im Strahlengang (evtl. mit Abstand A zwischen den Linsen) kann man das Additionstheorem der Brechkräfte $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{A}{f_1 \cdot f_2}$ nachprüfen.

5.2.10 Auge = Linse + Schirm

Benötigte Geräte und Materialien: wie in Versuch 5.2.8

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Aufbau erfolgt ebenso wie in Versuch 5.2.8. Es wird allerdings nur in einer Position scharfgestellt. Linse und Schirm bilden das menschliche Auge nach.

5.2.11 Schärfentiefe



großer Blendendurchmesser

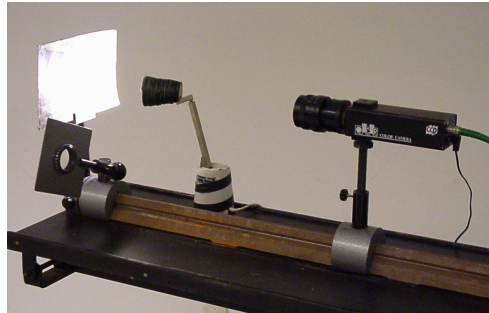


kleiner Blendendurchmesser

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Kohlefaden-Lampe in Fassung, Netzschalter, Abblendschirme, Linse ($f = +150\text{mm}$), Irisblende, Projektionsschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf der optischen Bank wird die Kohlefaden-Lampe zwischen den Abblendschirmen aufgestellt, so dass möglichst wenig Störlicht ausgestrahlt wird und nur Licht auf die Linse fallen kann. Mit der Linse wird der Glühfaden der Lampe auf den Projektionsschirm abgebildet. Dieser wird so ausgerichtet, dass er leicht schräg zur optischen Achse steht, d. h. dass vorderes und hinteres Ende des Fadens unterschiedlichen Abstand zur Linse haben, aber beide auf dem Schirm sichtbar sind. Die Blende wird in den Strahlengang gestellt, so dass bei weiter Blende nur ein Ende des Glühfadens scharf abgebildet wird und bei kleinem Blendendurchmesser der ganze Faden scharf zu sehen ist.

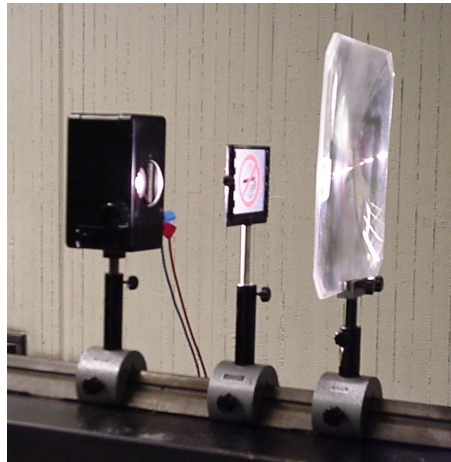
5.2.12 Lupe



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, CCD-Kamera mit Netzgerät, Bild (z. B. Haus mit Wagenrad), Bildhalter, Linse ($f = +100\text{mm}$, sonst ausprobieren) auf Klappreiter, Lampette

Versuchsaufbau und -durchführung: Kamera und Bild werden auf die optische Bank gestellt, so dass das Bild von der Kamera aufgenommen wird. Die Lampette dient zur Beleuchtung des Bildes. Die Linse wird als Lupe im Abstand der Brennweite vom Bild in den Strahlengang gebracht. Auf dem Klappreiter kann man sie leicht hinein- und hinausklappen. Man richtet alles so aus, dass man mit der Lupe ein leicht wiedererkennbares Detail des Bildes (z. B. das Wagenrad) vergrößert wird. Das Kameraobjektiv wird ohne Lupe auf den Abstand zum Bild und mit Lupe auf ∞ eingestellt. Das Kamerabild wird mit Hilfe des Videobeamers gezeigt.

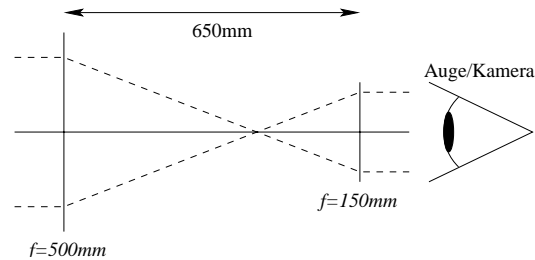
5.2.13 Fresnellinse



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank mit Netzgerät, Reiter, 12V-Lampe, Kabel, Dia (z. B. „Rauchen verboten“) mit Halter, Fresnellinse mit Halter

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Lampe beleuchtet das Dia, um dieses mit der Fresnellinse auf der Wand abzubilden.

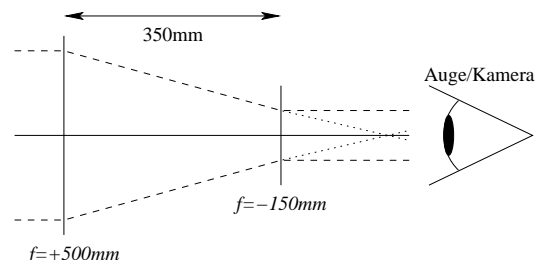
5.2.14 Astronomisches Fernrohr



Benötigte Geräte und Materialien: SW-CCD-Kamera mit Netzgerät, optische Bank, Reiter, Linse $f = +500\text{mm}$, Linse $f = +150\text{mm}$

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Versuchsanordnung erfolgt wie in der Skizze. Als Beobachtungsobjekt wählt man etwas gut sichtbares aus dem hinteren Hörsaalbereich (z. B. im Fo2 die Beleuchtung des oberen Ausgangs). Die Kamera kann dann (Objektiv auf ∞) das Bild über den Videobeamer zeigen. Das Bild steht hier auf dem Kopf

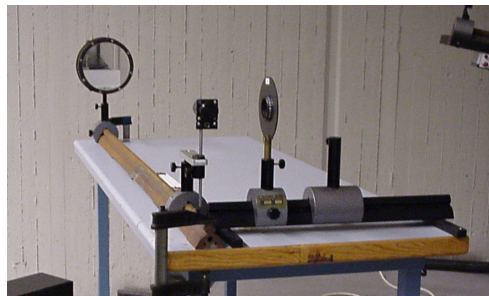
5.2.15 Galileisches Fernrohr



Benötigte Geräte und Materialien: SW-CCD-Kamera mit Netzgerät, optische Bank, Reiter, Linse $f = +500\text{mm}$, Linse $f = -150\text{mm}$

Versuchsaufbau und -durchführung: Aufbau nach Skizze. Ansonsten wird der Versuch wie Versuch 5.2.14 durchgeführt. Das Bild steht hier allerdings richtig.

5.2.16 Spiegelteleskop

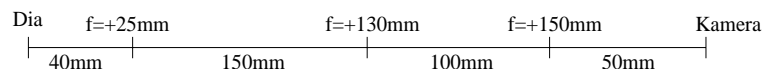


Benötigte Geräte und Materialien: SW-CCD-Kamera mit Netzgerät, lange optische Bank ($\approx 1,5\text{m}$), kurze optische Bank ($\approx 0,5\text{m}$), Reiter, Wagen, Hohlspiegel (allerdings nicht in der

Sammlung vorhanden, evtl. eignet sich ein Rasierspiegel), Umlenkspiegel (z. B. aus Laseroptik), Linse ($f = +150\text{mm}$)

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Hohlspiegel wird an das Ende der langen optischen Bank gestellt. Etwa in seinem Brennpunkt wird der Umlenkspiegel aufgestellt (damit möglichst alles Licht zum Okular gelenkt wird). Vor die Austrittsöffnung des Umlenkspiegels wird die kurze optische Bank gestellt, darauf die Linse und die Kamera. Nun stellt man das Kameraobjektiv auf ∞ und verschiebt die Linse so, dass man ein scharfes Bild sieht (das Kamerabild wird wieder über den Videobeamer gezeigt). Als Beobachtungsobjekt eignet sich hier z. B. von Fo2 aus die Beschriftung des Feuerlöscherkastens vor dem unteren Eingang von Fo1 (untere Tür von Fo2 öffnen).

5.2.17 Mikroskop auf optischer Bank



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, 12V-Lampe, Kabel, Netzgerät (Leybold 10A), Mattscheibe, Dia mit Zehntelmillimeter-Skala, Linse ($f = +25\text{mm}$), Linse ($f = +130\text{mm}$, großer Durchmesser) auf Klappreiter, Linse ($f = +150\text{mm}$), Kamera mit Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Linsen, das Dia und die Kamera werden entsprechend der Skizze auf der optischen Bank aufgebaut. Das Dia wird mit der Lampe durch die Mattscheibe beleuchtet. Die Lampe wird nur so hell gestellt, dass das Kamerabild nicht zu hell ist. Klappt man die Feldlinse ($f = +130\text{mm}$) in den Strahlengang, so wird der sichtbare Bildausschnitt größer.

5.3 Linsenfehler

5.3.1 Dicke Linsen

Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe mit 5-Strahl-Blende, Netzgerät, konvexe Linsenhälften

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit den Linsenhälften wird eine dicke Linse zusammengesetzt. Lässt man die Lichtstrahlen schräg in die Linse hineinfallen, so wird der Mittelpunktstrahl parallel versetzt.

5.3.2 Chromatische Aberration

Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe mit 5-Strahlblende, Netzgerät, konvexe Linse, Farbfilter: Blau und Rot

Versuchsaufbau und -durchführung: Man markiert den Brennpunkt von rotem bzw. blauem Licht, sie liegen einige Millimeter auseinander.

5.3.3 Sphärische Abberation

Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik, Lampe mit 5-Strahlblende, Netzgerät, konvexe Linse (dick)

Versuchsaufbau und -durchführung: Man blendet entweder die inneren oder äußeren Strahlen ab, um die verschiedenen Brennpunkte zu markieren.

5.3.4 Astigmatismus

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Dia mit Speichenrad, Diahalter, Kondensator, evtl. Blende, Linse ($f = +130\text{mm}$)

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Dia wird mit der Anordnung (Lampe, Kondensator, Dia, Linse) an die Wand projiziert. Je nach Linsenstellung erscheinen die Speichen oder das äußere Rad scharf.

5.3.5 Koma

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, 12V-Lampe mit Blende, Kabel, Linse ($f = +130\text{mm}$) auf Verschiebe-Reiter, Projektionsschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf den Schirm wird mit Hilfe der Linse ein Lichtfleck abgebildet. Verschiebt man die Linse quer zum Strahlengang, so bekommt der Lichtfleck auf dem Schirm einen kometenartigen Schweif.

5.3.6 Verzeichnung

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Kondensator, Iris-Blende, Linse ($f = +130\text{mm}$), Dia mit Kreuzgitter, Diahalter

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Gitter wird an die Wand projiziert. Stellt man die Blende vor oder hinter die Linse (Abstand ausprobieren), so zeigt sich tonnen- bzw. kissenförmige Verzeichnung.

5.4 Polarisation

5.4.1 Drehbare Polarisationsfilter

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Kondensator mit Blende, drei drehbare lineare Polarisationsfilter, Klappreiter

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Lichtstrahl wird durch zwei hintereinander gestellte Polfilter geschickt. Je nach Stellung kommt kein Licht mehr durch. Das dritte Filter wird mit dem Klappreiter zwischen die beiden anderen Filter gestellt. Je nach Stellung kommt wieder ein Teil des Lichtes durch die Anordnung hindurch.

5.4.2 Zirkulares Polarisationsfilter

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Kondensator mit Blende, drehbares lineares Polarisationsfilter, zirkulares Polarisationsfilter

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Lichtstrahl wird durch die beiden Polfilter geschickt. Je nach Stellung des linearen Filters ändert sich die Farbe des austretenden Lichts.

5.4.3 Polarisation mit Glasplatten

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Kondensator mit Blende, lineares Polarisationsfilter (drehbar), Glasplatten-Bündel mit Halter

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Lichtstrahl wird durch das Polfilter, das senkrecht zur Polarisationsebene der Glasplatten eingestellt wird, auf das Bündel aus Glasplatten geschickt. Dieses dreht man solange, bis nahezu kein Licht mehr durchgelassen wird. Man sieht, dass die Glasplatten nur Licht in einer Polarisationsrichtung durchlassen (Drehen des Polfilters \Rightarrow durchgelassenes Licht wird heller). Alternativ kann man das Polfilter auch hinter den Glasplatten in den Lichtstrahl bringen und die Polarisation des durchgelassenen Lichtes nachweisen.

5.4.4 Streuung an kolloidaler Lösung

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Kondensator mit Blende, lineares Polarisationsfilter (drehbar), Aquarium, Reiter mit Tisch, Wasser, Milch, Stativmaterial, schwarze Pappe

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Aquarium wird mit Wasser gefüllt in den Strahl gestellt. Hinter das Aquarium wird mit Stativmaterial die schwarze Pappe für besseren Kontrast gehängt. In das Wasser wird vorsichtig die Milch eingerührt, bis das seitlich ausgestreute Licht gut zu sehen ist. Dessen Polarisationsrichtung kann man mit dem Polfilter nachweisen, indem man dieses davorhält. Je nach Stellung kommt kein Licht mehr hindurch.

5.4.5 Doppelbrechung am Kalkspat

Benötigte Geräte und Materialien: Overhead-Projektor, Kalkspat-Kristall

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Kristall wird auf ein beschriebenes Stück Folie gelegt. Die Schrift wird damit doppelt an die Wand projiziert (evtl. muss man die Schärfenebene des Projektors nachjustieren).

5.4.6 Polarisation am Kalkspat

Benötigte Geräte und Materialien: wie in Versuch 5.4.5, zusätzlich drehbares lineares Polarisationsfilter

Versuchsaufbau und -durchführung: Wie in Versuch 5.4.5. Mit dem Polfilter kann man je

nach Stellung eines der Bilder ausblenden.

5.4.7 Drehung des außerordentlichen Strahls

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, HeNe-Laser, Umlenkprisma, drehbarer Diahalter, Kalkspat-Kristall, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Laserstrahl wird mit dem Umlenkprisma nach oben an die Decke umgelenkt. Der Diahalter wird so über dem Prisma montiert, dass seine Drehachse in etwa mit dem Laserstrahl übereinstimmt. Nun legt man den Kalkspat-Kristall in den Diahalter. An der Decke sind nun zwei Lichtpunkte zu sehen. Dreht man den Kristall, so wandert der eine Punkt um den anderen herum.

5.4.8 Nicolsches Prisma

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Kondensator mit Blende, lineares Polarisationsfilter, Nicolsches Prisma

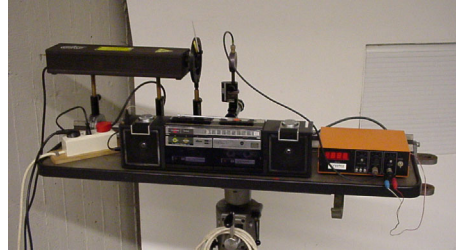
Versuchsaufbau und -durchführung: Der Lichtstrahl wird durch das Prisma geschickt. Mit dem Polfilter kann man die Polarisation des austretenden Strahls nachweisen.

5.4.9 Spannungsdoppelbrechung

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogenlampe, Kondensator mit Blende, 2 lineare Polarisationsfilter (drehbar), Plexiglas-Objekte, Abbildungslinse ($f = +130\text{mm}$)

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Lichtstrahl wird durch die beiden senkrecht zueinander eingestellten Polfilter (Polarisator/Analysator) geschickt, so dass nahezu kein Licht mehr hindurchkommt. Zwischen die beiden Filter wird ein Plexiglasobjekt gestellt, das man mit Hilfe der Linse an die Wand abbildet (zum Einstellen Lichtstrahl mit den Polfilter „aufdrehen“). Verbiegt man das Objekt, so wird durch seine mechanische Spannung die Polarisationsrichtung des durchgelassenen Lichtes verändert und man sieht an der Wand die Spannungsverläufe im Objekt.

5.4.10 Kerrzelle



Sender



Empfänger

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Stativmaterial, HeNe-Laser, lineares Polarisationsfilter, Kerrzelle auf Verschiebereiter, Treibergerät für Kerrzelle, Radio, Empfangsbaustein, PHYWE-NF-Verstärker, Audioverstärker, Lautsprecherboxen

Versuchsaufbau und -durchführung: Laser, Polfilter und Kerrzelle werden als Sender auf der optischen Bank aufgebaut (siehe Bild). Die Kerrzelle wird an das mit dem Radio verbundene Treibergerät angeschlossen. Der Verschiebereiter wird so eingestellt, dass die Kerrzelle genau im Laserstrahl steht. Der Sender wird an ein Ende der Hörsaalbühne gestellt. Als Empfänger werden Empfangsbaustein, PHYWE-Verstärker (dient als Vorverstärker) und Audioverstärker mit Boxen benutzt. Sie werden am anderen Ende der Hörsaalbühne so aufgestellt, dass der Laserstrahl genau auf den Empfangsbaustein trifft. Das im Radio eingestellte Programm kann nun über die Lautsprecherboxen gehört werden (evtl. ist die Stellung des Polfilters vorher auf maximale Lautstärke einzustellen). Unterbricht man den Laserstrahl (z. B. mit der Hand), so ist in den Lautsprechern nichts mehr zu hören.

5.4.11 Polarisationsdrehung an Doppelquarz, Glimmer und Zuckerlösung

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Lichtbogen-Lampe, Kondensator mit Blende, 2 drehbare lineare Polarisationsfilter, Doppelquarze (links- und rechtsdrehend) mit Halter, Glimmerplättchen mit Halter, Glasküvette mit Tischchen, Traubenzuckerlösung

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Polfilter dienen als Polarisator und Analysator. Dazwischen werden die verschiedenen Objekte (Doppelquarze, Glimmer, Zuckerlösung in der Küvette) gestellt. Durch Drehen des Analysators kann man den Farbverlauf des durchgelassenen Lichts in beobachten.

Bemerkungen: Die Traubenzuckerlösung stellt man am Besten mit etwas warmem Wasser her (kein heißes Wasser, sonst kann die Küvette zerspringen).

5.5 Wellenoptik: Beugung, Interferenz

5.5.1 „Interferenz“ durch Überlagerung von Folien mit schwarz-weißen Mustern

Benötigte Geräte und Materialien: Overhead-Projektor, 2 Folien mit schwarz-weißen konzentrischen Kreisen

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Folien werden auf dem Overhead-Projektor übereinandergelegt. Die dabei entstehenden Moiré-Muster veranschaulichen Interferenz-Effekte.

5.5.2 Fresnelscher Spiegelversuch

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, HeNe-Laser, Fresnel-Spiegel, Linse ($f = +25\text{mm}$)

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Laserstrahl wird mit der Linse etwas aufgeweitet und in flachem Winkel auf die Spiegel geschickt. Man kann die entstehenden Interferenz-Streifen nun an die Wand projizieren. Durch Verstellen des Winkels zwischen den Spiegeln kann man die Lage der Maxima/Minima zueinander ändern.

5.5.3 Biprisma

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, HeNe-Laser, Biprisma, Linse ($f = +25\text{mm}$)

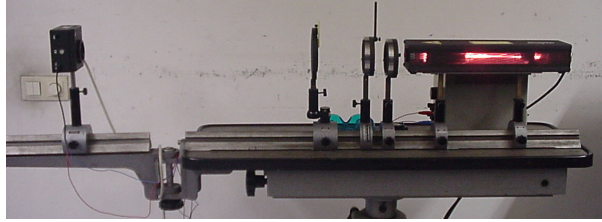
Versuchsaufbau und -durchführung: Der Laserstrahl wird mit der Linse aufgeweitet und durch das Biprisma hindurch auf die Wand geschickt. Man sieht auch in diesem Versuch Interferenz-Streifen.

5.5.4 Einzelspalt, Doppelspalt, Dreifachspalt . . .

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Gehäuse mit zwei Laserdioden und Dialhalter, Netzgerät, evtl. Projektionsschirm, Dias mit Einzel-, Doppel-, Dreifach-, . . . -Spalt

Versuchsaufbau und -durchführung: Vor die Laserdioden werden unterschiedliche Spaltanzahlen gestellt (Einzel-/Doppelspalt, Doppel-/Dreifachspalt, . . .). Auf der Wand (bzw. dem Projektionsschirm) kann man die Interferenz-Muster vergleichen.

5.5.5 Beugung von Licht am Einzelspalt



Benötigte Geräte und Materialien: HeNe-Laser, 2 lineare Polarisatoren, verstellbarer Spalt, VideoCom-Kamera und Computer mit zugehöriger Software, optische Bank

Versuchsaufbau und -durchführung: Laser und Polarisatoren werden auf der optischen Bank montiert. Die Polarisatoren dienen zum Einstellen der Lichtintensität, indem man sie gegeneinander verdreht. Der Spalt wird ebenfalls auf die Bank gestellt. Mit einem Stück Papier überprüft man, ob das Licht auf den Spalt trifft. Nun wird die Kamera auf die optische Bank gestellt und genau auf das Beugungsbild ausgerichtet. Die Software sollte nun auf dem Computermonitor eine Intensitätsverteilung zeigen (Einstellung auf 256 VideoCom-Punkte genügt).

5.5.6 Michelson-Interferometer

Benötigte Geräte und Materialien: Michelson-Interferometer, HeNe-Laser, Umlenkprisma, optische Bank

Versuchsaufbau und -durchführung: Laser und Interferometer werden auf der optischen Bank montiert und ausgerichtet. Das Umlenkprisma dient dazu, die Interferenzmuster im Hörsaal auf die Wand zu projizieren, so dass sie von allen Sitzen gut sichtbar sind.

Bemerkungen: Im Hörsaal sollte die Ausrichtung des Aufbaus, besonders die Spiegel des Interferometers, nochmals nachjustiert werden, da alles sehr empfindlich ist. Der Hörsaal sollte abgedunkelt werden, damit die Interferenzmuster besser zu sehen sind.

5.5.7 Reflexion/Interferenz am Glimmerplättchen

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Glimmerplättchen im Halter, Hg-Dampf-Lampe mit Netzgerät, Abblendschirm, Klappreiter (Klapprichtung in Richtung der optischen Bank)

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Hg-Dampf-Lampe wird auf den Klappreiter gestellt. Dieser wird leicht schräg gestellt, so dass das Licht auf die Glimmerplatte trifft und zur Hörsaalwand reflektiert wird. Der Abblendschirm wird in Publikumsrichtung vor die Anordnung gestellt, um Störlicht zu vermeiden. An der Wand sind nun Interferenzmuster im vom Glimmer reflektierten Licht zu sehen.

Bemerkungen: Für diesen Versuch muss der Hörsaal vollständig abgedunkelt werden.

5.5.8 Seifenblasen

Benötigte Geräte und Materialien: Pustefix, Ringe zum Seifenblasenmachen

Versuchsaufbau und -durchführung: Man macht Seifenblasen. Die Farben und Muster auf den Blasen stammen zum Teil von Interferenz-Effekten.

5.5.9 Newtonsche Ringe

Benötigte Geräte und Materialien: Diaprojektor, Dias in verglasten Rahmen

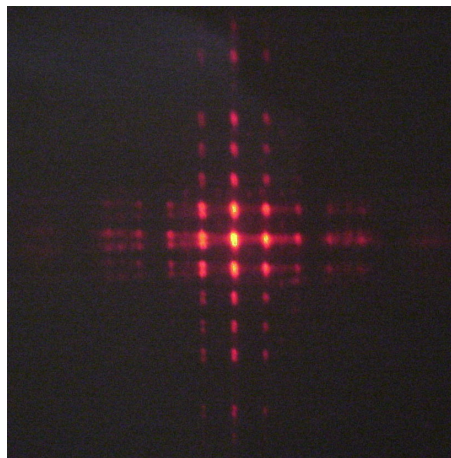
Versuchsaufbau und -durchführung: Man projiziert die Dias an die Wand. An einigen Stellen sollten Newtonsche Interferenzringe zu sehen sein (vorher ausprobieren!).

5.5.10 Keilförmig angeordnete Glasplatten

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, HeNe-Laser, Halter mit Glasplatten auf Verschiebereiter, Linse ($f = +25\text{mm}$), Abblendschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Der mit der Linse etwas aufgeweitete Strahl wird an den Glasplatten reflektiert und an die Wand geschickt. Der durchgehende Strahlteil wird mit einem Schirm abgeblendet. An der Wand sind nun die Interferenzstreifen zu sehen. Verschiebt man die Glasplatten auf dem Reiter, so erscheinen je nach Abstand der Platten voneinander verschieden breite Interferenzstreifen. Die Platten stehen in ihrem Halter keilförmig zueinander. Zum Abstandhalten ist auf einer Seite ein Stück Metallfolie zwischen die Platten gelegt.

5.5.11 Beugung am Strichgitter/Kreuzgitter



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, Reiter, Gehäuse mit zwei Laserdioden und Diahalter, Netzgerät, Dias mit Strichgittern (verschiedene, z. B. 40/mm, 80/mm), Dias mit Kreuzgittern, Projektionsschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Stellt man verschiedene Gitter vor die Laserdioden,

so kann man deren Interferenzmuster auf dem Projektionsschirm vergleichen. Die Bilder kann man mit Kamera und Videobeamer zeigen.

5.5.12 Reflexion eines Laserstrahls an einer CD/DVD

Benötigte Geräte und Materialien: Laserpointer (evtl. roter und grüner), CD, DVD

Versuchsaufbau und -durchführung: Die CD wirkt als Reflexionsgitter. Je nach Strahlfarbe liegen die Maxima in unterschiedlichen Abständen. Das gleiche kann man mit einer DVD durchführen (kleinere Gitterkonstante).

5.5.13 Beugung am Loch

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, HeNe-Laser, Reiter, Verschiebereiter (horizontal/vertikal), Halter für Loch, Loch ($\varnothing 30\mu\text{m}$), Projektionsschirm

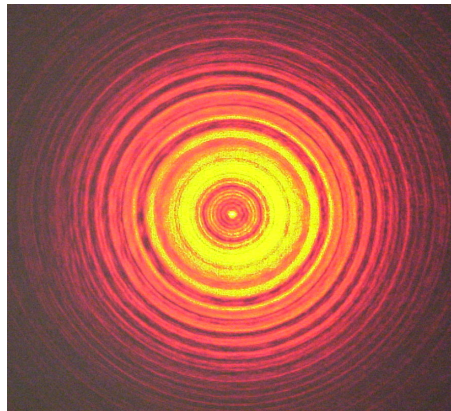
Versuchsaufbau und -durchführung: Auf der optischen Bank wird der Laser montiert. Das Loch wird auf dem Verschiebereiter in den Strahl gestellt und mit den Stellschrauben am Reiter so verschoben, dass der Strahl genau auf das Loch fällt. Das Beugungsbild wird auf den Projektionsschirm geworfen.

5.5.14 Beugung am Spalt/Draht

Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, HeNe-Laser, Reiter, Verschiebereiter (horizontal/vertikal), Spalt und Draht gleicher Stärke

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Laser wird auf der optischen Bank befestigt. In den Strahl wird auf dem Verschiebereiter entweder der Draht oder der Spalt gebracht. Das Beugungsbild kann an der Hörsaalwand beobachtet werden. Bei gleicher Drahtstärke und Spaltbreite sollte sich kein Unterschied ergeben.

5.5.15 Fresnelsche Zonenplatte



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, HeNe-Laser, Reiter, Linse ($f = 30\text{mm}$), Linse ($f = 250\text{mm}$), Fresnelsche Zonenplatte, Diahalter, Projektionsschirm

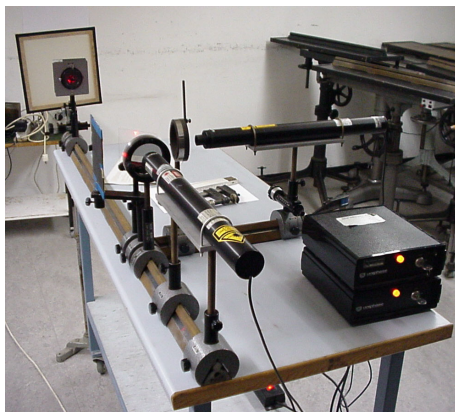
Versuchsaufbau und -durchführung: Der Laser wird auf die optische Bank gesetzt. Sein Strahl wird mit Hilfe der Linsen aufgeweitet. Dazu wird zuerst die 30mm-Linse und dann in 28cm Abstand davon die 250mm-Linse in den Strahl gestellt. Der Strahl sollte damit die Zonenplatte ausreichen ausleuchten (falls nicht, muss man mit anderen Linsen experimentieren). Durch Verschieben des Projektionsschirms kann man nun die Brennpunkte suchen und mit den berechneten Werten vergleichen.

5.5.16 Fraunhofer-Beugung an rechteckiger Blende

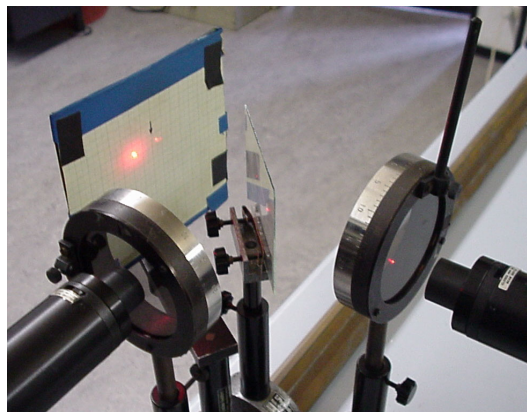
Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank, HeNe-Laser, Reiter, horizontal und vertikal verstellbare Spaltblende

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Blende wird in den Laserstrahl gebracht und in beiden Richtungen soweit zusammengeschoben, dass man ein sauberes Beugungsbild an der Hörsaalwand sieht.

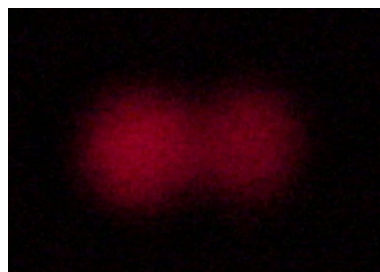
5.5.17 Auflösung eines „Fernrohrs“



Gesamter Aufbau



„Strahlteiler“



Benötigte Geräte und Materialien: lange optische Bank, kurze optische Bank, Schraubzwingen, Reiter, Verschiebereiter (horizontal), Verschiebereiter (horizontal/vertikal), 2 HeNe-Laser, 2 lineare drehbare Polarisationsfilter, halbdurchlässiger Spiegel, Schirm mit Millimeterpapier, Lochblende ($\varnothing 30\mu\text{m}$), Halter für Lochblende, Projektionsschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Auf der langen optischen Bank wird ein Laser befestigt. In seinen Strahl wird die Lochblende auf dem horizontal und vertikal justierbaren Reiter gestellt und genau in den Strahl geschoben, so dass auf dem Projektionsschirm ein Beugungsbild zu sehen ist. Nun wird die kurze optische Bank mit dem zweiten Laser (auf dem horizontal justierbaren Verschiebereiter) im rechten Winkel zur anderen optischen Bank auf den Tisch gestellt. Mit Hilfe des halbdurchlässigen Spiegels wird sein Strahl so auf die Lochblende gelenkt, dass dieser Strahl in einem kleinen Winkel bezüglich des ersten Laserstrahls dort auftrifft. Hier erfordert es etwas Fingerspitzengefühl, die Lochblende genau zu treffen. Zum Ausgleich der Strahlintensitäten wird direkt vor jeden Laser ein Polfilter gestellt, so dass man durch deren Verdrehen, die jeweilige Strahlintensität ggf. reduzieren kann.

Gegenüber der kurzen optischen Bank, auf der anderen Seite der langen Bank, wird der Schirm mit dem Millimeterpapier montiert. Dieser hat zum einen den Zweck, dass der Laserstrahl dort blockiert wird, und zum anderen kann man mit der Millimeterskala den Abstand der beiden Strahlen beim Austritt aus dem halbdurchlässigen Spiegel (in etwa) messen. Die optischen Bänke werden mit den Schraubzwingen am Tisch befestigt, damit sich nichts verschieben kann.

Auf dem Projektionsschirm sollte nun ein Bild wie oben zu sehen sein (Maße hierbei: Abstand Spiegel-Lochblende $\approx 1\text{m}$, Abstand der Strahlen am Spiegel $\approx 2\text{cm}$), bei dem die Lichtflecke mit einander verschmelzen.

Bemerkungen: Diese Versuchsanordnung simuliert ein (schlechtes) Fernrohr, um die durch die Beugung gegebenen Auflösungsgrenzen zu zeigen. Dabei entspricht der Blendendurchmesser von $30\mu\text{m}$ der Teleskopöffnung D . Aus den o. g. Maßen ergab sich als Grenze eine Winkelauflösung von $\delta_{\min} \approx 0,02$, was dem rechnerischen Wert bei HeNe-Laserlicht ($\lambda = 633\text{nm}$) in etwa entspricht ($\delta_{\min} = 1,22 \frac{\lambda}{D} = 1,22 \frac{0,633\mu\text{m}}{30\mu\text{m}} \approx 0,026$).

5.5.18 Auflösung eines Mikroskops

Benötigte Geräte und Materialien: Mikroskop mit aufgesetzter SW-CCD-Kamera, Videomonitor, 12V-Netzgerät, Kamera-Netzteil, verschiedene Strichgitter (z. B. 100/mm, 400/mm, 600/mm)

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit Hilfe des Mikroskops werden die verschiedenen Strichgitter betrachtet. Ab einer gewissen Anzahl von Linien pro Millimeter kann man die einzelnen Striche kaum noch unterscheiden. Das Videobild kann man über den Videobeamer zeigen.

5.6 Lichtquellen

5.6.1 Glühlampen

Benötigte Geräte und Materialien: verschiedene Glühlampen (z. B. „normale“ 230V-Glühlampe mit Wolframfaden, Kohlefadenlampe, 12V-Halogenlampe usw.), passende Lampenfassungen, 230V-Regeltrafo, 12V-Regeltrafo, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Mit einem Stativ werden die Lampen am Tisch befestigt und am passenden Trafo (12V o. 230V) angeschlossen. Nun kann man jede Lampe demonstrieren und in der Helligkeit regeln.

5.6.2 Gasentladungslampe

Benötigte Geräte und Materialien: Na-Hochdruck-Lampe mit passendem Netzgerät, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Lampe wird mit einem Stativ am Tisch montiert und eingeschaltet.

Bemerkungen: Dieser Versuch lässt sich gut mit Versuch 5.6.1 in einem Aufbau kombinieren.

5.6.3 Leuchtstoffröhren

Benötigte Geräte und Materialien: Demonstrations-Leuchtstoffröhre mit verschiedenen Beschichtungen

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Lampe wird ans Netz angeschlossen und eingeschaltet. Man kann sehen, welchen Einfluss verschiedene Leuchtbeschichtungen auf das abgestrahlte Licht haben.

Bemerkungen: Dieser Versuch ist auch mit Versuch 4.5.11 kombinierbar.

5.6.4 Leuchtdioden

Benötigte Geräte und Materialien: Platine mit verschiedenfarbigen LEDs, SW-CCD-Kamera mit Netzteil und Objektiv, Videomonitor

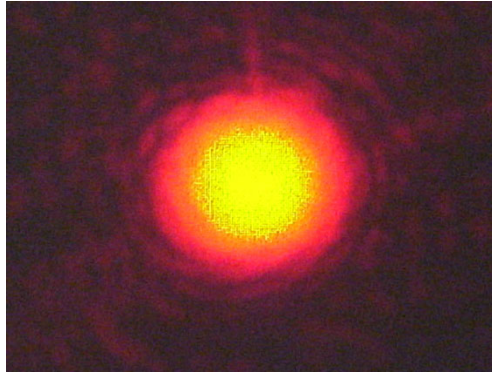
Versuchsaufbau und -durchführung: Die LEDs werden eingeschaltet. Mit der SW-CCD-Kamera kann man zeigen, dass auch die Infrarot-LED leuchtet, da die Kamera infrarotempfindlich ist. Das Videobild kann man mit dem Videobeamer zeigen.

5.6.5 HeNe-Laser

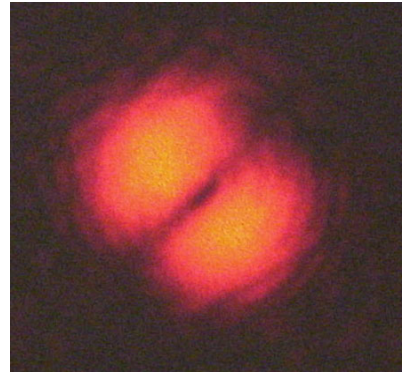
Benötigte Geräte und Materialien: Spindler&Hoyer-Laser (nicht in der Sammlung Karman-Auditorium vorhanden), optische Bank, Reiter

Versuchsaufbau und -durchführung: Nach dem Einschalten kann man demonstrieren, dass der Laserstrahl nicht mehr auftritt, sobald man den Resonator nur leicht dejustiert. Dies geschieht durch vorsichtiges (!!) Drehen an den Mikrometerschrauben der Resonatorspiegel. Außerdem kann man das Gehäuse aufschrauben und die HeNe-Röhre im Inneren zeigen. *ACHTUNG: An der Röhre liegt Hochspannung an! Entsprechende Vorsicht ist also angebracht!*

5.6.6 Laser-Moden



TEM₀₀



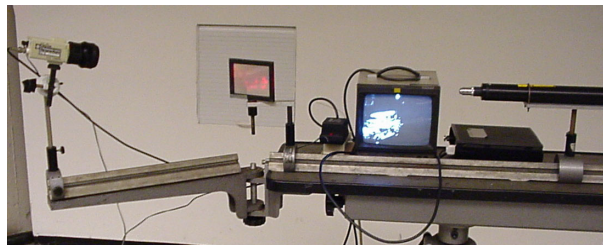
TEM₁₀

Benötigte Geräte und Materialien: Spindler&Hoyer-Laser (nicht in der Sammlung Karman-Auditorium vorhanden), optische Bank, Reiter, „Störobjekte“ für Lasermoden, Linse ($f \approx 50\text{mm}$), Projektionsschirm

Versuchsaufbau und -durchführung: Der aufgeschraubte Laser wird eingeschaltet (*VORSICHT HOCHSPANNUNG!!!*). In den Strahl wird die Linse zur Aufweitung gestellt, damit auf dem Projektionsschirm ein großer Lichtfleck zu sehen ist (siehe Abb. von TEM₀₀). Bringt man nun eine Störung in den Resonator (z. B. einen einfachen dünnen Draht), indem man eines der Störobjekte von Innen auf die Austrittsöffnung schiebt, so zeigt sich auf dem Projektionsschirm ein Bild wie z. B. TEM₁₀. Das Einbringen der Störung erfordert etwas Fingerspitzengefühl, da der Draht genau im Strahl liegen muss und der Strahl dabei nicht abreißen darf.

5.7 Holographie

5.7.1 Rotlicht-Hologramm



Benötigte Geräte und Materialien: optische Bank mit Schwenkarm, Reiter, HeNe-Laser, Linse zur Strahlaufweitung (zum Anschrauben am Laser), SW-CCD-Kamera mit Objektiv und Netzgerät, Videomonitor, Rotlicht-Hologramm (z. B. Feuerwehrauto)

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Versuch wird wie in der Abbildung aufgebaut: Der aufgeweitete Laserstrahl soll das Hologramm vollständig ausleuchten. Dieses ist über dem Gelenk des Schwenkarms aufgestellt. Die Kamera steht auf dem Schwenkarm und lässt sich damit um das Hologramm herumfahren, so dass man es aus verschiedenen Richtungen aufnehmen kann. Das Videobild wird mit dem Videobeamer gezeigt.

5.7.2 Weißlicht-Hologramme

Benötigte Geräte und Materialien: Weißlichthologramme, Halogenlampen zur Beleuchtung, 12V-Netzgerät, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Hologramme werden mit Stativmaterial am Tisch befestigt. Die Lampen werden so angebracht, dass sie die Hologramme möglichst gut ausleuchten (dazu muss man etwas herumprobieren).

Bemerkungen: Es ist nicht besonders beeindruckend, die Hologramme mit Kamera und Videobeamer zu zeigen. Daher bietet es sich an, die Hologramme während einer Vorlesungspause aus der Nähe zu zeigen.

5.7.3 Alltägliche Hologramme

Benötigte Geräte und Materialien: Hologramme auf Kreditkarten, Postkarten etc.

5.8 Lumineszenz

5.8.1 Fluoreszenz

Benötigte Geräte und Materialien: Schwarzlicht-Lampe, Fassung, 230V-Regeltrafo, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Schwarzlicht-Lampe wird mit einem Stativ am Tisch befestigt und eingeschaltet. Ihre Helligkeit kann man mit dem Regeltrafo ändern. Hält man weißen Stoff in das Licht der Lampe, so fluoresziert dieser durch die UV-Strahlung der Lampe.

5.8.2 Phosphoreszenz

Benötigte Geräte und Materialien: Wecker mit Leuchtzeigern, Halogenstrahler, Leuchtschirm, Laserpointer

Versuchsaufbau und -durchführung: Den Wecker kann man einige Sekunden mit dem Strahler beleuchten. Schaltet man dann sämtliche Lichtquellen (auch die Overhead-Projektoren) im Hörsaal ab, so kann man die Ziffern und Zeiger im Dunkeln leuchten sehen. Ähnlich kann man mit einem Leuchtschirm verfahren. Darauf kann man mit dem Laserpointer „malen“.

5.9 Farblehre

5.9.1 Additive Farbmischung mit rotierender Farbscheibe

Benötigte Geräte und Materialien: Bohrmaschine, Farbscheibe (rot/gelb/blau)

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Farbscheibe wird im Futter der Bohrmaschine eingespannt. Schaltet man die Bohrmaschine ein, so erscheint die Scheibe weiß.

5.9.2 Additive Farbmischung mit Farbmischung durch Leuchten

Benötigte Geräte und Materialien: Overhead-Projektor, Platte mit Farbfiltern (rot, blau, grün), zugehöriger justierbarer Dreifach-Spiegel, Folie mit Haus, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Platte mit den Farbfiltern wird auf den Projektor gelegt. Dessen Licht wird dann zuerst auf den Spiegel geworfen, so dass je ein Farbfleck auf einen der einzelnen Spiegel fällt. Das vom Spiegel reflektierte Licht soll an die Projektionswand im Hörsaal fallen. Mit Hilfe der Justierschrauben an den Spiegeln kann man die drei Farbflecken an der Wand verschieben und zur Deckung bringen. Das Entstehen eines Farbbildes kann man mit der Folie demonstrieren, man sieht dann das farbige Bild eines Hauses.

5.9.3 Subtraktive Farbmischung

Benötigte Geräte und Materialien: Overhead-Projektor, Platte mit überlagerten Farbfiltern (gelb, cyan, magenta)

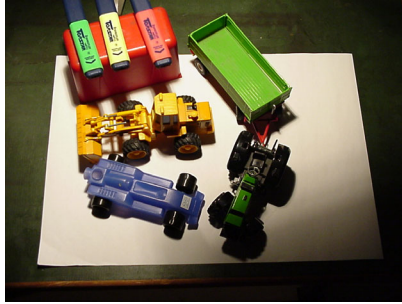
Versuchsaufbau und -durchführung: Durch Projektion der Platte kann man die subtraktive Farbmischung demonstrieren.

5.9.4 Metamere

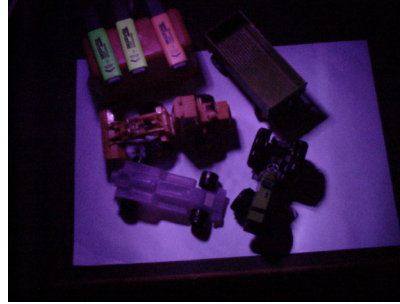
Benötigte Geräte und Materialien: Haftoptik mit 20W-Lampe, Farbfilter gelb und blau, Stativmaterial, Netzgerät

Versuchsaufbau und -durchführung: Vor je eine der Öffnungen im Lampengehäuse wird ein Filter platziert, alle anderen Öffnungen werden verschlossen. Das Lampengehäuse wird so in einem Stativ vor die Haftwand gestellt, dass sowohl der Bereich, der mit beiden Farben beleuchtet wird (erscheint weiß), als auch der blau bzw. gelb beleuchtete Bereich gut zu sehen ist.

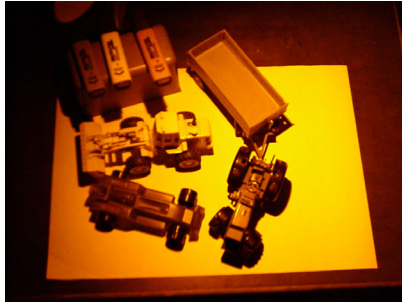
5.9.5 Beleuchtung von Körpern mit verschiedenfarbigem Licht



Beleuchtung mit Halogenstrahler



Beleuchtung mit Schwarzlichtlampe



Beleuchtung mit Natrium-Dampflampe



Beleuchtung mit Neonlampe

Benötigte Geräte und Materialien: Halogenstrahler, Schwarzlichtlampe, Natrium-Dampflampe, Neon-Lampe, Netzgerät für Na- und Ne-Lampen, weiße Unterlage, Gegenstände in verschiedenen Farben (Spielzeugautos, Plastikdosen etc.), Stativmaterial

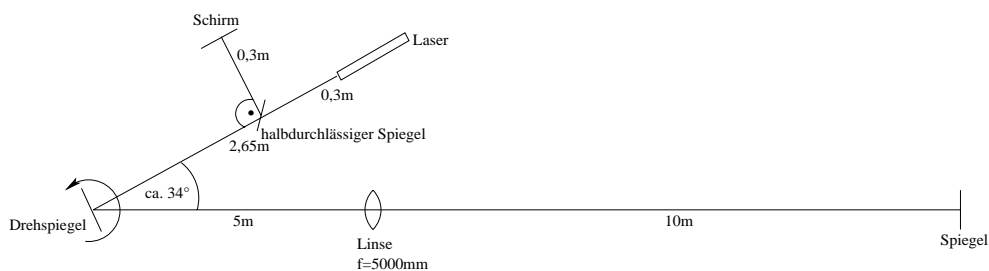
Versuchsaufbau und -durchführung: Die Gegenstände werden gut sichtbar angeordnet. Die verschiedenen Lampen werden auf einem Stativ so befestigt, so dass sie das „Stilleben“ gut ausleuchten. Nacheinander kann man die Lampen einschalten und das Erscheinungsbild der Gegenstände beobachten.

Bemerkungen: Die Natrium-Dampflampe braucht einige Zeit, bis sie aufgewärmt ist und ihre volle Helligkeit erreicht hat. Daher sollte man die Versuchsdurchführung entsprechend planen.

6 Spezielle Relativitätstheorie

6.1 Messung der Lichtgeschwindigkeit

6.1.1 Drehspeigelmethode



Benötigte Geräte und Materialien: Laser mit möglichst geringer Strahldivergenz, halbdurchlässiger Spiegel, Schirm, Drehspiegel, Planspiegel, Linse (Brennweite $f = 5000\text{mm}$), Stativmaterial, Tische mit optischen Bänken, justierbare Reiter, Netzgerät mit regelbarer Ausgangsspannung (0-230V) für den Drehspiegel

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Anordnung wird gemäß der Skizze aufgebaut. Dabei befinden sich der Laser, der halbdurchlässige Spiegel und der Sichtschirm auf einem Tisch, dessen optische Bank einen Schwenkarm hat. Der Drehspiegel wird auf einem Ständer an einer Stativstange aufgestellt. Linse und Planspiegel sind jeweils auf einem Tisch mit einem justierbaren Reiter aufgestellt. Ist alles genau ausgerichtet, so verschiebt sich der Leuchtpunkt auf dem Schirm bei hoher Spiegeldrehzahl um etwa 2mm gegenüber niedrigster Drehzahl. *Achtung: Man muss darauf achten, dass das Vorlesungspublikum vor ungewollten Reflexionen des Laserstrahls abgeschirmt wird!*

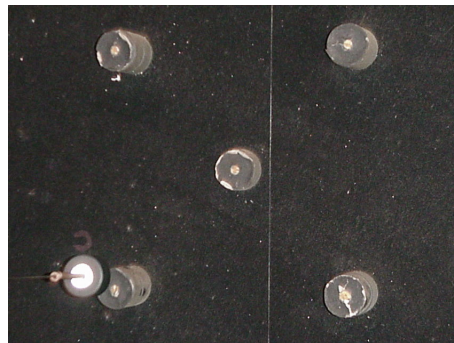
7 Nichtlineare Dynamik – Chaos

7.1 Mechanik

7.1.1 Magnetpendel



Gesamter Aufbau



Anordnung der Magnete

Benötigte Geräte und Materialien: Platte mit Magneten, Gerüst, Pendelschnur mit Magnet, SW-CCD-Kamera, Lampe, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Platte mit den Magneten wird unter das Gerüst gelegt und mit Hilfe der Schrauben und einer Wasserwaage in horizontale Lage gebracht. Die Magnete sind so angeordnet, dass die äußeren den Pendelmagneten anziehen und der Magnet in der Mitte das Pendel abstößt. Die Pendelschnur wird so aufgehängt, dass sie ohne Magnet genau über dem mittleren Magneten hängt. Die Kamera wird oben am Gerüst montiert, um

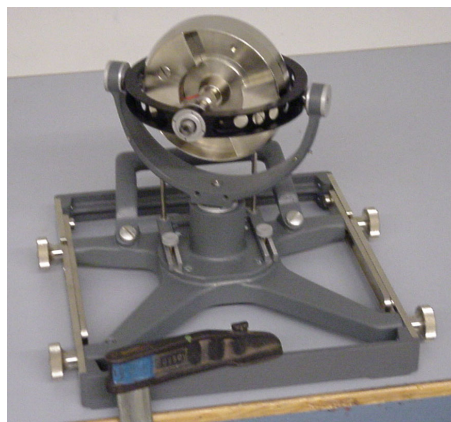
die Pendelbewegungen aufzunehmen. Das Kamerabild wird mit dem Videobeamer gezeigt. Die Lampe dient zur besseren Ausleuchtung. Man lässt das Pendel nun mehrmals von demselben Ort starten. Man sieht, dass die Pendelbewegung nicht immer am selben Ort endet.

7.1.2 Doppelpendel

Benötigte Geräte und Materialien: Doppelpendel

Versuchsaufbau und -durchführung: Das Doppelpendel wird mit einer Schraubzwinde an einem Tisch befestigt. Setzt man es aus der obersten Stellung in Bewegung, so vollführt es chaotische Schwingungen.

7.1.3 Asymmetrischer Kreisel



Benötigte Geräte und Materialien: Magnus-Kreisel mit Zubehör und Anleitungsbuch

Versuchsaufbau und -durchführung: Der asymmetrische Kreisel wird laut Anleitungsbuch aufgebaut. Versetzt man ihn in Rotation, so dreht er sich einfach. Stößt man nun aber die kardanische Aufhängung leicht an, so beginnt der Kreisel chaotische Bewegungen zu vollführen.

Bemerkungen: Zur Sicherheit sollte man den Kreisel mit einer Schraubzwinde am Tisch befestigen.

7.2 Sonstiges

7.2.1 Video-Rückkopplung

Benötigte Geräte und Materialien: SW-CCD-Kamera, Videomonitor, Stativmaterial

Versuchsaufbau und -durchführung: Die Kamera wird an den Monitor angeschlossen und davor gestellt, so dass sie ihr eigenes Bild wiederum filmt. Nun sind auf dem Bild chaotische Muster zu erkennen. Mit dem Abstand zwischen Kamera und Monitor muss man evtl. etwas herumprobieren, bis sich „schöne“ Muster zeigen. Das Videosignal kann am Ausgang des Monitors entnommen und mit dem Videobeamer gezeigt werden.