

David Auer

Physikalische Freihandversuche aus Optik

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Magisters
an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Karl – Franzens – Universität Graz

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher
Technische Universität Graz
Institut für Experimentalphysik

Februar 2005

Meiner Mutter und Großmutter gewidmet.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt dem Betreuer meiner Diplomarbeit, Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher, für die Möglichkeit eine fachdidaktische Arbeit verfassen zu können, die ausgezeichnete Betreuung und Zusammenarbeit während der Entstehung dieser Arbeit, sowie die zur Verfügungstellung jeglicher Räumlichkeiten und Geräte.

Auch dem Team rund um Herrn Pottlacher, Herrn Dipl.-Ing. Dr. Claus Cagran und Herrn Dipl.-Ing. Boris Wilthan sei an dieser Stelle gedankt, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen und die für meine Anliegen und Fragen immer ein offenes Ohr hatten.

Großer Dank gebührt auch meinen Freunden in Graz und Lienz für die Begleitung während meines Studiums.

Nicht zuletzt richte ich ein herzliches Dankeschön an meine Mutter für die finanzielle und moralische Unterstützung während meiner gesamten Schul- und Studienzeit.

DANKE!

Vorwort

Mein Interesse an physikalischen Experimenten wurde schon während der Schulzeit geweckt und im Laufe meines Studiums durch Laborübungen und die Lehrveranstaltungen „Schulversuche 1“ und „Schulversuche 2“ noch weiter verstärkt. Ich hatte endlich die Möglichkeit das theoretisch bereits Erlernte an selbständig durchgeführten Experimenten zu überprüfen.

Als ich schließlich von der Möglichkeit erfahren habe, eine Diplomarbeit über physikalische Freihandexperimente zum Thema Optik zu verfassen, setzte ich mich mit meinem Betreuer an einen Tisch und wir erarbeiteten zusammen die wichtigsten Eckpunkte dieser Arbeit:

- Es sollen zirka 50 Experimente aus einer im Zuge der Lehrveranstaltung „Schulversuche 1“ an der Technischen Universität Graz über 15 Jahre angelegten Sammlung von Videoclips, ausgewählt werden, die das ganze Spektrum der Optik umfassen.
- Die Experimente sollen auch von Nicht-PhysikerInnen leicht nachvollziehbar sein.
- Durch Bilder sollen die wesentlichen Erkenntnisse verdeutlicht werden.

Ich halte es für äußerst wichtig und unumgänglich den SchülerInnen die Möglichkeit zu geben Experimente im Physikunterricht selbständig durchführen zu können. Sie sind eine belebende Abwechslung zum herkömmlichen Unterricht, sie ermöglichen den SchülerInnen eigene Erkenntnisse zu gewinnen und diese mit Phänomenen in der Natur in Verbindung zu bringen. Außerdem soll die Scheu vor der Durchführung von Experimenten damit abgebaut werden.

Ich hoffe mit dieser Sammlung von optischen Freihandversuchen den Schülerinnen und Schülern, sowie den Lehrerinnen und Lehrern, die nötige Motivation für physikalische Experimente geben zu können.

INHALTSVERZEICHNIS

(1) FACHDIDAKTISCHES	1
<i>Was ist ein Freihandversuch</i>	<i>1</i>
<i>Die fachdidaktische Bedeutung des Experiments</i>	<i>2</i>
<i>Forderungen des Lehrplans.....</i>	<i>4</i>
(2) GEOMETRISCHE OPTIK.....	5
2.1 REFLEXION	5
<i>Das Reflexionsgesetz</i>	<i>5</i>
<i>Trugbild.....</i>	<i>7</i>
<i>Reguläre und diffuse Reflexion.....</i>	<i>8</i>
2.2 BRECHUNG UND TOTALREFLEXION.....	9
<i>Das gebrochene X.....</i>	<i>9</i>
<i>Die wahre Position eines Fisches.....</i>	<i>10</i>
<i>Die verschwundene Münze</i>	<i>11</i>
<i>Der verschwundene Nagel.....</i>	<i>12</i>
<i>Das silberne Ei</i>	<i>13</i>
<i>Der undurchsichtige Trichter</i>	<i>14</i>
<i>Berechnung des Brechungsindex von Wasser</i>	<i>15</i>
<i>Tiefer Blick in die Flasche.....</i>	<i>17</i>
<i>Wasser als Lichtleiter</i>	<i>18</i>
2.3 PRISMEN.....	19
<i>Dispersion</i>	<i>19</i>
2.4 OPTISCHE INSTRUMENTE	20
<i>Die Schusterkugel.....</i>	<i>20</i>
<i>Die Lochkamera</i>	<i>21</i>
<i>Die Zylinderlinse</i>	<i>23</i>
<i>Die Lupe</i>	<i>24</i>
<i>Das Mikroskop.....</i>	<i>25</i>
<i>Der Diaprojektor.....</i>	<i>27</i>
<i>Das Teleskop</i>	<i>28</i>
<i>Der Aufbau eines Fotoapparates.....</i>	<i>29</i>
(3) WELLENOPTIK.....	31
3.1 BEUGUNG	31
<i>Beugung am Spalt.....</i>	<i>31</i>
<i>Beugung an Wassertröpfchen.....</i>	<i>33</i>
<i>Beugung am Gitter</i>	<i>34</i>
<i>CD als Beugungsgitter.....</i>	<i>35</i>
3.2 INTERFERENZ	36
<i>Interferenzversuch nach Pohl.....</i>	<i>36</i>
<i>Newton – Ringe.....</i>	<i>38</i>
<i>Seifenlamelle</i>	<i>39</i>
3.3 FARBMISCHUNG.....	41
<i>Additive Farbmischung.....</i>	<i>41</i>
<i>Aus bunt entsteht weiß.....</i>	<i>43</i>
<i>Subtraktive Farbmischung.....</i>	<i>45</i>
<i>Farbzerlegung - Chromatographie.....</i>	<i>47</i>
3.4 STREUUNG.....	48
<i>Himmelsfarben</i>	<i>48</i>
3.5 LINSEN	50
<i>Sammel – und Zerstreulinse.....</i>	<i>50</i>
<i>Bestimmung der Brennweite einer Linse</i>	<i>52</i>
<i>Wasserglas als Umkehrlinse.....</i>	<i>53</i>
<i>Linsefehler</i>	<i>54</i>

3.6 POLARISIERTES LICHT	55
<i>Polarisation von Licht</i>	55
<i>Spannungsoptik.....</i>	57
3.7 LASER.....	58
<i>Das Reflexionsgesetz</i>	58
<i>Der leuchtende Papierzylinder</i>	59
<i>Totalreflexion</i>	60
<i>Brechungsgesetz</i>	61
<i>Umkehrprisma</i>	62
<i>Pentagonalprisma.....</i>	63
<i>Tripelprisma</i>	65
<i>Beugung an einem dünnen Draht</i>	66
<i>Beugung am Spalt/Doppelspalt</i>	67
<i>Beugung am Gitter</i>	68
<i>Beugung am kreuzförmigen Gitter.....</i>	69
<i>Beugung am schrägen Gitter.....</i>	70
<i>Beugung an einer ringförmigen Blende.....</i>	71
<i>Wellenlängenbestimmung mittels Reflexion</i>	73
<i>Wellenlängenbestimmung mittels Beugung</i>	75
<i>Interferenzen an einer Glasplatte</i>	77
<i>Das optische Lineal</i>	78
<i>Speckles</i>	80
<i>Darstellung einer Welle.....</i>	81
<i>Überlagerung von Schwingungen.....</i>	82
<i>Schwebung.....</i>	84
<i>Lissajousfiguren</i>	85
(4) LITERATURVERZEICHNIS	86
(5) SACHVERZEICHNIS	87

(1) Fachdidaktisches

Was ist ein Freihandversuch?

In der heutigen Zeit werden sowohl in der Wissenschaft, im Physikunterricht wie auch alltäglichen Leben immer mehr komplexe Maschinen und Apparate verwendet. Die eigentliche Physik, die dahinter steckt, gerät zusehends in den Hintergrund und die Undurchschaubarkeit des technischen Aufbaus sind von Nachteil. Beinahe jeder verwendet einen Computer oder Fernsehapparat, aber das eigentliche physikalische Geschehen wird dabei nicht sichtbar.

Dem gegenüber stehen so genannte Freihandversuche, die durch ihren geringen Aufwand an Geräten und Zeit oftmals belächelt werden. Aber kein geringer als Albert Einstein hatte sich schon mit einem Freihandversuch beschäftigt, der das Verhalten eines Teeblattes in einer Teetasse aufklären sollte.

Durch den teilweise sehr einfachen Aufbau dieser Experimente wird die Neugier der Zuseher geweckt und oft Vergessenes wieder in Erinnerung gerufen. Vor allem aber spricht die leicht zu durchschauende und optisch sichtbare Physik, die dahinter steckt, für die Durchführung von Freihandversuchen im Physikunterricht.

Der Freihandversuch darf aber auf keinem Fall als Ersatz von Experimenten mit dem üblichen und teilweise auch aufwendigen Experimentiermaterial verstanden werden, sondern soll als Ergänzung, Einstieg und Abschluss von Unterrichtseinheiten dienen. Darüber hinaus kann den Schülern das wissenschaftliche Arbeiten näher gebracht werden und sie können unter Umständen zum genaueren Beobachten ihrer Umwelt animiert werden.

Definition des Freihandversuchs:

Es gibt verschiedene Definitionen für den Begriff des Freihandversuchs. An dieser Stelle seien zwei mögliche Erklärungen angeführt.

- Der Freihandversuch ist ein weitgehend qualitatives, physikalisches Lehrer-, Schüler- oder Hausexperiment, das im Wesentlichen mit Gegenständen des täglichen Bedarfs auskommt und das jederzeit und überall eingesetzt werden kann.
- Freihandversuche sind Versuche, "die sich fast ohne Kosten jederzeit von jedermann anstellen lassen und dabei geeignet sind, bestimmte Gesetze darzulegen oder gewisse Eigenschaften der Körper nachzuweisen." (Zitat Schwalbe, Dir. des Dorotheen-Realgymn. Berlin, 1890)

Auf Grund dieser Tatsachen werden oft Synonyme wie Low – Cost – Experimente oder Quick – Experimente verwendet, die im Grunde alle samt die gleiche Bedeutung haben, nur stehen entweder der geringe zeitliche Aufwand, die technische Einfachheit oder die geringe finanzielle Belastung im Vordergrund.

Die hier angeführten Experimente stellen eine Mischung aus allen dar, deshalb wurde auf eine Unterscheidung der Begriffe verzichtet.

Die fachdidaktische Bedeutung des Experiments

Es gibt drei wesentliche Fragen, über die sich jeder Lehrer bei der Unterrichtsplanung für den Physikunterricht Gedanken machen sollte.

1. Warum Experimente?
2. Wann Experimente?
3. Welche Experimente?

Warum sollen Experimente im Physikunterricht durchgeführt werden?

Gerade für die Physik als experimentelle Naturwissenschaft sind Experimente „lebensnotwendig“. Ob es sich dabei um Schülerversuche oder vom Lehrer durchgeführte Versuche handelt, steht nicht im Mittelpunkt. Beide Arten haben ihre Vor- und Nachteile.

Die besonderen Vorteile von Schülerversuchen sind die Auseinandersetzung des Schülers mit der Sache selbst und die eigenständige Lösung von Problemen. Durch Sorgfalt, Geduld und Ausdauer kann ein Lernerfolg erzielt werden, der im herkömmlichen Unterricht nicht zu erreichen wäre.

Betrachten die Schüler das Experimentieren allerdings als angenehmen Zeitvertreib, hat der Schülerversuch seinen Sinn verfehlt.

Lehrerversuche sollten vor allem dann durchgeführt werden, wenn Zeit, Sicherheit und die Ausstattung des Versuchs dies verlangen. Die Schüler sollten auch bei Lehrerversuchen sehen, dass nicht jedes Experiment von Beginn an die erwarteten Ergebnisse liefert und die Versuche oft nachjustiert oder verändert werden müssen.

Wann sollen Experimente im Physikunterricht durchgeführt werden?

Es gibt keine Richtlinien, wonach Versuche zu bestimmten Zeiten im Unterricht stattfinden sollen.

Versuche sollten auf keinen Fall eine Bestätigung für den Lehrer sein, sondern sollen je nach Unterrichtserfordernis eingesetzt werden. Soll die Neugier der Schüler geweckt werden, wird das Experiment zu Beginn stattfinden, soll mit dem Versuch ein Problem geklärt oder gelöst werden, wird es im Anschluss an die Problemstellung durchgeführt werden.

Welche Experimente sollen im Physikunterricht durchgeführt werden?

Der Lehrer sollte sich vor allem Gedanken darüber machen, welchen Zweck die Durchführung eines Experiments, ob Schüler- oder Lehrerexperiment, haben soll. Nach diesem Kriterium sollen anschließend die durchzuführenden Versuche eingeteilt werden.

Besondere Vorsicht ist bei der Anzahl der durchzuführenden Versuche geboten. Einerseits können zu wenige Versuche zwar den informativen Charakter des einzelnen Versuchs erhöhen, aber die Selbstständigkeit der Schüler wird dadurch nicht erhöht.

Andererseits führen zu viele Experimente dazu, dass die Schüler den Überblick verlieren und somit auch das Interesse.

Forderungen des Lehrplans:

Der allgemeine Teil des Lehrplans der Allgemeinbildenen Höheren Schulen fordert folgende Bildungsziele:

„Die Schülerinnen und Schüler sollen lernen, in altersadäquater Form Problemstellungen zu definieren, zu bearbeiten und ihren Erfolg dabei zu kontrollieren.

...

Verständnis für Phänomene, Fragen und Problemstellungen aus den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaft und Technik bilden die Grundlage für die Orientierung in der modernen, von Technologien geprägten Gesellschaft.

Der Unterricht hat daher grundlegendes Wissen, Entscheidungsfähigkeit und Handlungskompetenz zu vermitteln. Die Schülerinnen und Schüler sind zu befähigen, sich mit den Wertvorstellungen und ethischen Fragen im Zusammenhang mit Natur und Technik sowie Mensch und Umwelt auseinander zu setzen. Als für die Analyse und Lösung von Problemen wesentliche Voraussetzung sind Formalisierung, Modellbildung, Abstraktions- und Raumvorstellungsvermögen zu vermitteln.“¹

Der Lehrplan für den Pflichtgegenstand Physik der Allgemeinbildenen Höheren Schulen fordert folgende Bildungsziele:

„Der Unterricht hat das Ziel, den Schülerinnen und Schülern das Modelldenken der Physik (Realwelt – Modell – Modelleigenschaften – Realwelt) zu vermitteln und physikalisches Wissen in größere Zusammenhänge zu stellen.

...

Außerdem hat der Physikunterricht den Schülerinnen und Schülern in Verbindung mit anderen Unterrichtsgegenständen die Vielschichtigkeit des Umweltbegriffs bewusst zu machen. Dadurch soll eine bessere Orientierung in der Umwelt und entsprechend verantwortungsvolles Handeln erreicht werden.

...

An geeigneten Inhalten ist den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit zu möglichst selbstständigem Untersuchen, Entdecken bzw. Forschen zu geben. Dies bedingt den Einsatz von Schülerversuchen. Altersgemäße Denkwege und Deutungsversuche der Schülerinnen und Schüler sind zu berücksichtigen.“²

¹ Quelle: [Hhttp://www.bmbwk.gv.at/medienpool/775/ahs1.pdf](http://www.bmbwk.gv.at/medienpool/775/ahs1.pdf)

² Quelle: [Hhttp://www.bmbwk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf](http://www.bmbwk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf)

(2) Geometrische Optik

Die geometrische Optik, auch Strahlenoptik genannt, beschreibt den Verlauf von Lichtstrahlen unter der Annahme, dass die dargestellten Objekte innerhalb des Strahlenbündels stets groß gegen die Wellenlänge des Lichtes (also $>10^{-6} m$) sind. Unter dieser Bedingung können die Welleneigenschaften des Lichtes vernachlässigt werden.

Die geometrische Optik ermöglicht die Wirkungsweise von Spiegeln und Linsen und Kombinationen der beiden zu verstehen.

Phänomene wie Beugung oder Streuung von Licht können nur mittels der Wellenoptik beschrieben werden, die in (3) genauer betrachtet wird.

2.1 Reflexion

Das Reflexionsgesetz

Material:

- ✓ Ein Stück Karton
- ✓ Kamm
- ✓ Taschenlampe
- ✓ Schere (Messer)
- ✓ Spiegel

Aufbau:

Schneide in den Karton ein Loch von zirka 2 cm Durchmesser und befestige darüber den Kamm. Die Zacken des Kamms sollen sich genau hinter dem Loch im Karton befinden, sodass das Licht der Taschenlampe, die sich auf der anderen Seite des Kartons befindet, in parallele Lichtstreifen aufteilt. Diese sollten auf einem Tisch zu sehen sein. Bringe nun einen Spiegel in einer gewissen Entfernung zum Karton an. Er muss schräg zu den Lichtstrahlen stehen.

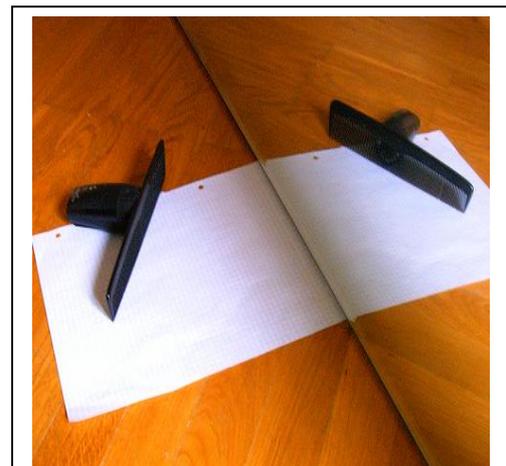


Abb. 1 Der Aufbau um das Reflexionsgesetz zu überprüfen

Beobachtung:

Es ist leicht zu erkennen, dass die einfallenden Strahlen am Spiegel reflektiert werden. Durch Anbringen eines Lots (zum Beispiel ein schmaler Streifen Papier), der normal zur Spiegeloberfläche steht, können die Winkel der Einfallsstrahlen und der Reflexionsstrahlen gemessen werden.

Es bietet sich auch an als Unterlage kariertes Papier zu verwenden, das als Lot dient. Wird nun der Spiegel gedreht, so verändern sich das Lot und folglich auch die Winkel der einfallenden und der reflektierten Strahlen.

Physikalischer Hintergrund:

An der Grenzfläche zweier Medien (hier: Luft – Spiegel) wird ein Lichtstrahl ganz oder teilweise reflektiert. Dieser Effekt ist vergleichbar mit einem elastischen Stoß einer Kugel. Alle Strahlen der Lichtquelle werden so reflektiert, als kämen sie von dem virtuellen Spiegelbild der Lichtquelle hinter dem Spiegel.

Für diese Spiegelreflexion gilt das Reflexionsgesetz mit den zwei folgenden wichtigen Aussagen:

- (1) Einfallender Strahl, Lot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.
- (2) Der Einfallswinkel α und der Reflexionswinkel α' aller Strahlen sind gleich groß.

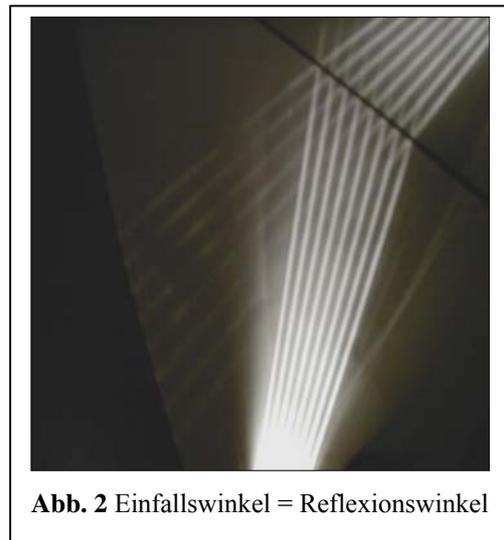
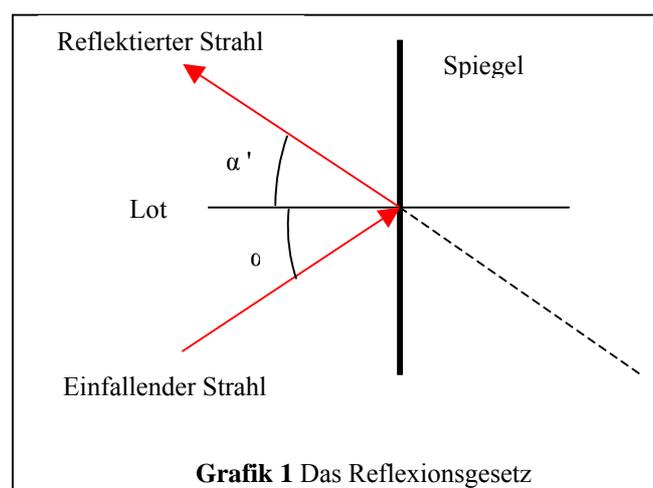


Abb. 2 Einfallswinkel = Reflexionswinkel



Grafik 1 Das Reflexionsgesetz

DIE WINKEL WERDEN IMMER ZWISCHEN LICHTSTRAHL UND DEM LOT GEMESSEN!!!

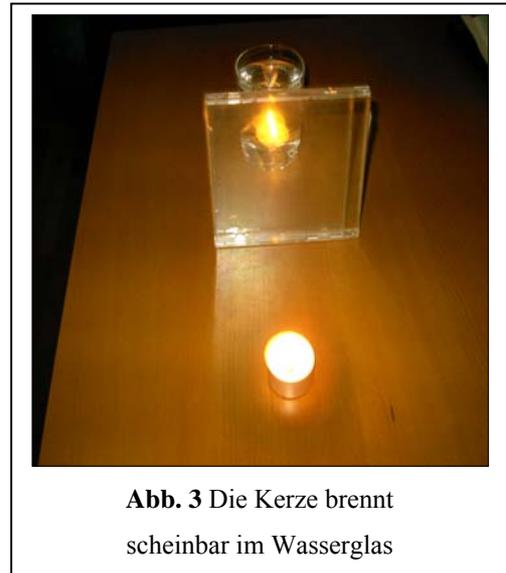
Trugbild

Material:

- ✓ CD – Hülle
- ✓ Teelicht
- ✓ Glas mit Wasser
- ✓ Feuerzeug

Aufbau:

Stelle das Wasserglas, die CD – Hülle und die Kerze in der genannten Reihenfolge auf und blicke durch die CD – Hülle. Variiere dabei den Abstand der Augen zur CD – Hülle. Du kannst sehen, dass die Kerze allmählich in das Wasserglas übergeht. Dieses Phänomen ist am besten zu sehen wenn das Licht ausgeschaltet ist.



Beobachtung:

Wenn der Abstand des Glases zur CD – Hülle und der Abstand der Kerze zur CD – Hülle gleich groß sind, dann sollte sich die brennende Kerze im Wasserglas befinden.

Physikalischer Hintergrund:

Die vom Auge ausgehenden Sehstrahlen werden an der CD – Hülle zum Teil reflektiert und zum Teil durch die Hülle gebrochen. Wir haben also einen halbdurchlässigen Spiegel. Das Spiegelbild der Kerze entsteht durch die teilweise Reflexion des Lichtes an der CD – Hüllenoberfläche.

Reguläre und diffuse Reflexion

Material:

- ✓ Aluminiumfolie
- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Nimm ein großes Stück Aluminiumfolie, achte darauf, dass es nicht zerknittert wird. Lasse nun im Dunkeln das Licht der Experimentierleuchte unter einem beliebigen (aber von 90° verschiedenen) Winkel auf die Folie fallen, sodass an der Wand das Licht wieder zu sehen ist.

Anschließend knülle die Folie zu einem Ball zusammen und ziehe sie wieder auseinander. Achte dabei darauf, dass die Folie nicht zerreißt und glätte sie auch nicht. Dann lässt du das Licht auf die zerknitterte Folie fallen.

Beobachtung:

Im Falle der glatten Folie siehst du das Lichtbündel in voller Stärke auf der Wand wieder.

Im Falle der zerknitterten Folie ist das an der Wand zu sehende Lichtbündel größer aber nicht so intensiv.

Physikalischer Hintergrund:

Das an der Wand erzeugte Licht entsteht im Falle der glatten Folie durch reguläre Reflexion des Lichtes an der Aluminiumfolie. Regulär heißt diese Art von Reflexion deshalb, weil alle von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen an der Grenzfläche unter demselben Winkel eintreffen und unter demselben Winkel wieder reflektiert werden. Die zerknitterte Aluminiumfolie weist hingegen sehr viele, kleine, unter verschiedenen Richtungen zueinander geneigte Flächen auf. An diesen Flächen fällt das Licht unter verschiedenen Winkeln ein und wird wegen des Reflexionsgesetzes auch unter verschiedenen Winkeln reflektiert.

Deshalb ist das Licht an der Wand schwächer aber dafür breiter gefächert zu sehen, während bei der reguläreren Reflexion das reflektierte Licht zentrierter und heller ist.



Abb. 4 Reguläre Reflexion an der glatten Folie



Abb. 5 Diffuse Reflexion an der zerknitterten Folie

2.2 Brechung und Totalreflexion

Das gebrochene X

Material:

- ✓ Trinkglas
- ✓ 2 Strohhalme
- ✓ Wasser
- ✓ Speiseöl

Aufbau:

Fülle das Glas bis zur Hälfte mit Wasser und tauche die Strohhalme überkreuzt in das Wasser ein.

Gib anschließend noch eine etwa 3 cm dicke Schicht Speiseöl hinzu.

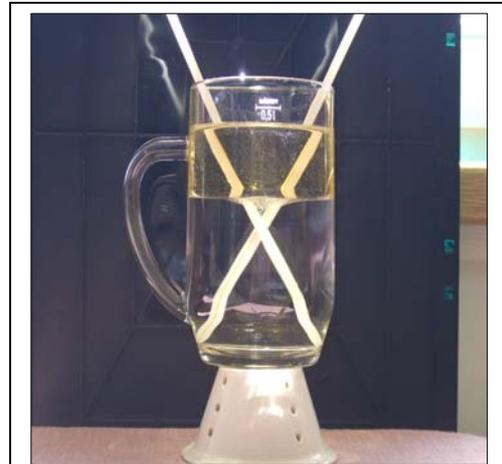


Abb. 6 Die Strohhalme scheinen abgebrochen zu sein

Beobachtung:

Wenn du das Glas von vorne betrachtest, erkennst du, dass die Strohhalme versetzt bzw. abgeschnitten sind. Befindet sich zusätzlich noch Speiseöl in dem Glas sind die Strohhalme sogar doppelt abgebrochen.

Physikalischer Hintergrund:

In Wahrheit werden natürlich nicht die Strohhalme gebrochen, sondern die Lichtstrahlen, die an ihnen reflektiert werden.

Medium 1 heißt optisch dichter als Medium 2, wenn die Lichtgeschwindigkeit in Medium 1 kleiner ist als in Medium 2.

Die optischen Dichten der drei Medien Luft, Wasser und Speiseöl sind unterschiedlich. So ist Speiseöl optisch dichter als Wasser und Wasser optisch dichter als Luft. Beim Übergang des Lichtes vom optisch dünneren zum optisch dichteren Medium tritt an der Grenzfläche der jeweiligen Medien Brechung zum Lot auf, im umgekehrten Fall tritt Brechung vom Lot auf.

Die Brechung an den Grenzschichten Wasser – Luft und Öl – Luft ist unterschiedlich stark, da Wasser und Öl verschiedene optische Dichten besitzen.

Die wahre Position eines Fisches

Material:

- ✓ Kaffeeschale
- ✓ Wasser
- ✓ Münze

Aufbau:

Lege die Münze in die leere, undurchsichtige, oben offene Kaffeeschale und schaue so hinein, dass du von der Münze gerade noch den Rand sehen kannst.

Fülle anschließend Wasser in das Glas, aber achte darauf, dass die Münze nicht aus ihrer ursprünglichen Position gebracht wird.

Beobachtung:

Die Münze wird scheinbar angehoben und gänzlich sichtbar.

Physikalischer Hintergrund:

Die Münze wird nur scheinbar angehoben. Wenn sich Wasser in der Kaffeeschale befindet, werden die von der Münze ausgehenden Lichtstrahlen an der Grenzschicht Wasser – Luft vom Lot gebrochen. Das menschliche Auge verlängert die gebrochenen Lichtstrahlen geradlinig nach hinten, was zum scheinbaren Anheben der Münze führt.

Genauso verhält es sich, wenn wir einen Fisch an einer bestimmten Stelle im Wasser sehen. Wir können ihn nicht fangen, da er sich nicht dort befindet wo wir ihn sehen.



Abb. 7 Ohne Wasser ist nur der Rand der Münze zu sehen



Abb. 8 Durch das Einfüllen von Wasser wurde die Münze scheinbar angehoben

Die verschwundene Münze

Material:

- ✓ Marmeladenglas mit gewölbtem Boden
- ✓ Münze
- ✓ Wasser

Aufbau:

Stelle das leere Marmeladenglas auf einen Tisch und lege die Münze unter den gewölbten Boden des Glases.

Beobachte anschließend die Münze während du Wasser in das Glas füllst.



Abb. 9 Ohne Wasser ist die Münze deutlich sichtbar

Beobachtung:

Solange sich nur Luft im Glas befindet, ist die Münze von der Seite deutlich erkennbar. Ersetzt du allerdings die Luft im Glas durch Wasser, kannst du die Münze von der Seite nicht mehr beobachten.

Physikalischer Hintergrund:

Für den Fall, dass sich Luft im Marmeladenglas befindet, tritt an den Grenzschichten Luft – Glas und Glas – Luft das Phänomen der Brechung auf. Das heißt die beobachtete Position der Münze stimmt nicht mit der wahren Position der Münze überein.

Befindet sich Wasser im Glas, so tritt an der Grenzschicht Wasser – Glas wiederum Brechung auf, an der Grenzschicht Glas – Luft findet auf Grund des Überganges vom optisch dichteren in das optisch dünnere Medium und der Überschreitung des Grenzwinkels Totalreflexion statt. Das heißt, dass der vom Lot gebrochene Lichtstrahl das optisch dichtere Medium nicht mehr verlassen kann und an der Grenzschicht totalreflektiert wird.

Da Wasser und Glas ziemlich ähnliche Brechzahlen aufweisen, werden die Strahlen nur wenig gebrochen und folglich der Grenzwinkel zur Totalreflexion überschritten. Die Münze ist unsichtbar.



Abb. 10 Nach dem Einfüllen von Wasser verschwindet die Münze

Der verschwundene Nagel

Material:

- ✓ Weites Glas
- ✓ Wasser
- ✓ Korkscheibe
- ✓ Nagel

Aufbau:

Schneide von einem etwa 2 cm dicken Kork eine Scheibe von 8 cm Durchmesser heraus. Stecke durch die Mitte des Korks einen Nagel, der an der Unterseite des Korks wieder herausragt und lege die Scheibe auf das randvoll mit Wasser gefüllte Glas. Dann blickst du von schräg oben auf den Nagel.

Anschließend ziehst du den Nagel ein wenig aus der Korkscheibe und blickst von vorne auf das Glas.



Abb. 11 Der Nagel scheint verschwunden zu sein

Beobachtung:

Wenn du von oben seitlich auf die Wasseroberfläche blickst, ist von der Nagelspitze unter dem Kork nichts zu sehen.

Blickst du allerdings von vorne in das Glas, wirst du merken, dass der Nagel abgebrochen zu sein scheint.

Physikalischer Hintergrund:

Vom Nagel ausgehend treffen Lichtstrahlen unter verschiedenen, nach außen größer werdenden, Winkeln kegelförmig auf die Wasseroberfläche und werden dort, sofern der Grenzwinkel nicht überschritten wird, vom Lot gebrochen. Ohne die Korkscheibe wäre also ein Teil des Nagels sichtbar. Die Korkscheibe verhindert allerdings, dass dieser Teil des Nagels sichtbar wird.

Wird der Grenzwinkel überschritten, tritt Totalreflexion auf und der Nagel ist nicht mehr sichtbar.

Bei der Beobachtung von vorne kann infolge der Brechung der Lichtstrahlen beim Übergang von Wasser in Luft der abgebrochene Nagel erkannt werden. (siehe „Das gebrochene X“)



Abb. 12 Von vorne betrachtet, scheint der Nagel abgebrochen zu sein

Das silberne Ei

Material:

- ✓ hart gekochtes Ei
- ✓ Kerze
- ✓ Trinkglas
- ✓ Wasser
- ✓ Draht

Aufbau:

Befestige das gekochte Ei an einem Stück Draht und halte es über die Kerzenflamme. Dadurch wird das Ei mit einer Rußschicht überzogen. Lege es nun in das mit Wasser gefüllte Glas, beobachte und nimm es wieder heraus.



Abb. 13 Vor dem Eintauchen ist das Ei schwarz

Beobachtung:

Befindet sich das Ei im Wasserglas, glänzt ein Teil des Eis silbern. Nimmst du anschließend das Ei wieder heraus wirst du feststellen, dass es noch vollständig mit der Russchicht überzogen ist.

Physikalischer Hintergrund:

Der silberne Glanz des Eis kommt dadurch zustande, dass Luftmoleküle an den Russpartikeln haften bleiben. Das heißt, dass die einfallenden Lichtstrahlen einen Wasser – Luft – Übergang passieren müssen. Beim Übergang vom optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium tritt bei der Überschreitung des Grenzwinkels (für Wasser-Luft-Übergang $48,6^\circ$) Totalreflexion ein. Dieser Grenzwinkel wird aber nicht für alle einfallenden Strahlen überschritten, sondern nur für die am Rand liegenden, so dass nicht das gesamte Ei silbern erscheint.

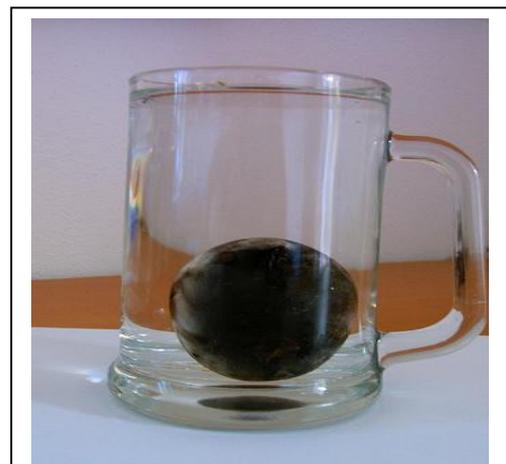


Abb. 14 Nach dem Eintauchen erscheint ein Teil des Eis silbrig

Der undurchsichtige Trichter

Material:

- ✓ Durchsichtiges Gefäß
- ✓ Durchsichtiger Trichter
- ✓ Wasser
- ✓ Zeitschrift

Aufbau:

Lege unter das Gefäß eine Zeitschrift. Nun stelle einen Trichter mit dem Stutzen nach oben in das Gefäß und fülle Wasser ein. Achte dabei darauf, dass der Trichter nicht vollständig unter Wasser ist und dichte gegebenenfalls den Stutzen mit etwas Wachs ab. Hebe nun den Trichter vorsichtig an, sodass sich im unteren Teil ein wenig Wasser befindet und der Rest mit Luft gefüllt ist.

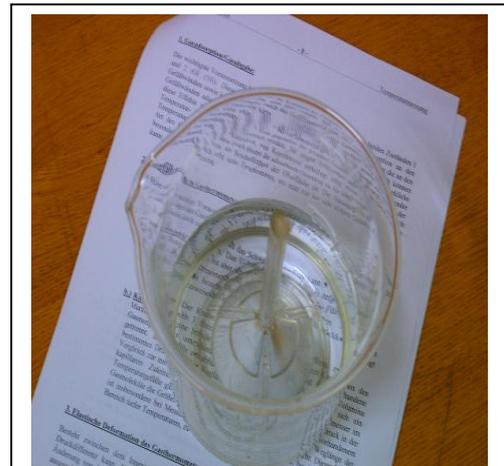


Abb. 15 Beim Übergang von Wasser zu Luft tritt Totalreflexion auf

Beobachtung:

Blickst du von oben in das Gefäß kannst du die Zeitschrift zum Teil lesen, zum anderen Teil nicht.

Physikalischer Hintergrund:

Blickt man von oben in den Teil des Trichters, in dem sich Wasser befindet, kann man die Zeitschrift lesen, weil keine Totalreflexion auftritt.

Blickt man allerdings in den Teil des Trichters, der nicht mit Wasser, sondern mit Luft gefüllt ist, kommt es in diesem Teil des Trichters zum Übergang vom optisch dichteren Medium Wasser zum optisch dünneren Medium Luft zur Totalreflexion. Die einfallenden Lichtstrahlen überschreiten an der Grenzfläche des Trichters den Grenzwinkel zur Totalreflexion. Deshalb ist die Zeitschrift nicht mehr lesbar und der Trichter undurchsichtig.

Berechnung des Brechungsindex von Wasser

Material:

- ✓ Glas
- ✓ Wasser
- ✓ Durchsichtige Folie
- ✓ Undurchsichtige Folie
- ✓ Taschenlampe

Aufbau:

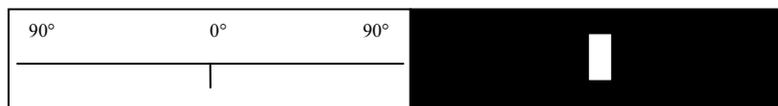
Berechne den Umfang des Glases und bastle einen ebenso langen Streifen, der zur Hälfte aus der durchsichtigen und zur Hälfte aus der undurchsichtigen Folie besteht. Genau in der Hälfte des undurchsichtigen Teils wird ein schmaler Spalt geschnitten. Der durchsichtige Teil wird mit einer Gradskala versehen, in deren Mitte sich die Markierung für 0° befindet. Befestige nun den Streifen am Mantel des Glases und fülle so viel Wasser ein, dass die Grenzfläche Wasser – Luft genau im Bereich des Streifens liegt.

Lasse einen horizontal laufenden Lichtstrahl von der Seite durch den Spalt laufen, so dass ein Teil durch Luft und ein anderen Teil durch das Wasser verläuft.



Abb. 16 Versuchsaufbau um den Brechungsindex von Wasser zu berechnen

Beobachtung:



Beide Strahlen treffen auch wieder auf der Gradskala auf.

Notiere die beiden Winkel und berechne den Quotienten $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$.

Physikalischer Hintergrund:

Der durch das Medium Luft verlaufende Strahl wird nicht gebrochen, jedoch der durch das Medium Wasser verlaufende.

Die beiden Lichtflecken liegen nur dann genau übereinander, wenn der Lichtstrahl senkrecht einfällt, das heißt bei 0° .

Der Brechungsindex n eines Mediums kann immer mit Hilfe des folgenden Quotienten berechnet werden:

$$n = \frac{\sin(\text{Winkel des ungebrochenen Strahls})}{\sin(\text{Winkel des gebrochenen Strahls})} \quad (1)$$

Für eine bestimmte Wellenlänge des Lichtes ist der Brechungsindex eine Materialkonstante. Er gibt an um wie viel langsamer sich das Licht im Medium (c_m) ausbreitet als im Vakuum (c_0).

Daraus erhält man folgenden Zusammenhang:

$$n = \frac{c_0}{c_m} \quad (2)$$

Die nebenstehende Tabelle enthält die Brechungsindizes n einiger Medien bei $T = 20^\circ\text{C}$ und $\lambda = 589 \text{ nm}$.

Substanz	n
Luft (1013 mbar)	1,000272
Wasser	1,333
Benzol	1,501
Steinsalz	1,544
Schwefelkohlenstoff	1,628
Diamant	2,417

Tiefer Blick in die Flasche

Material:

- ✓ 2 Glasflaschen
- ✓ Wasser
- ✓ Bild

Aufbau:

Fülle in die erste Flasche Wasser und lass die zweite Flasche leer. Platziere hinter jeder Flasche ein und dasselbe Bild.

Beobachtung:

In jeder der zwei Flaschen siehst du das Bild in einer anderen Größe.

Physikalischer Hintergrund:

Unterschiedliche Flüssigkeiten haben unterschiedliche Brechungsindizes. Je größer der Brechungsindex des Mediums ist, desto größer wird der Winkel unter dem der Strahl aus der Flasche austritt. Folglich wird auch das Bild größer erscheinen. Da der Brechungsindex von Wasser größer ist als von Luft, wird das Bild hinter der mit Wasser gefüllten Flasche größer. Die Wasserflasche hat die Wirkung einer Linse, bei der sich der betrachtete Gegenstand innerhalb der Brennweite befindet. Man erhält also eine sehr einfache Lupe, die in „*Optische Instrumente*“ genauer betrachtet wird.

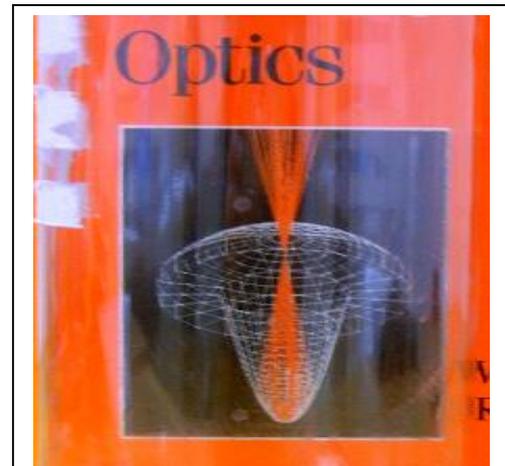


Abb. 17 Das Bild hinter der mit Luft gefüllten Flasche

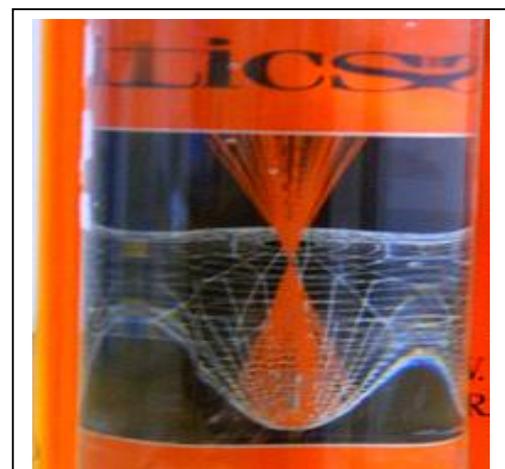


Abb. 18 Das Bild hinter der mit Wasser gefüllten Flasche

Wasser als Lichtleiter

Material:

- ✓ Dose
- ✓ Wasser
- ✓ Taschenlampe
- ✓ Bohrer

Aufbau:

Bohre im unteren Teil des Mantels der Dose ein kleines Loch. Fülle anschließend die Dose mit Wasser, leuchte mit der Taschenlampe hinein und verdunkle den Raum.



Abb. 19 Die Dose mit dem Loch am unteren Teil des Mantels

Beobachtung:

Das austretende Wasser erzeugt einen hellen Punkt.

Physikalischer Hintergrund:

Das Licht, das in das Wasser eindringt, wird an der Grenzschicht Wasser – Luft totalreflektiert und so durch den schmalen Wasserstrahl nach außen transportiert. Es kann an der Stelle, an der das Wasser den Untergrund berührt ein heller Lichtfleck festgestellt werden, da dort keine Totalreflexion mehr stattfindet.

Aus der seitlichen Ansicht ist der ganze Wasserstrahl sehr gut zu beobachten, da seine Oberfläche nicht ideal glatt ist.

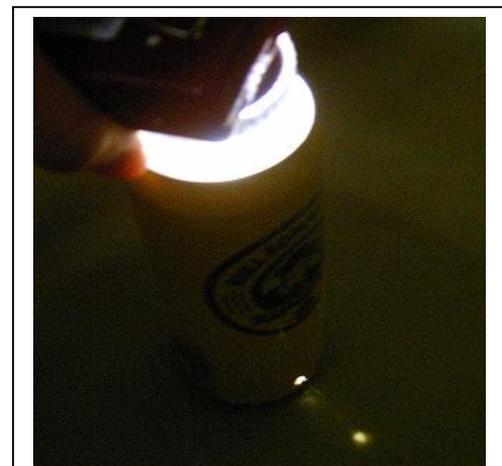


Abb. 20 Der helle Lichtfleck beim Auftreffen des Wassers auf den Untergrund

2.3 Prismen

Dispersion

Material:

- ✓ Diaprojektor
- ✓ Dia mit Spalt
- ✓ Prisma
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Beleuchte in einem verdunkelten Raum das Glasprisma mit dem Diaprojektor, indem du anstelle des gewöhnlichen Dias ein Dia mit Spalt gibst. Lasse das Licht unter verschiedenen Winkeln einfallen.



Abb. 21 Der Diaprojektor wird auf das Prisma gerichtet

Beobachtung:

Beim Austritt des Lichtes aus dem Prisma entsteht an der Wand ein Farbspektrum.

Physikalischer Hintergrund:

Der Brechungsindex einer jeden Substanz ist geringfügig von der Wellenlänge und von der Frequenz des Lichtes abhängig. Diesen Effekt nennt man Dispersion. Der Brechungsindex eines Glases nimmt mit zunehmender Wellenlänge leicht ab. Trifft also weißes Licht auf ein Glasprisma, so wird der langwellige Anteil, rotes Licht, weniger stark gebrochen als der kurzwellige Anteil, violetteres Licht. Dies führt unwillkürlich zur Aufspaltung des weißen Lichtes in seine Bestandteile, die Spektralfarben.



Abb. 22 Beim Austritt des Lichtes aus dem Prisma entsteht ein Farbspektrum

2.4 Optische Instrumente

Die Schusterkugel

Historisch hatte die Schusterkugel vor allem für Handwerker eine große Bedeutung. In früheren Zeiten wurde dieser Aufbau benutzt, um das Licht einer Flamme an einer entfernten Stelle in einem hellen Lichtfleck zu bündeln, wo feine Arbeiten durchgeführt werden konnten (z.B. Nähen, deswegen der Name Schusterkugel).

Material:

- ✓ Kerze
- ✓ Rundkolben
- ✓ Wasser
- ✓ Weißer Abbildungsschirm

Aufbau:

Fülle den Rundkolben mit Wasser und stelle davor eine brennende Kerze auf. Ordne den Aufbau so an, dass das Kerzenlicht auf dem Schirm zu sehen ist. Entferne dich nun langsam mit dem Schirm von der Schusterkugel.



Abb. 23 Der Aufbau der Schusterkugel
(man beachte die Entfernung zur Wand)

Beobachtung:

Wenn du eine bestimmte Entfernung von der Schusterkugel hast, erscheint am Schirm ein scharfes, umgekehrtes Bild der Kerzenflamme.

Physikalischer Hintergrund:³

Die Schusterkugel spielt in diesem Experiment die Rolle einer Sammellinse. Mit Hilfe dieser Linse kann ein umgekehrtes Bild erzeugt werden. Dabei wird das gesamte, von einem Gegenstandspunkt auf die Linse fallende Lichtbündel wieder in einem Punkt, dem Bildpunkt, vereinigt. Diese Lichtbündelung führt auch zu einer Helligkeitsvergrößerung.

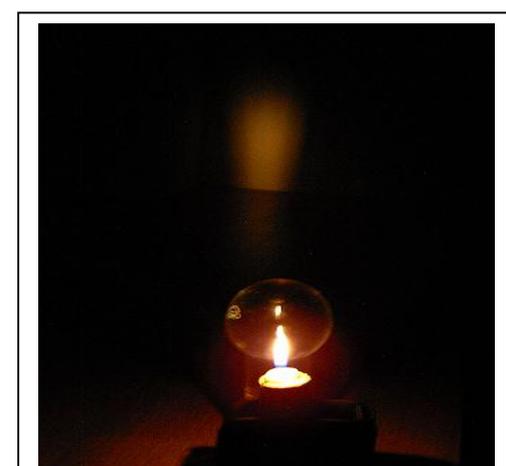


Abb. 24 An der Wand entsteht ein
sehr heller Lichtstreifen

³ Quelle: <http://www.uni-landau.de/~physik/fan/pdf/schusterkugel.pdf>

Die Lochkamera

Material:

- ✓ Dose
- ✓ Pergamentpapier
- ✓ Gummiring
- ✓ Taschenlampe
- ✓ Karton
- ✓ Schere

Aufbau:

Bohre in die Mitte des Bodens der Dose ein Loch von 0,5 cm bis 2 cm Durchmesser. Auf der anderen, offenen Seite der Dose befestigst du mit dem Gummiring das Pergamentpapier. Aus einem Stück Karton schneidest du einen Pfeil aus. Diesen beleuchtest du von hinten mit der Taschenlampe und stellst die Dose mit der gebohrten Öffnung in Richtung des Pfeils auf. Variiere dabei die Abstände Dose – Pfeil bzw. Lichtquelle – Pfeil.

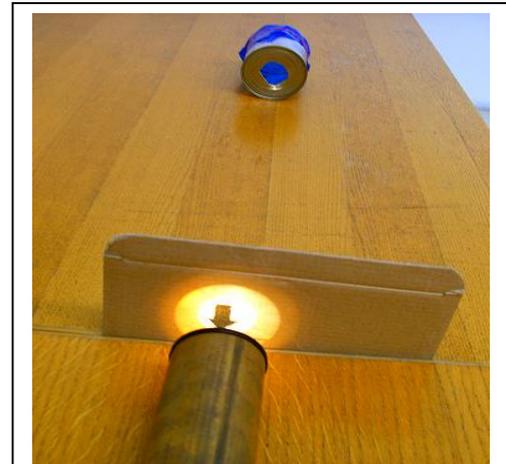


Abb. 25 Der Aufbau der Lochkamera

Beobachtung:

Auf dem Pergamentpapier erscheint das verkehrte Bild des Pfeils. Je weiter du von dem Objekt entfernt bist, desto größer wird das Bild auf dem Pergamentpapier, allerdings auch unschärfer.

Physikalischer Hintergrund:

Die Lochkamera erzeugt im dunklen Innenraum der Dose ein umgekehrtes Bild. Dieses wird umso schärfer, je kleiner das Loch im Boden der Dose ist, allerdings wird das Bild auch dunkler. Ist die Lochblende zu klein, so macht sich die Wellenlänge des Lichtes bemerkbar, die Beugung verschmiert die Bildkonturen.

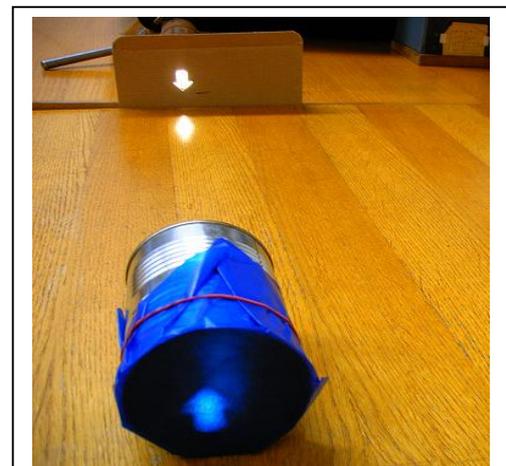
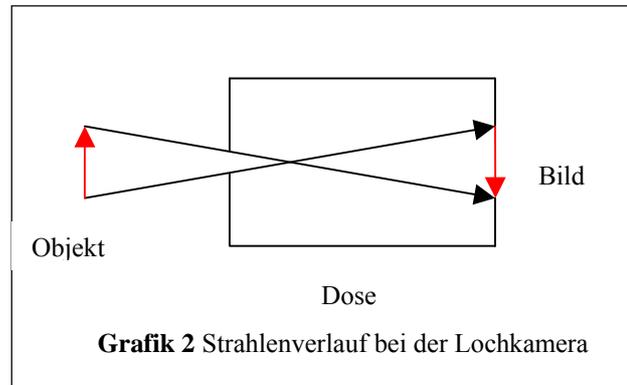


Abb. 26 Der Pfeil wird auf der Rückseite umgedreht abgebildet

Die Erklärung dieses Phänomens erfolgt mit Hilfe des Strahlengangs der Randstrahlen durch das Objekt.

Durch die geradlinige Ausbreitung der Lichtstrahlen wird, wie in der nebenstehenden Grafik angedeutet die Spitze des Pfeils auf dem Bildschirm (Pergamentpapier) unten abgebildet. Gleich verhält es sich mit dem Schaft des Pfeils, der oben abgebildet wird. Natürlich verlaufen geradlinige Lichtstrahlen an allen Punkten des Pfeils, diese, in der Grafik eingezeichneten sollen nur Repräsentanten darstellen.



Die Zylinderlinse

Material:

- ✓ 1 Blatt Papier
- ✓ Filzstift
- ✓ Plastikflasche
- ✓ Wasser

Aufbau:

Schreibe auf das Blatt Papier in die erste Zeile die Wörter „DER WALD“ und in die zweite Zeile die Wörter „DIE HEXE“. Fülle anschließend die Plastikflasche mit Wasser und betrachte die Wörter, in dem du durch die Plastikflasche schaust. Variiere den Abstand der Flasche zu den Wörtern bis ein einigermaßen scharfes Bild erscheint.



Abb. 27 Die Buchstaben werden umgedreht und die Zeilen vertauscht

Beobachtung:

Wenn du den richtigen Abstand gefunden hast, kannst du erkennen, dass die Wörter die „DIE HEXE“ lesbar sind. „DER WALD“ allerdings erscheint spiegelverkehrt. Außerdem werden die Wörter in umgekehrter Reihenfolge abgebildet.

Physikalischer Hintergrund:

Die mit Wasser gefüllte Flasche wirkt wie eine Linse. Sie erzeugt, wie die Linse unseres Auges, reelle, verkehrte Bilder. Dass die Wörter „DIE HEXE“ lesbar und die Wörter „DER WALD“ nicht lesbar sind, beruht darauf, dass erstere Buchstaben alle symmetrisch zu ihrer Mittellinie sind. Das heißt, dass ihr Spiegelbild, das entsteht, wenn man die Buchstaben um die Horizontale spiegelt, identisch mit dem vor der Spiegelung ist.

Die Vergrößerung eines der beiden Worte entsteht durch den verschiedenen Blickwinkel und die Wölbung der Plastikflasche.

Genau dasselbe geschieht auf der Netzhaut unserer Augen. Es entstehen verkehrte, reelle Bilder, die anschließend im Gehirn wieder umgedreht werden.

Die Lupe

Material:

- ✓ Marmeladenglas
- ✓ Buch
- ✓ Wasser

Aufbau:

Stelle das leere Marmeladenglas auf einen Tisch und fülle Wasser ein. Anschließend stellst du hinter das gefüllte Glas ein geöffnetes Buch und versuchst das Buch durch das Glas zu lesen. Sollte die Schrift nicht scharf genug sein, musst du den Abstand Glas – Buch verändern.

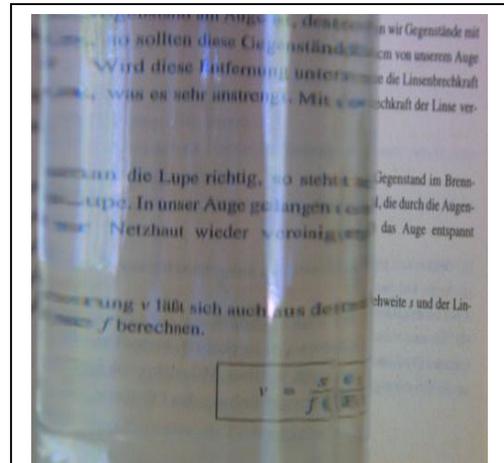


Abb. 28 Durch das Wasser erhält man einen Lupeneffekt

Beobachtung:

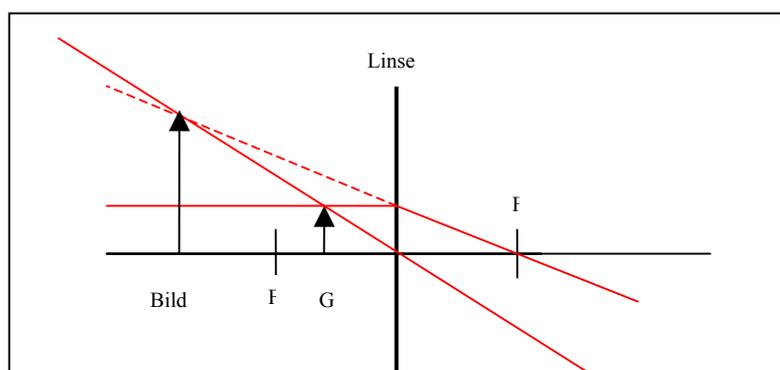
Wenn du den richtigen Abstand zwischen Buch und Glas gefunden hast, sollte die Schrift scharf und vergrößert sein.

Physikalischer Hintergrund:

Das mit Wasser gefüllte Marmeladenglas ist eine sehr einfache Lupe. Das Glas wirkt als Sammellinse und durch das Einfüllen des Wassers ändert sich die Brechung der Lichtstrahlen. Es entsteht ein virtuelles, vergrößertes Bild, wenn sich der betrachtete Gegenstand, in diesem Fall das Buch, innerhalb der Brennweite des Glases befindet. Deshalb muss der Abstand zwischen Marmeladenglas und Buch variiert werden.

Die Grafik zeigt den Strahlenverlauf eines Mittelpunktstrahls und Parallelstrahls, wenn sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite f befindet.

Befindet sich der Gegenstand genau in der Brennweite der Linse (in diesem Fall das Wasserglas) so ist kein Bild sichtbar, da die Strahlen von der Linse als parallele Strahlen gebrochen werden.



Grafik 3 Befindet sich der Gegenstand G innerhalb der Brennweite der Linse entsteht ein vergrößertes, virtuelles Bild

Das Mikroskop

Material:

- ✓ 2 Sammellinsen
- ✓ Gegenstand (Pfeil)
- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Beleuchte den Gegenstand von vorne und baue die erste Linse hinter dem Gegenstand so auf, dass sich der Gegenstand nur wenig außerhalb der Brennweite der Linse befindet. Die zweite Linse platzierst du hinter der ersten. Danach variierst du den Abstand der Linsen zueinander und blickst durch die zweite Linse bis ein scharfes Bild entsteht.



Abb. 29 Der vereinfachte Aufbau eines Mikroskops mit 2 Linsen

Beobachtung:

Wenn du den richtigen Abstand gefunden hast, kannst du ein vergrößertes Bild wahrnehmen, das umgekehrt erscheint.

Physikalischer Hintergrund:

Das Mikroskop vergrößert einen Gegenstand in zwei Schritten. Die dem Objekt (Pfeil) zugewandte Linse heißt Objektiv. Dieses entwirft ein vergrößertes, reelles und umgekehrtes Zwischenbild. Dieses Zwischenbild wird von der, dem Auge zugewandten Linse – Okular genannt – wie mit einer Lupe betrachtet. Das heißt, dass sich das vom Objektiv erzeugte Zwischenbild innerhalb der Brennweite der zweiten Linse befinden muss. Das Bild des Gegenstandes ist also vergrößert, virtuell und umgekehrt. Die Vergrößerung beim Mikroskop ist wesentlich stärker als jene bei der Lupe, da nun zwei Linsen kombiniert werden (multiplikativ).

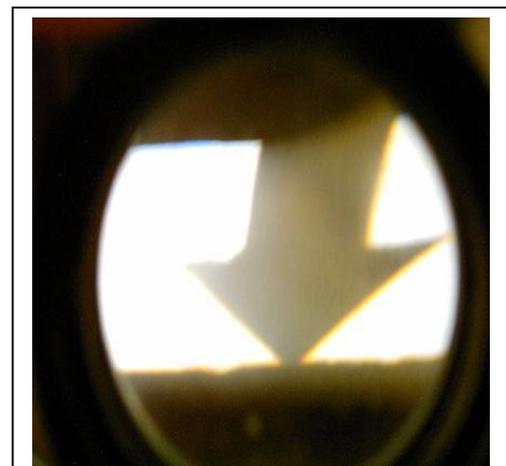


Abb. 30 Durch die Lupe erhält man ein vergrößertes, umgekehrtes, virtuelles Bild

Grafik 4 zeigt den Strahlenverlauf beim Mikroskop.⁴

Dieser beruht auf dem Fermatschen Prinzip, welches besagt, dass der vom Licht zurückgelegte Weg stets so gewählt wird, dass dieses von einem Gegenstandspunkt zu einem Bildpunkt die kürzeste Zeit benötigt.

Die Gesamtvergrößerung V eines Mikroskops ist das Produkt zwischen der Vergrößerung des Objektivs V_{ob} und der Vergrößerung des Okulars V_{ok} .

$$V = V_{ob} \cdot V_{ok} = \frac{l \cdot s_0}{f_{ob} \cdot f_{ok}} \quad (3)$$

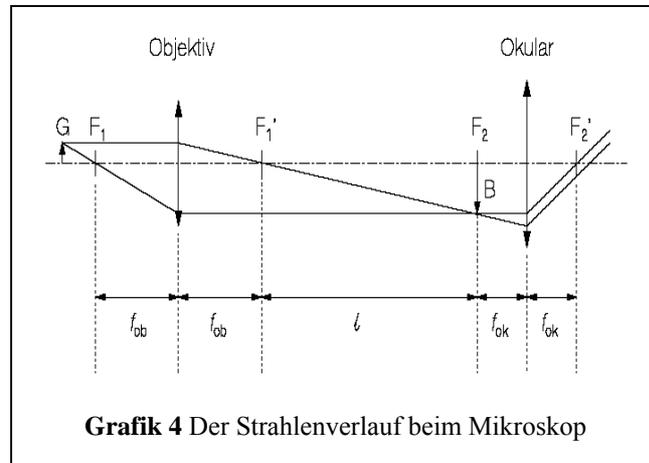
wobei

l Tubuslänge (Abstand Objektivbrennebene – Okularbrennebene)

s_0 deutliche Sehweite

f_{ok} Okularbrennweite

f_{ob} Objektivbrennweite



⁴ Quelle: <http://www.physik.uni-regensburg.de/studium/praktika/b1/OptischeGeraete.pdf>

Der Diaprojektor

Material:

- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Gegenstand (Pfeil)
- ✓ 2 Sammellinsen
- ✓ Bikonvexlinse
- ✓ Weiße Wand (Schirm)

Aufbau:

Stelle die Anordnung Experimentierleuchte, Sammellinse und Gegenstand in der gegebenen Reihenfolge auf und achte darauf, dass das Dia (Pfeil) komplett ausgeleuchtet wird. Anschließend gibst du hinter das beleuchtete Dia eine weitere Sammellinse (Objektiv) und beleuchtest eine Wand. Variiere dabei den Abstand des Objektivs zum Dia bis ein scharfes Bild entsteht.

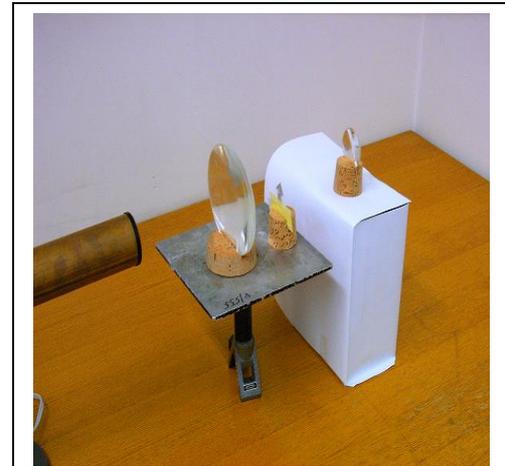


Abb. 31 Der vereinfachte Aufbau eines Diaprojektors

Beobachtung:

Wenn du den richtigen Abstand zwischen Objektiv und Wand gefunden hast, wirst du ein vergrößertes, verkehrtes und reelles Bild des Gegenstandes erkennen.

Physikalischer Hintergrund:

Durch die Anordnung der Sammellinse (Kondensorlinse) vor dem Dia entstehen parallele Lichtstrahlen, welche die Aufgabe haben das Dia gleichmäßig und komplett auszuleuchten.

Das Objekt befindet sich zwischen einfacher und doppelter Brennweite des Objektivs. Aus dem Strahlengang, der ausgehend vom Gegenstand, durch das Objektiv und schließlich auf dem Wand endet, ist leicht zu erkennen, welches Bild entsteht.

Da die Bildweite von der Gegenstandsweite abhängt, kann der Abstand Objekt – Objektiv zur Scharfstellung des Bildes verändert werden.

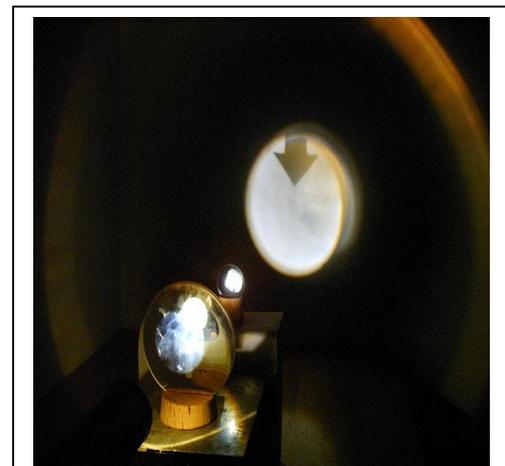


Abb. 32 Der Diaprojektor erzeugt ein vergrößertes, verkehrtes, reelles Bild

Das Teleskop

Material:

- ✓ 2 Taschenspiegel (Schminkspiegel)
- ✓ Lupe
- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Dia mit Motiv (Pfeil)

Aufbau:

Stelle die Experimentierleuchte stabil auf einen Tisch und befestige an der Vorderseite ein Dia mit einem Motiv. Achte darauf, dass der restliche Teil des Raumes dunkel ist.

Anschließend stellst du den ersten Spiegel so auf, dass die reflektierende Seite in Richtung des Motivs schaut. Platziere den zweiten Spiegel so, dass das reflektierte Motiv des ersten Spiegels im zweiten zu sehen ist. Anschließend blickst du durch die Lupe auf das Bild im zweiten Spiegel.



Abb. 33 Der vereinfachte Aufbau eines Teleskops mit Spiegeln und einer Lupe

Beobachtung:

Wenn du die Lupe richtig platziert hast, erscheint das Motiv jetzt deutlich größer und näher.

Physikalischer Hintergrund:

Das Licht der Experimentierleuchte wird durch den ersten Spiegel laut Reflexionsgesetz auf den zweiten Spiegel und von dort weiter in Richtung der Lupe reflektiert. Kurz gesagt, der Lichtstrahl wird einfach umgelenkt. Befindet sich nun das Motiv des Dias innerhalb der Brennweite der Lupe (Sammellinse), so wird das Bild vergrößert.

Dies ist eine sehr einfache Konstruktion eines Teleskops. In Wirklichkeit wird in Teleskopen ein Wölbspiegel verwendet, der das einfallende Licht (zum Beispiel des Mondes) auf einen weiteren Spiegel reflektiert. Von dort wird das Licht auf eine Lupe umgelenkt.

Aufbau eines Fotoapparates

Material:

- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Sammellinse
- ✓ Karton
- ✓ Schere
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Schneide aus einem Karton einen kleinen Pfeil aus und beleuchte diesen mit der Experimentierleuchte. Hinter den beleuchteten Pfeil stellst du eine Sammellinse, und richtest den gesamten Aufbau gegen eine weiße Wand. Variiere den Abstand der Sammellinse zum Gegenstand (Pfeil).



Abb. 34 Der Aufbau eines Fotoapparates

Beobachtung:

Wenn du den richtigen Abstand gewählt hast, erscheint der Pfeil an der Wand wieder, allerdings verkleinert und umgedreht.

Physikalischer Hintergrund:

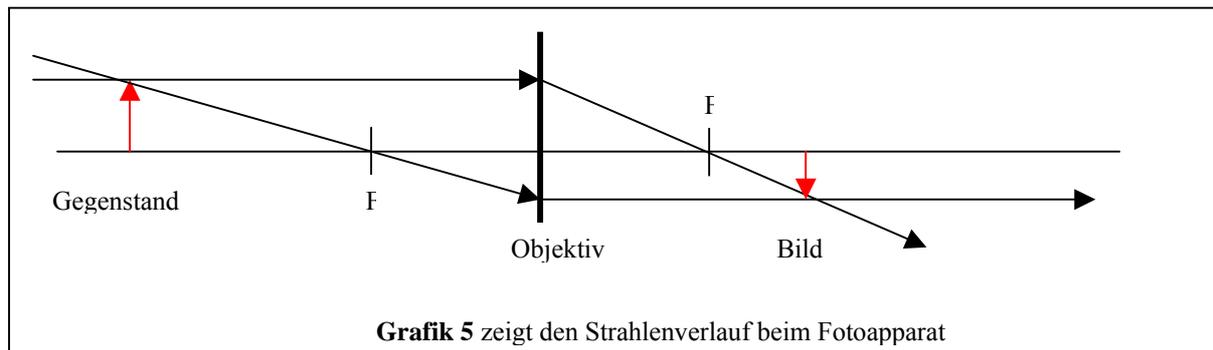
Diese Kamera, im Gegensatz zur Lochkamera, entwirft ein verkleinertes und reelles Bild, das durch das Objektiv (Linse, die das Objekt abbildet) zustande kommt. Der Gegenstand wird genau in der Bildebene abgebildet, wo sich ein Bildspeicher befindet, also ein photographischer Film oder wie heute üblich ein elektronisches Speicherelement.

Der Gegenstand befindet sich außerhalb der doppelten Brennweite des Objektivs und wird innerhalb der einfachen und doppelten Brennweite abgebildet. Da die Bildweite, das ist der Abstand Bild – Objektiv, von der Gegenstandsweite (Abstand Gegenstand – Objektiv) abhängt, kann der Abstand Objektiv – Bildspeicher verändert werden.



Abb. 35 Das entstehende Bild wird verkleinert und umgedreht

Auch die Funktionsweise des Fotoapparates beruht auf dem Fermatschen Prinzip, wie schon auf Seite 26 erwähnt.



Auch das menschliche Auge ist nichts anderes als ein Fotoapparat. Durch die Augenlinse und die Pupille dringen Lichtstrahlen ein, die auf der Netzhaut ein verkehrtes Bild eines beobachteten Gegenstandes erzeugen. Im Gehirn wird das Bild dann wieder umgedreht.

Erst durch die Augenlinse ist das Scharfsehen möglich, weil durch die Muskulatur des Auges die Form und somit Brechkraft der Linse verändert werden kann (Akkommodation).

(3) Wellenoptik

3.1 Beugung

Unter dem Begriff Beugung versteht man das Eintreten einer Welle in den geometrischen Schattenraum. Dies ist der Bereich hinter einem Hindernis, der von geradlinigen Wellenstrahlen nicht erreicht werden kann.

Ist das Hindernis, zum Beispiel ein Spalt, viel größer als die Wellenlänge, so breitet sich die Welle nach dem Durchgang geradlinig aus. Erst wenn der Spalt in der Größenordnung der Wellenlänge vorliegt, breitet sich die Welle in den geometrischen Schattenraum aus.

Beugung am Spalt

Material:

- ✓ Schiebelehre
- ✓ Taschenlampe
- ✓ Bücher
- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Stelle die Schiebelehre so ein, dass ein Spalt in der Größenordnung von einem Zehntel Millimeter entsteht. Beleuchte den Spalt und decke die freibleibenden Bereiche um den Spalt mit Büchern ab. Stelle nun den Lichtstrahl so ein, dass du an der Wand ein Beugungsmuster erkennen kannst.



Abb. 36 Der Aufbau für das Experiment
Beugung am Spalt

Beobachtung:

Beim Durchgang des Lichtes durch den Spalt der Schiebelehre kannst du drei vertikale Lichtstreifen beobachten.

Physikalischer Hintergrund:

Aufgrund des kleinen Spaltes, der die Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes hat, tritt das Licht in den geometrischen Schattenraum ein. Es gilt das Huygensschen Prinzip, welches besagt, dass jeder Punkt der von einer Welle erfasst wird, Ausgangspunkt einer Elementarwelle ist, die sich nach allen Richtungen kreis- bzw. kugelförmig ausbreitet und dass sich alle Elementarwellen zur beobachtbaren Welle überlagern. An Stelle eines Lichtpunktes sind also mehrere Lichtpunkte oder Lichtstreifen zu sehen.

Der Lichtstreifen in der Mitte entspricht dem Beugungsmaximum 0. Ordnung, jene links und rechts davon entsprechen den Maxima 1. Ordnung. Die Maxima werden von der Mitte ausgehend nach beiden Richtungen immer schwächer. Dieser Effekt war bildlich nicht festzuhalten, ist aber bei richtiger Durchführung des Versuchs eindeutig festzustellen.

Die dunklen Streifen zwischen den Maxima stellen die Beugungsminima dar.

Das Auftreten von Beugungsmaxima der Ordnung m kann mit Hilfe folgender Formel beschrieben werden:

$$a \sin(\theta) = m\lambda$$

(4)

wobei:

a Spaltbreite

λ Wellenlänge

θ Winkel zwischen Maximum m -ter und nullter Ordnung

$m = 1, 2, 3, 4, \dots$

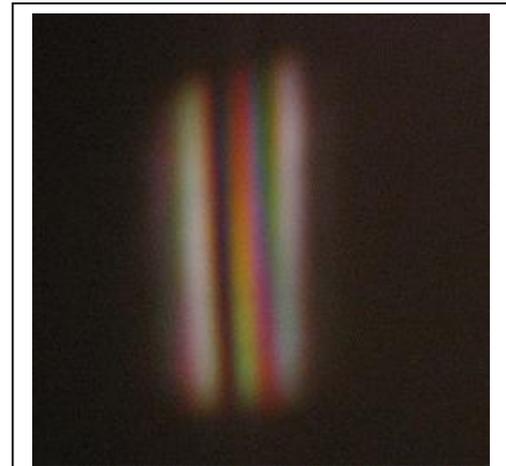


Abb. 37 Die hellen Linien stellen die Beugungsmaxima bei Beugung am Spalt dar

Beugung an Wassertröpfchen

Material:

- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Sammellinse
- ✓ Wasserzerstäuber
- ✓ Wasser

Aufbau:

Die Experimentierleuchte soll so aufgebaut werden, dass das Licht auf die Sammellinse fällt. Anschließend befüllst du den Zerstäuber mit Wasser und sprühst in den Lichtstrahl, der durch die Sammellinse erzeugt wird.

Beobachtung:

Durch das Besprühen des Lichtstrahls mit Wasser wird ein Regenbogen sichtbar.

Physikalischer Hintergrund:⁵

Wird eine Regenwand von der unverhüllten Sonne beschienen und blickt man mit dem Rücken gegen die Sonne gewendet nach der Regenwand, so kann man einen Regenbogen beobachten. Die Lichtstrahlen treten in die Wassertröpfchen ein, werden an ihrer Rückseite ein- oder zweimal reflektiert und beim Austritt in die Spektralfarben zerlegt. Jene Strahlen, die nur einmal reflektiert werden, bilden den so genannten Hauptregenbogen, der Nebenregenbogen entsteht durch zweimalige Reflexion und anschließender Spektralzerlegung. Die Intensität des Nebenregenbogens ist wegen der zweimaligen Reflexion schwächer. Gelegentlich kann man innerhalb des Hauptregenbogens noch allmählich verblassende, rötliche und grünliche Ringe beobachten, die man als sekundäre Regenbögen bezeichnet. Diese und die Tatsache, dass die Farbfolge im Einzelnen bei jedem Regenbogen etwas anders ist, deuten darauf hin, dass neben der Dispersionserscheinung auch noch Interferenzeffekte hinzukommen, die zum Teil durch Beugung zwischen den Wassertröpfchen entstehen.



Abb. 38 Das Bild zeigt den Regenbogen, der durch die Flüssigkeitstropfen des Geysirs entsteht

⁵ Bild nach Dr. Sebastian Brunner

Beugung am Gitter

Material:

- ✓ Kerze
- ✓ Nylonstrumpfhose
- ✓ Schere

Aufbau:

Zerschneide die Strumpfhose so, dass du sie dir nachher leicht über den Kopf stülpen kannst. Mache am oberen Ende der Strumpfhose einen Knoten und ziehe dir die fertige Maske über den Kopf. Blicke nun in die Flamme der Kerze.



Abb. 39 Um die Kerzenflamme entstehen konzentrische Farbkreise

Beobachtung:

Sobald du die Maske aufgesetzt hast, siehst du die Welt aus einer ganz neuen Perspektive. Betrachtetst du die brennende Kerze, siehst du um die Flamme herum konzentrische Farbkreise.

Physikalischer Hintergrund:

Die Flamme des Kerzenlichtes gibt weißes Licht ab, das heißt es sind alle Wellenlängen des Spektrums vorhanden. Die Strumpfhose hat die Funktion eines Beugungsgitters. Je nach Wellenlänge des Lichtes werden die Lichtwellen unterschiedlich gebeugt. Da alle Gitterpunkte eine neue Lichtwelle aussenden, zwei benachbarte Gitterpunkte aber zueinander zeitlich verzögerte Wellen aussenden kommt es zu Interferenz. Aus diesem Grund entsteht ein kreisförmiges Spektralbild um die Flamme herum.

Die dunklen Stellen kommen durch die Überlagerung zweier Wellen zustande, deren Wegunterschied ein ungerades Vielfaches der Wellenlänge beträgt. Es kommt zur Auslöschung der beiden Wellen. Beträgt der Wegunterschied ein gerades Vielfaches der Wellenlänge, so kommt es zur Überlagerung der beiden Wellen, die als helle Stelle zu sehen ist.

CD als Beugungsgitter

Material:

- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ CD - Rohling
- ✓ 2 Bücher

Aufbau:

Stelle die zwei Bücher vor der Experimentierleuchte so auf, dass zwischen ihnen ein kleiner Spalt frei bleibt. Der Abstand zwischen den Büchern muss so variiert werden, dass das Licht annähernd gerade auf die Bücher fällt. Halte anschließend einen CD - Rohling in das Licht hinter den Büchern und zwar so, dass der Rand der CD vom Licht beleuchtet wird, und das reflektierte Licht auf der Rückseite der Bücher oder auf der Wand gesehen werden kann.

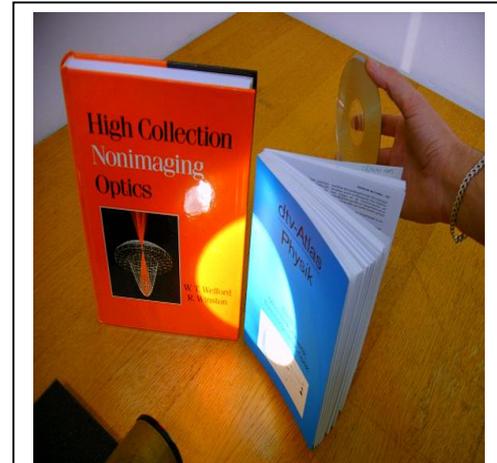


Abb. 40 Durch diesen Aufbau kann ein schönes Interferenzspektrum gezeigt werden

Beobachtung:

Das Licht, das auf die Oberfläche der CD auftrifft, wird wieder reflektiert. Du siehst eine einfarbige und eine bunte Stelle auf der Wand.

Physikalischer Hintergrund:

Die auf einer CD vorhandene Musik ist in Form von kleinen Gruben gespeichert. Der Abstand zweier solcher Spuren beträgt wenige Wellenlängen des sichtbaren Lichtes, deshalb sind sie mit freiem Auge nicht sichtbar.

Es handelt sich also um ein Beugungsgitter, auf dessen Oberfläche das Licht senkrecht auffällt.

Jede dieser kleinen Gruben sendet eine Kugelwelle aus, die anschließend interferieren und als bunte Stelle auf der Wand zu sehen sind.

Die helle Stelle kommt durch Reflexion des Lichtes an der Plastikoberfläche der CD zustande.

Je nach Neigungswinkel der CD, verändern sich der weiße Lichtstreifen und auch das Farbspektrum.

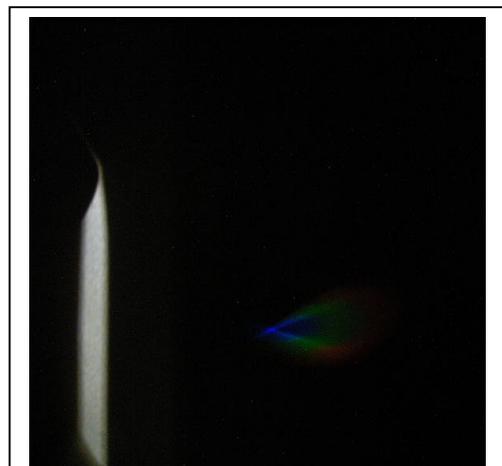


Abb. 41 Das ellipsenförmige Farbspektrum (rechts) entsteht durch Interferenz

3.2 Interferenz

Schon in den bisherigen Versuchen ist öfter das Wort Interferenz aufgetaucht. Als Interferenz bezeichnet man die Überlagerung zweier Wellen (Fresnelsches Prinzip). Sie kann sowohl konstruktiv (Wellenberg/-tal trifft auf Wellenberg/-tal) erfolgen, als auch destruktiv (Wellenberg/-tal trifft auf Wellental/-berg). Im Falle der konstruktiven Interferenz werden die Amplituden der beiden ausgehenden Wellen verstärkt, im destruktiven Fall kommt es zur Auslöschung der beiden Wellen, weil sich die Amplituden aufheben.

Wie schon vorher erwähnt ist die Interferenz auch mit der Beugung verbunden.

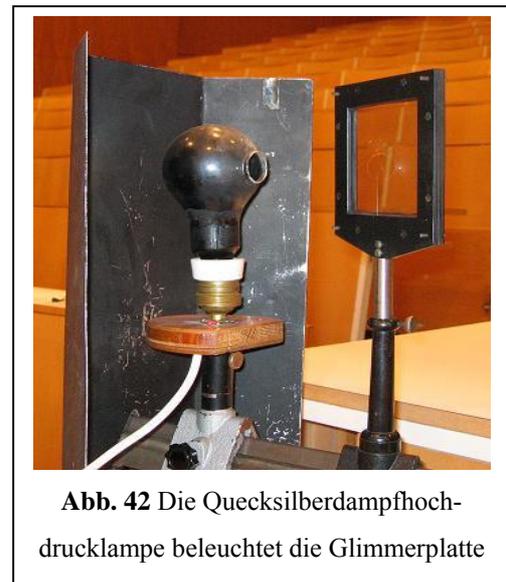
Interferenzversuch nach Pohl

Material:

- ✓ Glimmerplatte
- ✓ Quecksilberdampfhochdrucklampe
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

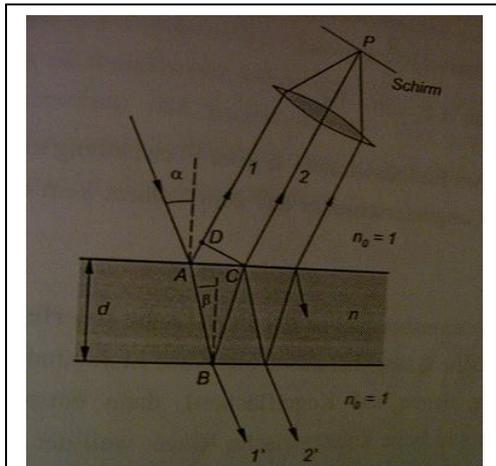
Schalte die Quecksilberdampfhochdrucklampe mit den entsprechenden Vorschaltgeräten ein und halte mit dem Stativ eine dünne Glimmerplatte etwa 10 cm vor die Lampe. Stelle dich hinter die Lampe und beobachte das reflektierte Licht der Glimmerplatte auf der nicht weit entfernten Wand.



Beobachtung:

Wenn du dich hinter der Lampe befindest, siehst du in dem von der Glimmerplatte reflektierten Licht ein System von hellen und dunklen Streifen.

Physikalischer Hintergrund:⁶



Grafik 6 Beobachtung von Interferenzen gleicher Neigung

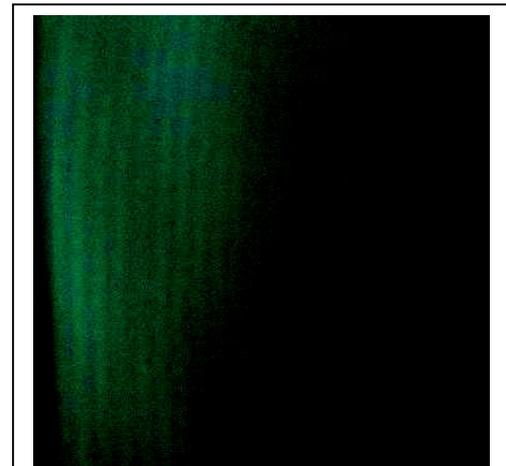


Abb. 43 Aufgrund des Gangunterschiedes entstehen Interferenzstreifen

Interferenzen gleicher Neigung nennt sich das Prinzip, das hinter diesem Experiment steht. Darunter versteht man Interferenzmuster, die an dünnen Schichten konstanter Dicke auftreten, wenn Licht unter verschiedenen Neigungswinkeln auftritt. Für alle Strahlen, die unter dem gleichen Neigungswinkel einfallen, ergibt sich das gleiche Resultat bezüglich ihrer Interferenz.

Die Quecksilberdampfhochdrucklampe sendet Licht aus, sodass bei der Reflexion an der Glimmerplatte an der Vorder- und Rückseite virtuelle, kohärente Lichtquellen entstehen. Diese entstehen, weil einfallende Lichtstrahlen an der oberen Grenzfläche aufgespaltet, das heißt teilweise reflektiert und gebrochen, werden. Mit dem gebrochenen Anteil geschieht dasselbe an der unteren Grenzfläche. Der hier reflektierte Lichtanteil wird an der oberen Grenzfläche wieder aufgespaltet usw. Von diesen Lichtquellen gehen Lichtwellen aus, die wegen der verschiedenen langen optischen Wege Gangunterschiede aufweisen und deshalb interferieren.

Die hellen Streifen entstehen durch konstruktive Interferenz, bei der sich zwei Lichtstrahlen zu einem energiereicheren Lichtstrahl überlagern. Bei der destruktiven Interferenz überlagern sich ebenfalls zwei Lichtstrahlen, es kommt allerdings zur Auslöschung.

⁶ Grafik 6 nach [8], Seite 245

Newton – Ringe

Material:

- ✓ 2 dünne Glasscheiben
- ✓ Spiritus
- ✓ Tuch zum Reinigen
- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Reinige die beiden Glasscheiben mit Spiritus und lege sie übereinander, so dass sie sich knapp überlappen.

Schiebe anschließend die beiden Glasplatten übereinander und drücke sie kräftig zusammen.

Halte nun die Glasscheiben gegen die eingeschaltete Experimentierleuchte und beobachte im Dunkeln.

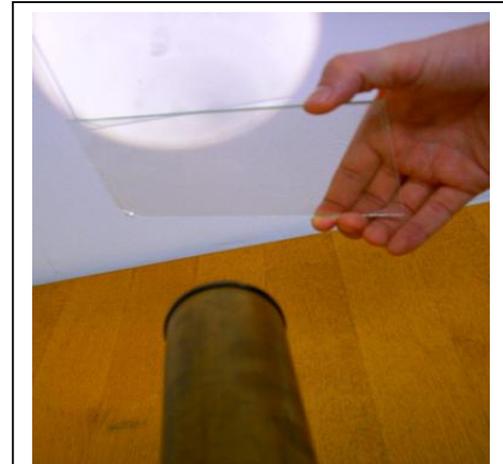


Abb. 44 So sieht die Durchführung des Experiments aus

Beobachtung:

Wenn du die Glasscheiben unter dem richtigen Winkel gegen den hellen Gegenstand hältst, kannst du ringförmige, gefärbte Gebilde auf der Wand beobachten, die ähnlich den Newtonschen Ringen sind.

Physikalischer Hintergrund:

Zwischen den Glasplatten befindet sich eine sehr dünne Luftschicht. Zwischen den Grenzschichten Glas – Luft und Luft – Glas wird das Licht gebrochen bzw. reflektiert. Der reflektierte Anteil ist allerdings viel schwächer als der gebrochene.

Zwischen den Wellen besteht ein Wegunterschied, der Interferenz möglich macht.

Da die Luftschicht zwischen den Glasplatten nicht überall gleich dick ist, treten unterschiedliche Wegunterschiede auf, die dann zu den ringförmigen, farbigen Interferenzerscheinungen beitragen.

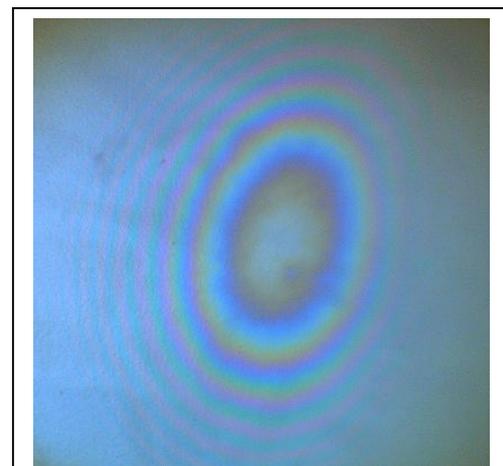


Abb. 45 Auf der Wand sind konzentrische Farbkreise zu erkennen

Seifenlamelle

Material:

- ✓ Seifenwasser
- ✓ Geschlossener Kupferdraht ($d = \text{ca. } 3 \text{ cm}$)
- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Event. Sammellinse
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Halte den Kupferdraht in das Seifenwasser und ziehe ihn vorsichtig wieder heraus. Der Draht sollte nun mit einer Lamelle überzogen. Beleuchte die leicht schräg stehende Seifenlamelle mit der Experimentierleuchte und gib eine Sammellinse dahinter. Variiere den Abstand der Sammellinse zur Seifenlamelle bis du an der Wand ein Interferenzmuster sehen kannst.

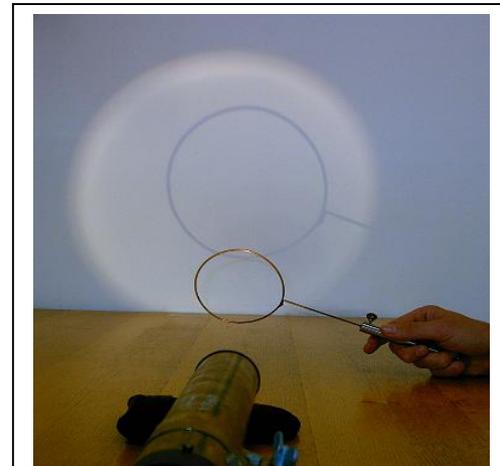


Abb. 46 Durch diesen Aufbau kann ein Interferenzmuster erzeugt werden

Beobachtung:

Du kannst waagrechte Interferenzstreifen gleicher Dicke beobachten mit unterschiedlichen Farben. Die Übergänge zwischen den Farben können kontinuierlich oder sprunghaft erfolgen.

Physikalischer Hintergrund:

An der Seifenhaut tritt beim Durchgang des Lichtes unterschiedliche Brechung und folglich Interferenz auf. Die unterschiedliche Brechung kann auf die verschiedenen Dicken der Seifenhaut zurückgeführt werden.

Wird die Seifenlamelle schräg gehalten, wird die Seifenhaut nach unten auf Grund der Schwerkraft kontinuierlich dicker.

Scharfe Farbgrößen deuten darauf hin, dass die Seifenschicht an diesen Stellen ihre Dicke sprunghaft ändert. An den dünnsten Schichten schimmert die Schicht bläulich, die in eine scharf abgegrenzte schwarze Zone übergeht. Diese

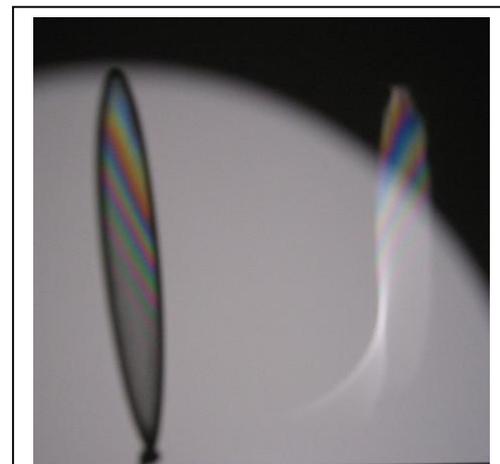


Abb. 47 Auf der Wand sind Interferenzmuster zu sehen

kommt zustande, weil die Seifenhaut an gewissen Stellen so dünn ist, dass der Weg im Medium vernachlässigbar klein wird und es zur Auslöschung kommt. Außerdem entsteht auch durch die Reflexion ein Interferenzmuster.

Rezept zur Herstellung einer Seifenblasenlösung:

Am einfachsten ist es sicher, eine kommerzielle Seifenblasenlösung zu benutzen oder einfach etwas Spülmittel in Wasser zu lösen. Letzteres funktioniert aber wahrscheinlich nicht so gut wie erwartet, da einige Tricks nötig sind, um eine gute Seifenblasenlösung herzustellen.

An dieser Stelle sei eine Möglichkeit angeführt eine gute Seifenblasenlösung herzustellen.

Man vermische 50% Wasser mit 40% Glyzerin und 10% Spülmittel. Die so entstehende Seifenblasenlösung eignet sich gut, um das Experiment durchzuführen, da die Seifenlamelle relativ lange haltbar ist.

3.3 Farbmischung

Additive Farbmischung

Material:

- ✓ 3 Taschenlampen
- ✓ Transparentpapier in den Farben rot, grün, blau
- ✓ 3 Gummiringe
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Befestige an jeder Taschenlampe eine Farbe des Transparentpapiers und beleuchte mit allen dreien eine weiße Wand.



Abb. 48 Jede Lampe leuchtet in ihrer spezifischen Farbe

Beobachtung:

Jede einzelne Taschenlampe leuchtet in der an ihr befestigten Farbe des Transparentpapiers. Wird eine Stelle der Wand mit allen drei Taschenlampen beleuchtet, so erscheint diese Stelle weiß.

Du kannst sogar Mischfarben wie Gelb, Magenta oder Cyan beobachten.

Physikalischer Hintergrund:

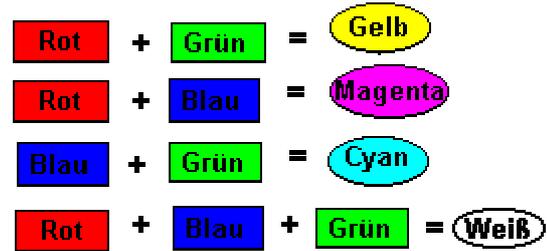
Additive Farbmischung entsteht grundsätzlich dadurch, dass die zeitliche oder räumliche Auflösung der Farbrezeptoren in den Augen nicht dafür ausreicht, die unterschiedlichen Farben getrennt wahrzunehmen.

Bei diesem Versuch addieren sich zwei oder mehr Farbeindrücke unmittelbar und deshalb spricht man bei dieser Technik von einer additiven Farbmischung. Diese Farbmischtechnik beruht darauf, dass jeweils die gleiche Netzhautstelle, nämlich jene, auf die der runde Fleck an der Wand abgebildet wird, gleichzeitig die Strahlungen der Bildwerfer nach Remission an der Wand zugeführt erhält.



Abb. 49 Die Mischung der Farben ergibt weiß

Besitzen in diesem Versuch die Grundfarben rot, grün und blau dieselbe Intensität, ergibt deren Mischung weiß. An den Schnittflächen zweier Farben entstehen jeweils andere Mischfarben. Je nach der Intensität, mit der die Grundfarben ausgestrahlt werden, ergeben sich die restlichen Farben als Mischungen.



Grafik 7 zeigt die Mischung der Grundfarben und deren resultierende Mischfarben

Aus bunt entsteht weiß

Material:

- ✓ Karton (ca. 20 x 20 cm)
- ✓ Bleistift
- ✓ Zirkel
- ✓ Geodreieck
- ✓ Schere
- ✓ Klebstoff
- ✓ Papier in den Farben: gelb, orange, rot, hellgrün, dunkelgrün, hellblau, dunkelblau, violett

Aufbau:

Zeichne mit dem Zirkel einen Kreis mit Radius $r = 10 \text{ cm}$ auf den Karton und schneide ihn aus. Danach unterteilst du den Kreis, wie in der Abbildung gezeigt, in Kreissektoren, deren Winkel und zugehörige Farbe gegeben sind durch: rot 17° , orange 33° , gelb 30° , hellgrün 55° , dunkelgrün 82° , hellblau 66° , dunkelblau 56° , violett 21° .

Schneide anschließend aus dem färbigen Papier die Kreissektoren in der angegebenen Größe aus und klebe sie in der Reihenfolge auf die Kartonscheibe.

Bohre mit Hilfe des Bleistiftes ein Loch in die Mitte der Kreisscheibe, steck den Bleistift durch und lass die Scheibe rotieren.



Abb. 50 Wenn sich der Kreisel nicht dreht sind die einzelnen Farben getrennt sichtbar

Beobachtung:

Durch die Rotation wird die ursprünglich gefärbte Kreisscheibe hellgrau erscheinen.

Physikalischer Hintergrund.

Wird der Kreisel schnell genug gedreht, übersteigt die Rotationsgeschwindigkeit die Trägheit der Augen. Das heißt, dass das menschliche Auge nicht mehr im Stande ist die einzelnen Farben zu unterscheiden. Sie werden zu einer Mischfarbe addiert. Die entstehende „Farbe“ ist weiß, die aus allen anderen in der Natur vorkommenden Farben besteht. Deshalb darf weiß nicht als Farbe bezeichnet werden.



Abb. 51 Rotiert der Kreisel, erscheint er am Rand annähernd weiß

Wird der Kreisel nicht schnell genug gedreht, erscheint nur der Rand weiß, während in der Mitte noch Mischfarben erkennbar sind. Das liegt daran, weil sich Punkte am Rand des Kreisels schneller drehen als Punkte die nahe am Drehzentrum liegen. Je weiter man sich vom Drehzentrum des Kreisels entfernt, desto weitere Wege müssen in derselben Zeit zurückgelegt werden. Dies führt unwillkürlich zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit. Das heißt, dass die Rotationsgeschwindigkeit am Rand des Kreisels die Trägheit der Augen überschreitet, während nahe am Rotationszentrum die Rotationsgeschwindigkeit niedriger ist und deshalb die Farben noch unterschieden werden können.

Subtraktive Farbmischung

Material:

- ✓ Blatt Papier
- ✓ Farbstifte in den Farben türkis(cyan),
purpur (magenta), gelb

Aufbau:

Male auf das Blatt Papier drei Kreise in den Farben türkis, purpur, und gelb, die sich überschneiden und betrachte die Mischfarben.

Beobachtung:

Die Mitte, die Überlappung der drei Farben, erscheint schwarz, wenn die einzelnen Farbkomponenten zu gleichen Teilen gemischt werden.

Physikalischer Hintergrund:

Im Gegensatz zur additiven Farbmischung tritt die subtraktive Farbmischung dann auf, wenn nicht-selbstleuchtende Körper den Farbeindruck hervorrufen, zum Beispiel Mal- oder Druckfarben. Bei der subtraktiven Farbmischung entsteht die Farbe, in dem man Pigmente miteinander vermischt oder farbige Filter hintereinander schaltet.

Ein Rotfilter beispielsweise hat die Eigenschaft, dass er die Grundfarben grün und blau absorbiert, die rote Komponente allerdings durchlässt. Wird hinter den Rotfilter ein Grünfilter gegeben, erscheint Dunkelheit, weil das grüne Licht schon vom Rotfilter absorbiert wurde und das rote anschließend vom Grünfilter absorbiert wird.

Eine rote Autokarosserie beispielsweise entsteht dadurch, dass von dem auffallenden weißen Licht alle Komponenten außer dem Rotanteil absorbiert werden.

Ein mögliches System von Grundfarben für die subtraktive Farbmischung stellt das CMY – System (Cyan, Magenta, Yellow) dar. Hier werden Filter eingesetzt, die gerade die Farben rot, grün und blau wegnehmen und das Licht der Komplementärfarben passieren lassen.



Abb. 52 Ein mögliches System von Grundfarben bei der subtraktiven Farbmischung

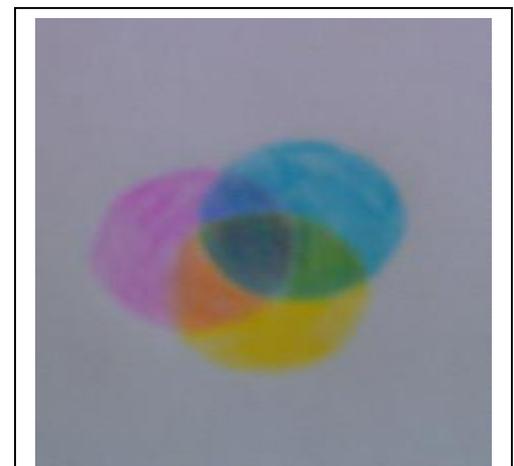
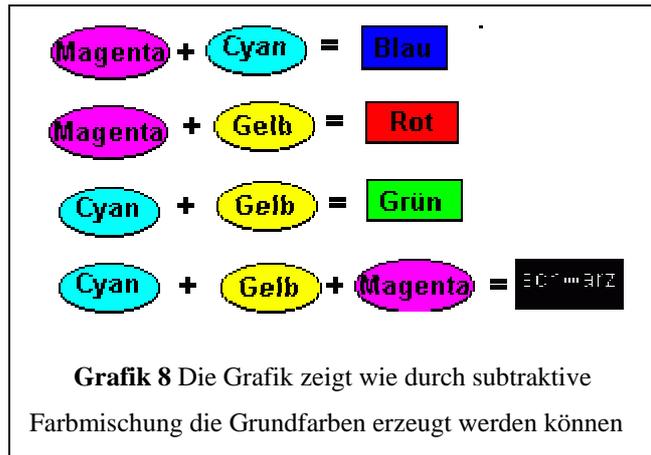


Abb. 53 Die Mitte erscheint annähernd Schwarz, außen entstehen die additiven Grundfarben

Die Mischfarben der subtraktiven Farbmischung sind immer dunkler als die Ausgangsfarben, da dem Licht immer mehr Farbe entzogen wird. Das Mischen aller subtraktiven Primärfarben bringt schwarz hervor.

Mischt man zwei subtraktive Grundfarben zu gleichen Teilen, so erhält man immer eine additive Grundfarbe.



Grafik 8 Die Grafik zeigt wie durch subtraktive Farbmischung die Grundfarben erzeugt werden können

Wenn die richtigen Intensitäten der Farben verwendet werden, erscheint die Mitte wirklich schwarz, nur ist das sehr schwer zu realisieren.

Farbzerlegung – Chromatographie

Material:

- ✓ 1 Kaffeefilter
- ✓ 1 Glas
- ✓ Essigwasser
- ✓ Schere
- ✓ Filzstifte (verschiedenfarbig)

Aufbau:

Schneide mit Hilfe der Schere aus einem Kaffeefilter einen Streifen (ca. 4 x 10 cm). Male mit den Filzstiften ungefähr 3 cm unterhalb des Streifenendes vier verschiedenfarbige Punkte auf.

Fülle nun das Glas zur Hälfte mit Essigwasser und hänge den Streifen Kaffeefilter hinein. Achte darauf, dass die Farbpunkte das Essigwasser nicht berühren.



Abb. 54 Vor dem Eintauchen in das Wasser sind die Farbpunkte annähernd rund

Beobachtung:

Du wirst bemerken, dass sich allmählich Form und Farbe der Punkte ändern. Der rote Punkt verändert sich am wenigsten, hingegen gelb am meisten.

Physikalischer Hintergrund:

Durch die Struktur des Kaffeefilters steigt das Essigwasser allmählich nach oben. Werden die Farbpunkte vom Essigwasser durchsetzt, werden Mischfarben in ihre Grundfarben zerlegt, Grundfarben bleiben unverändert.

Die Farben gelb, blau und rot bleiben unverändert, grün wird allerdings in blau und gelb geteilt.

Die Chemie macht sich diesen Effekt zunutze, um verschiedene Substanzen voneinander zu trennen (Chromatographie).



Abb. 55 Nach dem Eintauchen verändern sie teilweise die Form und die Farbe

3.4 Streuung

Wenn eine Welle auf ein Hindernis trifft, das heißt eine Stelle wo die Homogenität des Mediums unterbrochen ist, dann sendet dieses Hindernis eine Streuwelle aus. Eine Streuwelle besteht aus Elementarwellen, die sich in alle Richtungen ausbreiten.

Streuung tritt auf, wenn die Ausdehnung des Hindernisses (an dem gestreut wird) kleiner als die Wellenlänge ist des einfallenden Lichtes ist und bedeutet daher eine Abweichung des Strahlenverlaufs von der geometrischen Optik.

Himmelsfarben

Material:

- ✓ 1 Becherglas
- ✓ 1 Taschenlampe
- ✓ Wasser
- ✓ Milch

Aufbau:

Fülle das Becherglas mit Wasser und richte bei abgedunkeltem Raum den Strahl einer Taschenlampe waagrecht in das Glas. Beobachte nun den Lichtstrahl, indem du einmal gegen das Licht schaust und einmal im rechten Winkel zum Lichtstrahl schaust.

Gib anschließend einige Tropfen Milch hinzu, so dass das Wasser getrübt wird, rühre um und beobachte den Lichtstrahl wieder von beiden Positionen aus.

Beobachtung:

Ohne Zugabe der Milch wirst du in der rechtwinkligen Position kein Licht wahrnehmen.

Wenn sich allerdings einige Tropfen der Milch im Wasser befinden, wirst du in der rechtwinkligen Position bläuliches Licht wahrnehmen, wenn du gegen den Lichtstrahl schaust wirst du rötliches Licht wahrnehmen.

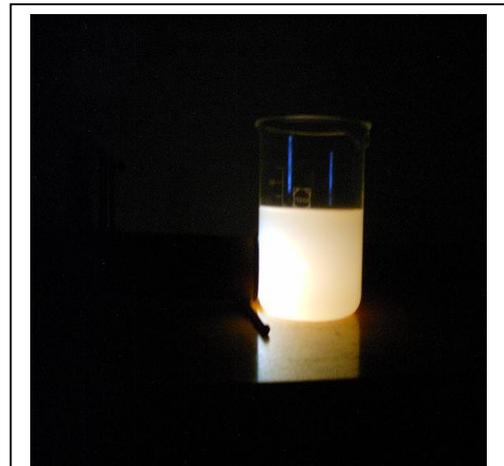


Abb. 56 Aus der rechtwinkligen Position erscheint das Licht eher weiß - bläulich



Abb. 57 Blickt man gegen den Lichtstrahl erscheint das Licht rötlich

Physikalischer Hintergrund:

Die feinst verteilten Teilchen der Milch stellen ein Hindernis dar, an dem Streuung auftritt. Von der Lichtquelle wird weißes Licht ausgesandt, das alle Farben des Spektrums enthält. Auf Grund der kürzeren Wellenlänge des blauen Lichts im Vergleich zum roten Licht, ist die Streuung für blau größer als für rot. (Vergleich: kleiner Gegenstand als Hindernis: für kleine Menschen wirkt sich das Hindernis stärker aus als für große Menschen).

Mit der Zunahme der streuenden Teilchen wächst der Anteil des seitlich abgelenkten Lichtes mehr und mehr an, während in der geraden Ausbreitung der Anteil des rot – gelblichen Lichtes zunimmt.

Deshalb kann in der rechtwinkligen Position bläuliches Licht festgestellt werden und in der dem Lichtstrahl gegenüberliegenden Position rot - oranges (= weiß minus blau) Licht festgestellt werden.

Die Intensität des gestreuten Lichts ist indirekt proportional zu vierten Potenz der Wellenlänge ($I \sim \frac{1}{\lambda^4}$). Die Wellenlänge des blauen Lichtes ist nur halb so lang wie die des roten Lichtes. Deshalb wird blaues Licht $2^4 = 16$ mal stärker gestreut als rotes.

Himmelsblau und Abendrot:

Das Sonnenlicht wird durch Staubteilchen in der Atmosphäre gestreut. Dadurch entsteht die Blaufärbung des Himmels. Am Abend muss das Licht eine wesentlich weitere Strecke zum Beobachter zurücklegen, weshalb die meisten Blauanteile bereits ausgestreut sind. Das Licht erscheint deshalb rötlich – orange.

Staub- oder Wasserteilchen in der Luft können diesen Effekt bei Sonnenaufgang oder –untergang noch verstärken.

3.5 Linsen

Aus Linsen, Spiegeln und Prismen werden Dinge zusammengebaut, von denen wir alle profitieren, besonders wenn wir sie verstehen.

Unter einer sphärischen Linse versteht man eine von zwei zentrierten Kugelflächen bzw. von einer Kugelfläche und einer Ebene begrenzten Körper aus lichtdurchlässigem Material. Jene Linsen, die in der Mitte dicker sind als am Rand werden als Sammellinsen (konvexe Linsen) bezeichnet, jene, die in der Mitte dünner sind als am Rand werden Zerstreuungslinsen (konkave Linsen) genannt.

Sammel – und Zerstreuungslinse

Material:

- ✓ Sammellinse
- ✓ Zerstreuungslinse
- ✓ Experimentierleuchte
- ✓ Nebelmaschine

Aufbau:

Stelle die Sammellinse hinter die Experimentierleuchte und lasse parallele Lichtstrahlen auf die Sammellinse fallen. In dem Bereich hinter der Linse wird Nebel erzeugt.

Führe denselben Aufbau nochmals durch und ersetze die Sammellinse durch die Zerstreuungslinse.

Beobachtung:

Im Fall der Sammellinse kannst du feststellen, dass sich alle Lichtstrahlen in einem Punkt auf der optischen Achse schneiden (konvergieren), dem Brennpunkt. Danach verlaufen sie wieder unter verschiedenen Winkeln (divergent).

Bei der Zerstreuungslinse entfernen sich alle Lichtstrahlen immer weiter von der optischen Achse.



Abb. 58 Der Aufbau zu diesem Experiment mit Linse, Nebelmaschine und Experimentierleuchte



Abb. 59 Das konvergente Lichtbündel nach dem Durchgang durch eine Sammellinse

Physikalischer Hintergrund:

Auf Grund der geometrischen Beschaffenheit einer Sammellinse werden Strahlen parallel zur optischen Achse durch den gegenüberliegenden Brennpunkt gebrochen. Es handelt sich also um ein konvergentes Lichtbündel. Nach dem Durchgang durch den Brennpunkt verlaufen die Lichtstrahlen wieder divergent. Da die Strahlenrichtung umkehrbar ist, besitzt eine Sammellinse auf jeder Seite einen Brennpunkt. Bei der Zerstreuungslinse werden einfallende Parallelstrahlen so gebrochen, als würden sie von einem virtuellen Brennpunkt hinter der Linse kommen. Das Lichtbündel verläuft dementsprechend divergent. Die Brennweite einer Zerstreuungslinse wird negativ angegeben.



Abb. 60 Das divergente Lichtbündel beim Durchgang durch eine Zerstreuungslinse

Bestimmung der Brennweite einer Linse

Material:

- ✓ Sammellinse
- ✓ Halter aus Kork
- ✓ Teelicht
- ✓ Maßband
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Stelle das Teelicht vor einer Sammellinse auf, sodass das Bild der Kerze auf der Wand abgebildet wird. Variiere die Abstände zwischen Teelicht und Linse, sowie zwischen Teelicht und der weißen Wand bis ein scharfes Bild der Kerze an der Wand entsteht. Miss die eben eingestellten Abstände mit einem Maßband ab.



Abb. 61 Der Aufbau um die Brennweite bestimmen zu können

Physikalischer Hintergrund:

Gemäß dem Gesetz (Linsengleichung)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (5)$$

wobei

f	Brennweite
g	Gegenstandsweite
b	Bildweite

kann die Brennweite der Linse durch einfache mathematische Umformungen bestimmt werden.

Die Brechkraft $\frac{1}{f}$ hat sinngemäß die Einheit

$1 \text{ m}^{-1} = 1 \text{ dp}$ (eine Dioptrie).

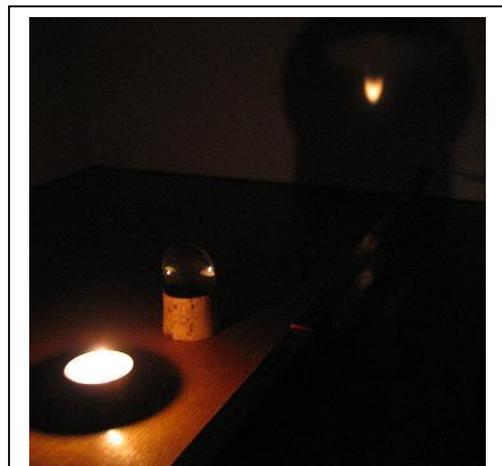


Abb. 62 Wenn das Bild scharf ist, können die Abstände gemessen werden

Wasserglas als Umkehrlinse

Material:

- ✓ Zylindrisches Wasserglas (glatte Oberfläche)
- ✓ Wasser
- ✓ Weißes Blatt Papier
- ✓ Filzstift

Aufbau:

Zeichne auf das Blatt Papier einen waagrechten Pfeil, der ein wenig kleiner ist als das Wasserglas. Stelle das Blatt hinter das leere Wasserglas und fülle langsam Wasser ein, bis der Wasserstand im Glas höher ist als der Pfeil. Nun variiere den Abstand des Glases vom Blatt Papier bis ein scharfes Bild entsteht.



Abb. 63 Ohne durch das Wasser zu sehen, zeigt der Pfeil nach links

Beobachtung:

Befindet sich kein Wasser im Glas siehst du den Pfeil in derselben Ausrichtung wie auf dem Blatt Papier. Wenn der Wasserstand höher ist als der Pfeil, kannst du sehen, dass sich der Pfeil umdreht.

Physikalischer Hintergrund:

Das mit Wasser gefüllte Glas wirkt als Umkehrlinse. Der Verlauf der Strahlen ist derselbe wie bei einer gewöhnlichen optischen Linse. (Der Mittelpunktstrahl durchläuft die Linse ungebrochen, Parallelstrahlen werden durch den gegenüberliegenden Brennpunkt gebrochen und Brennstrahlen werden so gebrochen, dass sie nach der Brechung parallel verlaufen).

Folglich entsteht ein reelles, verkehrtes, Bild, das je nach Entfernung des Glases von dem Blatt Papier größer oder kleiner erscheint.



Abb. 64 Blickt man durch das Wasser, dreht sich der Pfeil um

Linsenfehler

Material:

- ✓ Blatt Papier
- ✓ Nagel
- ✓ Sammellinse
- ✓ Taschenlampe
- ✓ Nebelmaschine

Aufbau:

Falte das Blatt Papier zwei- bis dreimal zusammen und stich mit dem Nagel kleine Löcher in das Papier.

Gib das Papier anschließend mit den Öffnungen direkt hinter die Taschenlampe und lasse das Licht senkrecht auf die Sammellinse fallen. In dem Bereich hinter der Sammellinse erzeugst du Nebel.

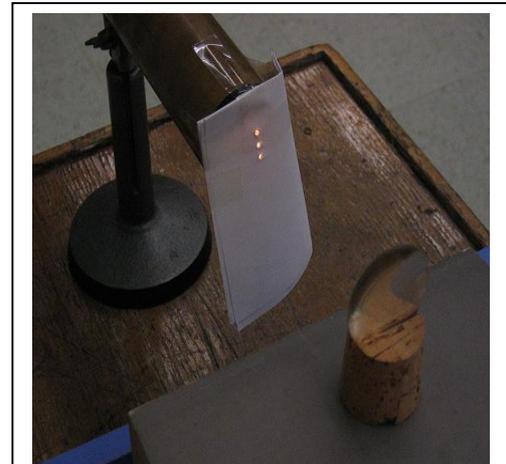


Abb. 65 Durch die Löcher entstehen parallele Lichtstrahlen

Beobachtung:

Du wirst feststellen, dass sich nicht alle Strahlen im selben Punkt schneiden.

Physikalischer Hintergrund:

Normalerweise sollten sich alle parallel zur optischen Achse einfallenden Lichtstrahlen im Brennpunkt schneiden. Dies gilt allerdings nur für Parallelstrahlen nahe an der optischen Achse. Achsenferne Parallelstrahlen werden auf Grund der geringeren Dicke der Linse am Rand stärker gebrochen und schneiden folglich die optische Achse zwischen Brennpunkt und Linse. Dieser Effekt wird als sphärische Aberration bezeichnet. Sie kann durch eine angepasste Zerstreuungslinse korrigiert werden, allerdings nur für bestimmte Gegenstandsweiten.



Abb. 66 Die sphärische Aberration bei einer Sammellinse

3.6 Polarisiertes Licht

Polarisation von Licht

Material:

- ✓ Overheadprojektor
- ✓ 2 verschiedene Polarisationsfolien (oder 2 Vorsteck-Polarisationsbrillen)

Aufbau:

Schalte den Overheadprojektor ein, lege die erste Polarisationsfolie auf die Hälfte der beleuchteten Fläche des Overheadprojektors und beobachte die Unterschiede des durchgehenden Lichtes. Anschließend legst du die zweite Polarisationsfolie auf die erste und beobachtest wieder die Unterschiede.

Beobachtung:

Im Falle der ersten Polarisationsfolie kannst du feststellen, dass der Teil des Overheadprojektors, auf dem die Folie liegt, dunkler erscheint als der andere. Liegen beide Polarisationsfolien übereinander, erscheint der Untergrund schwarz, während der frei liegende Teil sich nicht verändert.

Physikalischer Hintergrund:

Weißes Licht ist unpolarisiert. Das heißt, dass die Schwingungsebenen der einzelnen Lichtwellenzüge unbestimmt sind. Ein Polarisator ist, wie in diesem Experiment, zum Beispiel eine Folie, deren Moleküle durch einen chemischen Vorgang speziell ausgerichtet sind (vgl. Lattenzaun). Trifft nun weißes Licht auf eine solche Folie werden nur jene Wellenzüge des Lichtes durchgelassen, die in der spezifischen Richtung schwingen, alle andern werden absorbiert. Wird nun ein weiterer Polarisator aufgelegt, dessen Moleküle anders ausgerichtet sind, so absorbiert dieser ebenfalls alle Wellenzüge des Lichtes, die nicht „seiner“

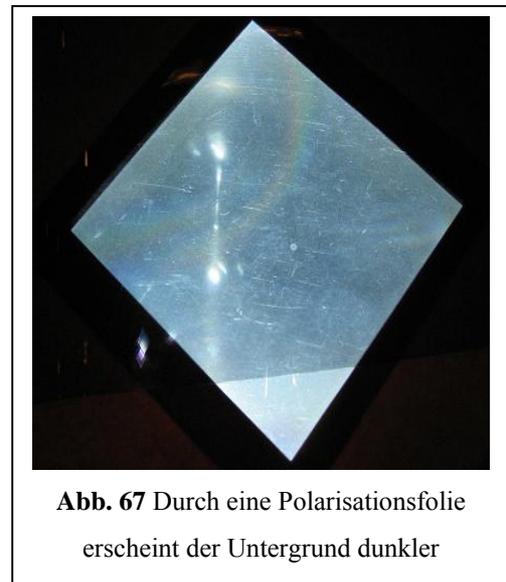


Abb. 67 Durch eine Polarisationsfolie erscheint der Untergrund dunkler



Abb. 68 2 Polarisationsfolien mit unterschiedlicher Ausrichtung lassen kein Licht durch

Schwingungsrichtung entsprechen. Jene Wellenzüge, die der Ausrichtung der Moleküle des zweiten Polarisators entsprechen, werden durchgelassen. Diese wurden allerdings bereits vom ersten Polarisator absorbiert. Also sind keine Schwingungsrichtungen mehr vorhanden, die passieren könnten. Der Untergrund erscheint schwarz.

Polarisiertes Licht kann auf unterschiedliche Weisen erzeugt werden:

1.) durch Absorption:

Passiert unpolarisiertes Licht den Kristall Turmalin wird das Licht in einen vertikal und einen horizontal schwingenden Teil aufgespalten. Ein Teil wird absorbiert, der andere Teil kann passieren.

2.) durch Reflexion und Brechung

Der Reflexionsanteil von Licht ist abhängig von der Polarisationsrichtung des Lichtes. Hauptsächlich wird jenes Licht reflektiert, das parallel zur Oberfläche des Mediums, an dem gebrochen wird, schwingt. Beim Brewster – Winkel α_B , jenem Einfallswinkel, bei dem Brechungs- und Reflexionswinkel zusammen 90° ergeben, wird nur das parallel schwingende Licht reflektiert, der andere Teil wird gebrochen bzw. absorbiert.

$$\boxed{\tan(\alpha_B) = n} \quad (6)$$

wobei

n Brechungsindex des Mediums

3.) durch Doppelbrechung

Beim Durchgang durch ein anisotropes Medium wird der Lichtstrahl aufgefächert in einen ordentlichen Strahl (wird nach dem Brechungsgesetz gebrochen) und einem außerordentlichen Strahl (wird so gebrochen als wäre der Brechungsindex des Mediums anders). Diese beiden Strahlen haben unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten, sind normal zueinander polarisiert und weisen eine Phasenverschiebung auf.

Ist die Phasenverschiebung ein Vielfaches der halben Wellenlänge, so erhält man linear polarisiertes Licht, bei einer Phasenverschiebung von einem Viertel der Wellenlänge erhält man zirkular polarisiertes Licht.

Spannungsoptik

Material:

- ✓ Overheadprojektor
- ✓ Polarisationsfolie
- ✓ Kunststoffgegenstand (z.B. Musikkassette)

Aufbau:

Schalte den Overheadprojektor ein, lege den Kunststoffgegenstand (in diesem Experiment ein L-förmiger) zwischen die Polarisationsfolien auf den Overheadprojektor. Anschließend bringst du den Kunststoffgegenstand unter Spannung, in dem du die Enden nach zusammen drückst und beobachtest das austretende Licht.

Beobachtung:

Du kannst feststellen, dass sich die Farbkomponenten innerhalb des Kunststoffgegenstandes ändern.



Abb. 69 Der Kunststoffgegenstand ist Spannungen ausgesetzt

Physikalischer Hintergrund:

Viele durchsichtige Substanzen weisen bei Zug- oder Druckbeanspruchung Vorzugsrichtungen auf, das heißt, dass sich die Schwingungsrichtungen der Moleküle in bestimmte Richtungen einstellen. Durch diese Spannungen werden dadurch manche Gebiete von Stoffen doppelbrechend. Mit Hilfe einer Polarisationsfolie können nun jene Stellen des betrachteten Gegenstandes festgestellt werden, die dieselbe Schwingungsrichtung wie die Folie aufweisen. Die anderen Bereiche erscheinen schwarz.

Mit Hilfe dieser Methode, Spannungsoptik genannt, können Werkstücke überprüft werden und so festgestellt werden, an welchen Stellen sie zu brechen drohen.

3.7 Laser

Das Wort LASER ist ein Kunstwort. Es stammt von **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, was übersetzt “durch Licht verstärkte, erzwungene Aussendung von Strahlung” bedeutet. Das heißt, dass Atome durch Licht angeregt werden (stimulierte oder induzierte Emission) und wiederum Licht mit exakt derselben Wellenlänge und Phase aussenden.

Das Reflexionsgesetz

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Spiegel
- ✓ Nebelmaschine

Aufbau:

Stelle den Spiegel an eine Wand und lasse den Laserstrahl unter verschiedenen Winkeln auf die Spiegeloberfläche fallen. Erzeuge im Bereich vor dem Spiegel eine Nebelwand.



Abb. 70 Der Aufbau zur Überprüfung des Reflexionsgesetzes

Beobachtung:

Du kannst feststellen, dass sich durch die Veränderung des Einfallswinkels des Laserstrahls auch der Reflexionswinkel ändert.

Physikalischer Hintergrund:

Durch die Nebelmaschine wird der Laserstrahl sichtbar gemacht und man kann das Reflexionsgesetz einfach überprüfen. Wie bei weißem Licht werden alle Einfallsstrahlen so reflektiert, als kämen sie von dem virtuellen Spiegelbild des Einfallsstrahls.

Wie auch schon bei weißem Licht festgestellt wurde, gilt selbstverständlich auch hier, dass die Winkel zwischen Lot und einfallendem Strahl und zwischen Lot und reflektiertem Strahl gleich groß sind. Einfallender Strahl, Lot und reflektierter Strahl liegen wieder in einer Ebene.

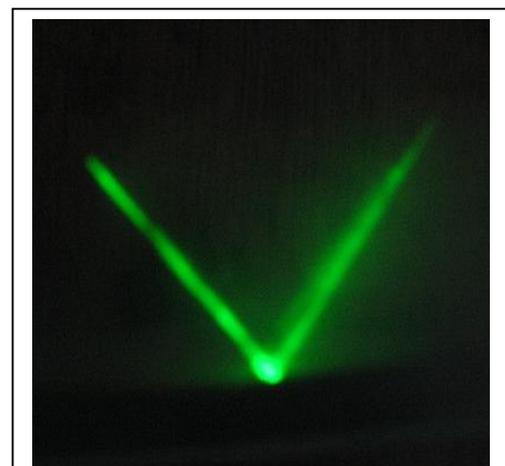


Abb. 71 Unter der Nebelmaschine ist leicht zu erkennen, dass:
Einfallswinkel = Ausfallswinkel

Der leuchtende Papierzylinder

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Weißes Papier
- ✓ Spiegel
- ✓ Klebeband

Aufbau:

Forme aus einem Stück weißen Papiers einen Zylindermantel und befestige die beiden schmalen Enden mit dem Klebeband. Stelle den Zylindermantel auf ein weißes Blatt Papier und lasse aus einer Entfernung von zirka 30 cm den Laserstrahl entlang der Zylinderachse auf den Boden fallen. Anschließend tauschst du die Papierunterlage gegen einen Spiegel aus. Verdunkle jeweils den Raum und beobachte.

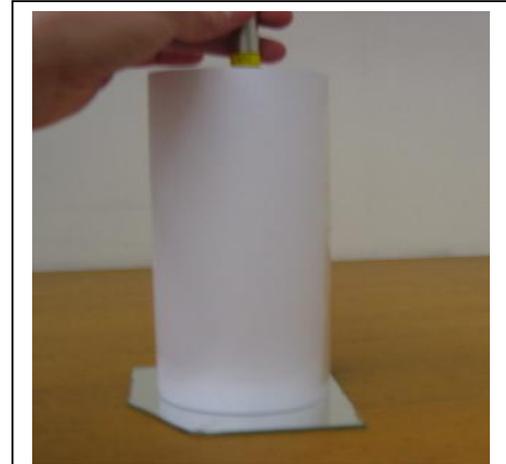


Abb. 72 Der Aufbau dieses Experiments mit einem Spiegel

Beobachtung:

Mit der Papierunterlage leuchtet der Zylindermantel in der Farbe des verwendeten Laserlichtes. Wenn der Spiegel als Unterlage dient, wirst du beobachten, dass der Zylinder fast völlig dunkel bleibt und an der Raumdecke ist der reflektierte Laserstrahl wieder zu erkennen, wenn du den Laser leicht schräg hältst.

Physikalischer Hintergrund:

Dient der Spiegel als Unterlage, so verlässt der Laserstrahl den Zylinder wieder als gebündelter Strahl. Der reflektierte Strahl tritt nach dem Reflexionsgesetz wieder unter demselben Winkel aus dem Zylinder unter dem der einfallende Strahl eingetreten ist.

Wird Papier als Unterlage verwendet, so wird auf Grund der rauen Oberfläche das Licht in alle Raumrichtungen reflektiert (diffuse Reflexion – siehe 2.1). Der Beobachter von außen nimmt allerdings einen vollständig beleuchteten Zylindermantel wahr. Dies beruht auf der Tatsache, dass ein Teil des Lichtes den Zylindermantel durchdringt und dabei in alle Raumrichtungen gestreut wird.



Abb. 73 Mit Papier als Unterlage wird das Licht diffus reflektiert und gestreut

Totalreflexion

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Rechteckige Glasschüssel
- ✓ Flüssigseife
- ✓ Wasser

Aufbau:

Fülle die Glasschüssel mit Wasser und gib einige Tropfen Flüssigseife dazu. Lasse den Laserstrahl seitlich von unten unter verschiedenen Winkeln auf die Wasseroberfläche fallen.



Abb. 74 Der Laserstrahl fällt von schräg unten in das Wasser ein

Beobachtung:

Du kannst feststellen, dass der Laserstrahl unter einem bestimmten Einfallswinkel an der Grenzschicht Wasser – Luft wieder reflektiert wird. Ist der Einfallswinkel zu klein, so wird ein Teil des Strahls gebrochen und ein Teil reflektiert.

Physikalischer Hintergrund:

Auch beim Laser, der nichts anderes ist, als Licht einer bestimmten Wellenlänge (monochromatisch), gelten dieselben Gesetze wie bei weißem Licht. Wenn ein Laserstrahl den Übergang von einem optisch dichteren Medium in ein optisch dünneres Medium durchsetzt (in diesem Fall Wasser – Luft), tritt ab einem bestimmten Einfallswinkel des Strahls Totalreflexion auf. Wird dieser Winkel nicht erreicht, dann treten Reflexion und Brechung zeitgleich auf. Die Intensitäten des einfallenden Strahls und des reflektierten Strahls sind annähernd gleich groß.

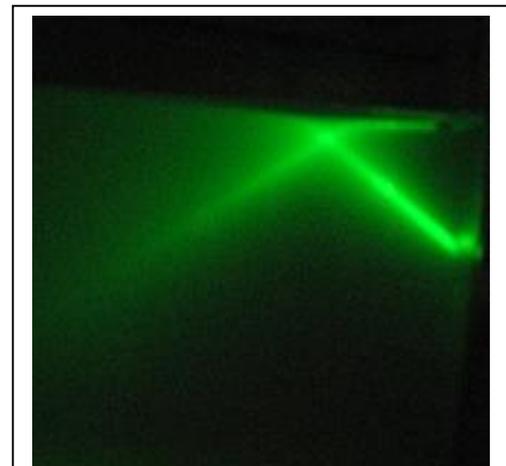


Abb. 75 An der Grenzschicht wird der Laserstrahl totalreflektiert

Brechungsgesetz

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Rechteckiges Becherglas
- ✓ Flüssigseife
- ✓ Wasser
- ✓ Nebelmaschine

Aufbau:

Fülle die Glasschüssel mit Wasser und gib einige Tropfen Flüssigseife dazu. Erzeuge anschließend auf der Wasseroberfläche eine Nebelwand und beleuchte die Schüssel von oben mit dem Laser, sodass er schräg auf die Wasseroberfläche auftrifft.



Abb. 76 Der Aufbau zur Überprüfung des Brechungsgesetzes

Beobachtung:

Beim Übergang des Laserstrahls vom Wasser in den Nebel kannst du Brechung feststellen.

Physikalischer Hintergrund:

Die Medien Wasser und Luft (Nebel) besitzen unterschiedlich optische Dichten. Das heißt, dass sich die Lichtgeschwindigkeit beim Übergang zwischen den Medien ändert. Dies ist vergleichbar mit einem Auto, dessen linkes Vorderrad sich auf Asphalt bewegt und dessen rechtes Vorderrad auf einer Wiese. Wegen der geringeren Reibung auf der Wiese, dreht sich das rechte Rad schneller als das Linke und das Auto bewegt sich in Richtung der Wiese.

Dies kann auf diese beiden Medien übertragen werden und man erhält im gezeigten Experiment Brechung zum Lot.

Außerdem kann bei genauer Betrachtung an der Wasseroberfläche auch ein reflektierter Strahl beobachtet werden, dessen Intensität allerdings sehr gering ist (4 %).

Wenn der Laserstrahl von unten einfällt, kann man beim Übergang von Wasser zu Luft Brechung vom Lot beobachten.

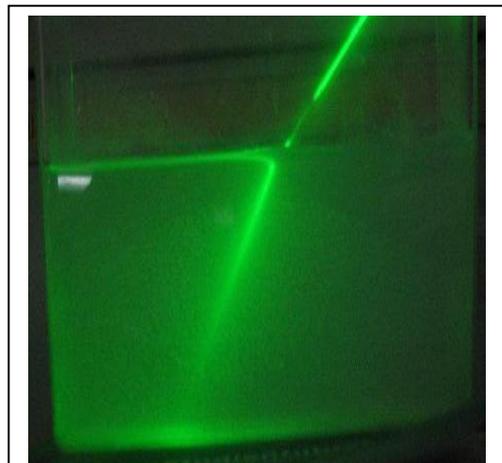


Abb. 77 Brechung zum Lot beim Übergang vom optisch dünnen Medium ins optisch dichte Medium

Umkehrprisma

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Rechteckiges Glasprisma
- ✓ Weiße Wand
- ✓ Event. Nebelmaschine

Aufbau:

Lasse den Laserstrahl im rechten Winkel auf die Hypotenuse des Glasprismas einfallen, sodass der Strahl auf eine der Katheten trifft. Die weiße Wand soll sich hinter dem Laser befinden. Verdunkle den Raum und erzeuge eine Nebelwand mit der Nebelmaschine.

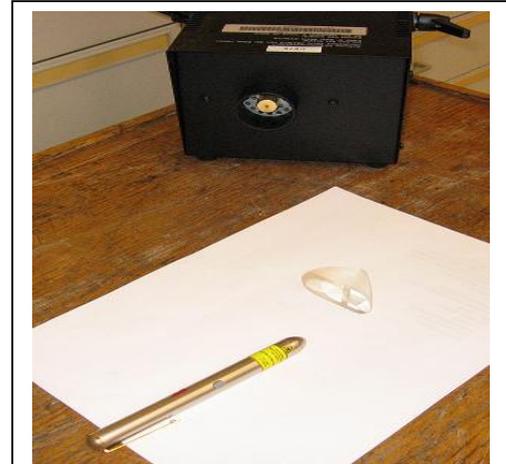


Abb. 78 Mit Hilfe dieses Aufbaus kann ein Lichtstrahl umgekehrt werden

Beobachtung:

Im verdunkelten und nebeligen Raum kannst du die Umkehrung des Laserstrahls beobachten und feststellen, dass er sich nun auf der weißen Wand hinter dem Laser befindet.

Physikalischer Hintergrund:

Der einfallende Strahl wird zweimal um 90° totalreflektiert, sodass der reflektierte Strahl antiparallel zum einfallenden Strahl verläuft. Totalreflexion tritt an der Grenzschicht Glas – Luft ein, da der Grenzwinkel von 43° überschritten wird (der Strahl fällt jeweils unter einem Winkel von 45° zum Lot ein).

Wird an das gleichschenkelige, rechtwinkelige Prisma ein zweites identisches, um 90° gegen die Strahlrichtung verdrehtes Prisma hinzugefügt, so wird der einfallende Strahl horizontal und auch vertikal verschoben. Dieses Prinzip wird im Feldstecher zur Bildumkehr ausgenutzt.

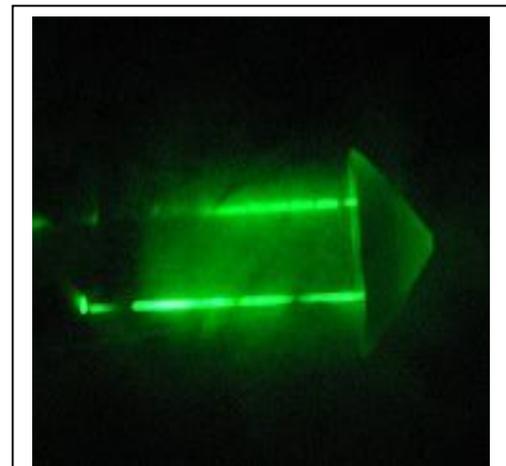


Abb. 79 Der reflektierte Strahl verläuft in entgegengesetzter Richtung zum einfallenden Strahl

Pentagonalprisma

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Pentagonalprisma
- ✓ Nebelmaschine
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Lasse den Laserstrahl unter einem beliebigen Winkel zu einer der Seiten, die den rechten Winkel einschließen, einfallen. Verdunkle den Raum und betrachte den Laserstrahl unter der Nebelmaschine.



Abb. 80 Der Strahl fällt bei einer den rechten Winkel einschließenden Seite ein

Beobachtung:

Du kannst feststellen, dass der austretende Strahl um 90° gegenüber dem einfallenden abgelenkt wird.

Physikalischer Hintergrund:

(siehe Grafik 9 Seite 64)⁷

Die Seitenflächen BC und DE sind versilbert, weshalb der Strahl an ihnen nach dem Reflexionsgesetz reflektiert wird und so um 90° umgelenkt wird. Die Winkel des Pentagonalprismas an den Ecken B und E sind exakt gleich groß und bei A befindet sich ein rechter Winkel. Deshalb wird jeder Strahl, der bei einer an A angrenzenden Fläche unter einem beliebigen Winkel einfällt, um 90° abgelenkt.

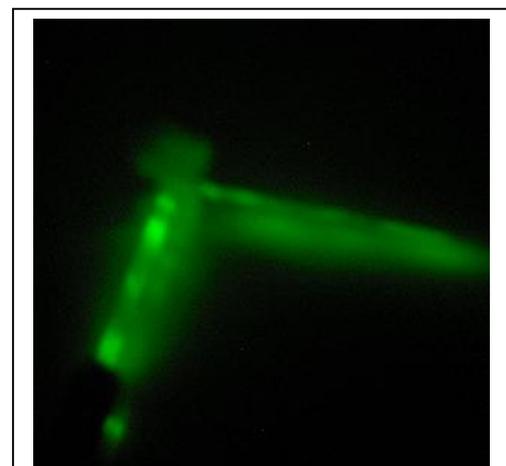
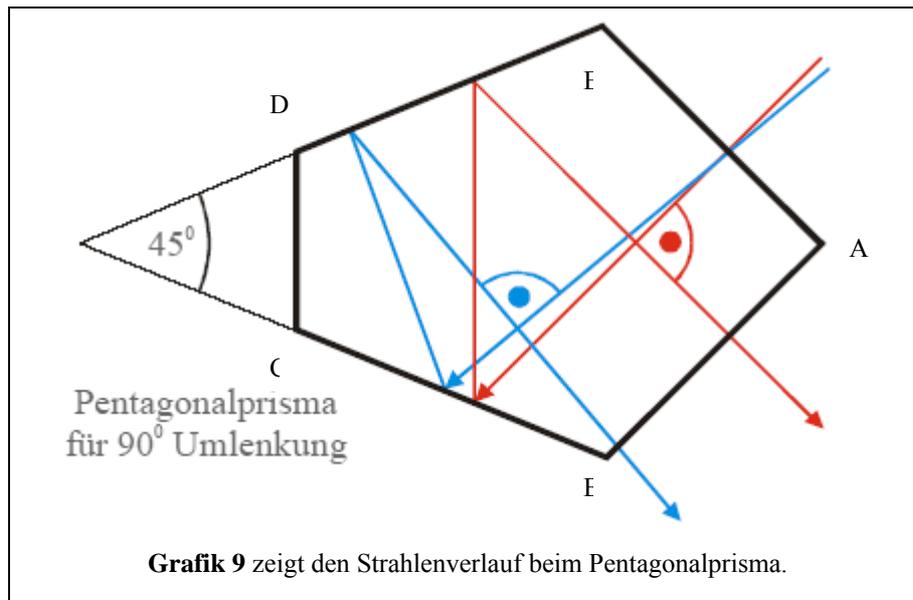


Abb. 81 Der austretende Strahl wird um 90° abgelenkt

⁷ Quelle: <http://www1.physik.tu-muenchen.de/~kressier/SS02/bau/vorlesung/bau21.PDF>



Tripelprisma

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Tripelprisma
- ✓ Nebelmaschine

Aufbau:

Lasse den Laserstrahl unter einem beliebigen Winkel auf eine Spiegelfläche fallen und beobachte den Strahlenverlauf unter der Nebelmaschine.

Beobachtung.

Die eintretenden Strahlen werden in die ursprüngliche Richtung zurückgeworfen.

Physikalischer Hintergrund:

Der Tripelspiegel entsteht, wenn man aus einem rechtwinklig geschliffenen Glaswürfel eine Ecke abschneidet, so dass die Schnittfläche mit den an der betreffenden Würfecke zusammenstoßenden Flächen gleiche Winkel bildet. Das Licht wird ausschließlich durch Totalreflexion in die ursprüngliche Richtung zurückgeworfen.

Der Tripelspiegel hat im Verkehr auf den Straßen eine enorme Bedeutung erlangt. Die Rückstrahler auf Autos, Motorrädern oder Fahrräder bestehen aus vielen kleinen, nebeneinander liegenden Tripelspiegeln.

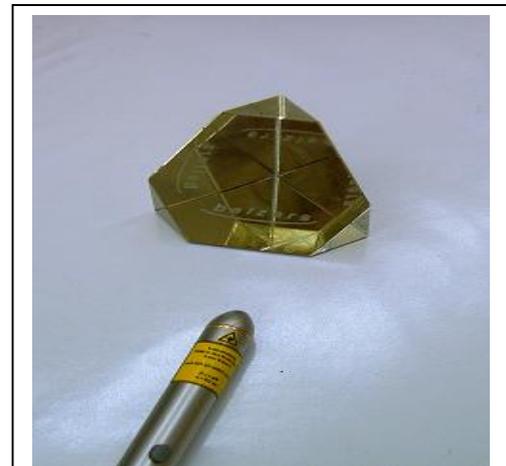


Abb. 82 Das Tripelprisma wie es bei Rückstrahlern auf Autos verwendet wird.

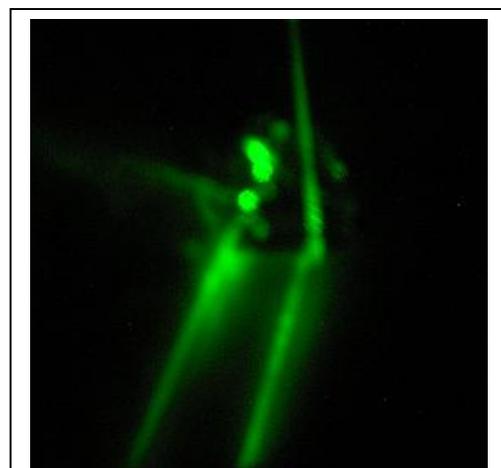


Abb. 83 Der einfallende Strahl wird wieder in die Ausgangsrichtung reflektiert

Beugung an einem dünnen Draht

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Dünner Draht
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Platziere den dünnen Draht zwischen Laser und weißer Wand und verdunkle den Raum. Achte darauf, dass der Laser zentral auf den Draht leuchtet.



Abb. 84 Ein dünner Draht wird in den Laserstrahl gehalten

Beobachtung:

An der Wand entsteht ein typisches Beugungsmuster mit Beugungsmaxima und Beugungsminima. Außerdem sind auch die für Laser typischen Speckles (siehe „Speckles“, Seite 80) zu sehen.

Physikalischer Hintergrund:

Wie immer bei Beugungserscheinungen muss das Objekt, an dem Beugung auftritt klein gegenüber der Wellenlänge des Lichtes sein. Bei horizontal angeordnetem Draht wird das Beugungsmuster vertikal dargestellt.

Vom Draht ausgehend werden Kugelwellen ausgesandt, die entweder konstruktiv (rote Stellen) oder destruktiv (schwarze Stellen) interferieren.

Das Beugungsmaximum nullter Ordnung leuchtet am hellsten und je höher die Beugungsmaxima werden, desto geringer wird ihre Intensität.

Das willkürliche Muster rund um das Beugungsmaximum nullter Ordnung sind Speckles und haben nichts mit Beugung zu tun.

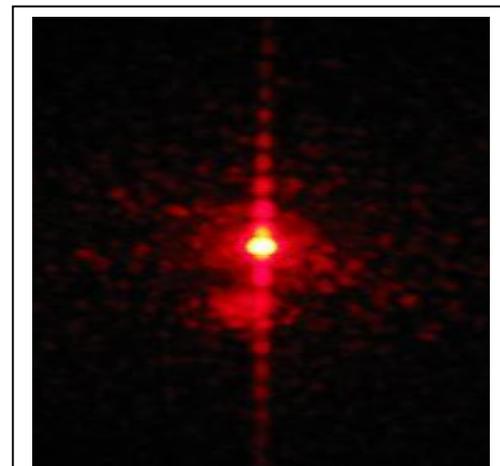


Abb. 85 Das Beugungsmuster bei Beugung an einem dünnen Draht

Beugung am Spalt/Doppelspalt

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Spalt- und Doppelspaltblende
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Befestige zuerst die Spaltblende zwischen dem Laserstrahl und der Wand so, dass der Laserstrahl durch den kleinen Spalt durchdringt. Verdunkle den Raum und variiere gegebenenfalls die Spaltbreite. Anschließend tauschst du die Spaltblende gegen die Doppelspaltblende aus und beobachtest in beiden Fällen das Beugungsmuster.

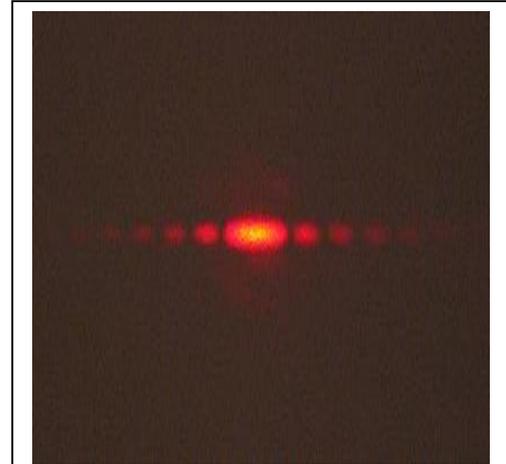


Abb. 86 Das Beugungsmuster mit der Spaltblende

Beobachtung:

Im Falle des Spaltes kannst du an der Wand ein Beugungsmuster beobachten, ähnlich dem Experiment auf Seite 32.

Im Falle des Doppelspalts siehst du ein Muster, ähnlich dem des Spaltes, aber mit weiteren Unterteilungen.

Physikalischer Hintergrund:

Die Größe des Spaltes ist in der Größenordnung der Wellenlänge des Lasers. Deshalb tritt an der schmalen Öffnung Beugung auf, das heißt, dass vom Spalt ausgehend sich Kugelwellen fortpflanzen. Diese interferieren entweder konstruktiv (rote Stellen) oder destruktiv (dunkle Stellen). Die Intensität der Beugungsmaxima nimmt nach außen hin stark ab. Das Maximum nullter Ordnung (Mitte) ist am hellsten und ist bezogen auf den Beugungswinkel am breitesten.

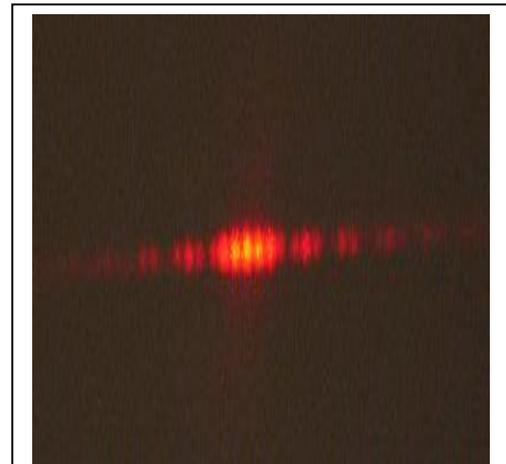


Abb. 87 Das Beugungsmuster bei Verwendung der Doppelspaltblende

Beugung am Gitter

Material:

- ✓ Laser in den Farben rot und grün
- ✓ Beugungsgitter
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Baue die Materialien in der folgenden Reihenfolge auf: Laser, Beugungsgitter, Wand. Variiere dabei den Abstand des Gitters zum Laser. Beleuchte zuerst das Gitter mit dem roten und anschließend mit dem grünen Laser.

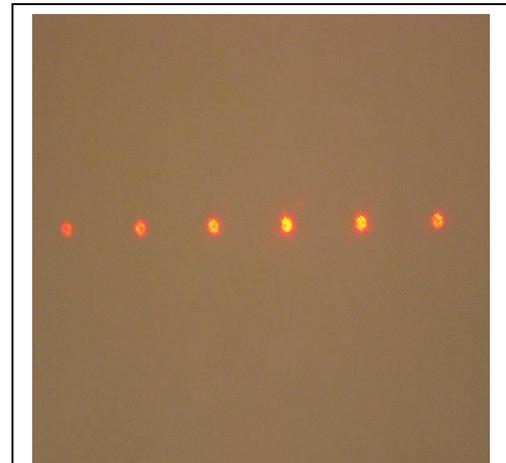


Abb. 88 Die Beugungsmaxima bei senkrechter Anordnung des Gitters

Beobachtung:

Wenn du das Beugungsgitter senkrecht anordnest, kannst du horizontale Beugungsmaxima am Schirm erkennen. Der Abstand der grünen Beugungsmaxima ist kleiner.

Physikalischer Hintergrund:

Das Beugungsmuster steht immer senkrecht zum Beugungsobjekt. Das heißt, wenn in diesem Experiment das Gitter waagrecht angeordnet wird, wird das Beugungsmuster senkrecht abgebildet. Der Abstand der Beugungsmaxima des roten Lasers ist größer als jener des grünen Lasers. Da die Wellenlänge λ von rotem Licht größer ist als jene des grünen und der Durchmesser d des Spalts für beide Wellenlängen derselbe ist, folgt aus dem Gesetz

$$g \cdot \sin(\alpha) = n \cdot \lambda \quad (7),$$

wobei

- | | |
|-----------|-------------------------------------|
| g | Gitterkonstante |
| α | Winkel zum n-ten Maximum |
| λ | Wellenlänge des verwendeten Lichtes |
| n | 0, 1, 2, |

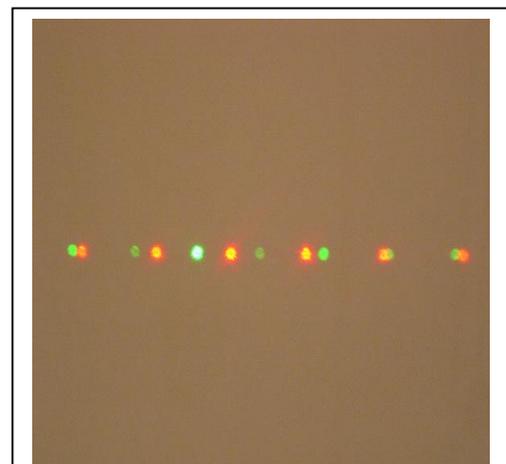


Abb. 89 Die Abstände der Beugungsmaxima sind verschieden

dass der Winkel α für das Auftreten eines Beugungsmaximums größer sein muss.

Beugung am kreuzförmigen Gitter

Material:

- ✓ Laser in den Farben rot und grün
- ✓ Kreuzgitter
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Gib das Kreuzgitter in den Laserstrahl und beleuchte damit eine weiße Wand. Verdunkle den Raum und variiere den Abstand des Gitters zum Laser. Anschließend beleuchtest du das Kreuzgitter mit dem grünen Laser.

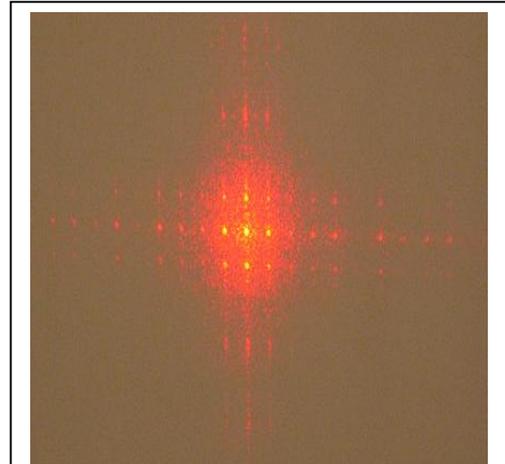


Abb. 90 Das Beugungsmuster, das durch ein Kreuzgitter entsteht

Beobachtung:

Du kannst zwei kreuzförmig angeordnete Beugungsspektren beobachten. Das des roten Lasers ist größer als jenes des grünen Lasers.

Physikalischer Hintergrund:

Das Kreuzgitter, das zum Beispiel als Sieb für den Siebdruck verwendet wird, als Beugungsobjekt entspricht einer Kombination zweier senkrecht zueinander stehenden Gitter. Das bedeutet, dass die horizontalen Beugungsmaxima durch die senkrechten Gitterlinien zustande kommen, die vertikalen entstehen folglich durch die waagrechten Gitterlinien.

Auch hier werden die Beugungsmaxima nach außen hin schwächer und wiederum auf Grund der größeren Wellenlänge des roten Lasers sind die Abstände der roten Beugungsmaxima größer als jene der grünen.

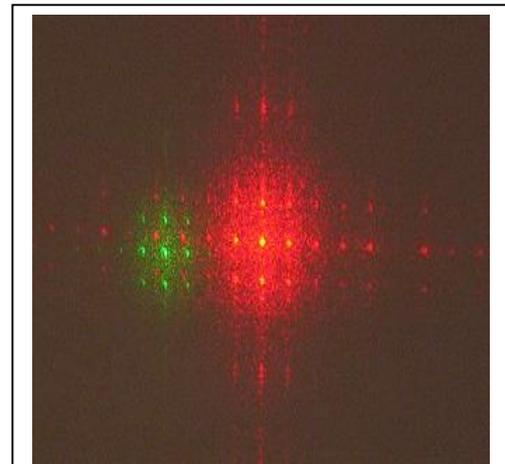


Abb. 91 Die Beugungsmuster für zwei verschiedene Wellenlängen

Beugung am schrägen Gitter

Material:

- ✓ 2 Laser in den Farben rot und grün
- ✓ Beugungsgitter
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Beleuchte mit dem Laser eine weiße Wand und halte in den Laserstrahl ein Beugungsgitter. Variiere den Auftreffwinkel des Laserstrahls auf das Beugungsgitter, in dem du das Gitter schräg hältst. Beleuchte anschließend auch mit dem grünen Laser das schräge Gitter.

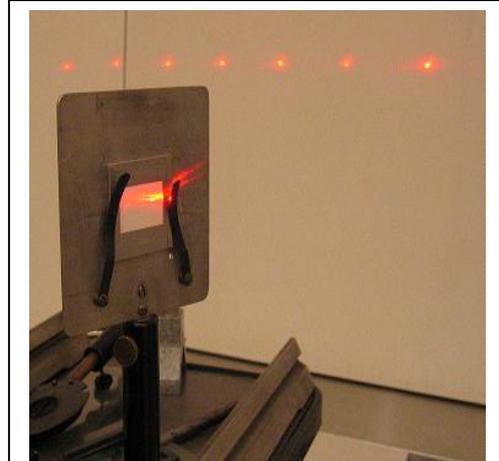


Abb. 92 Das Beugungsmuster durch ein schräges Gitter

Beobachtung:

Je nach Winkel zwischen Beugungsgitter und dem Laserstrahl erhältst du ein Beugungsmuster bei dem die Abstände der der Beugungsmaxima verschieden sind.

Physikalischer Hintergrund:

Wird das Gitter senkrecht in den Laserstrahl gehalten, so erhält man ein Beugungsmuster wie bei dem Experiment „*Beugung am Gitter*“ (Seite 68). Wird allerdings der Winkel zwischen dem Gitter und dem Laserstrahl variiert, ändern sich auch die Abstände zwischen den Beugungsmaxima auf der Wand. Dies beruht darauf, dass bei schräg gehaltenem Gitter der Gitterabstand nach der Formel (4), Seite 32, indirekt proportional zum Abstand der Beugungsmaxima ist. Das heißt, je schräger das Gitter zum Laserstrahl gehalten wird, desto kleiner wird der Gitterabstand und desto größer werden die Abstände zwischen den Beugungsmaxima.

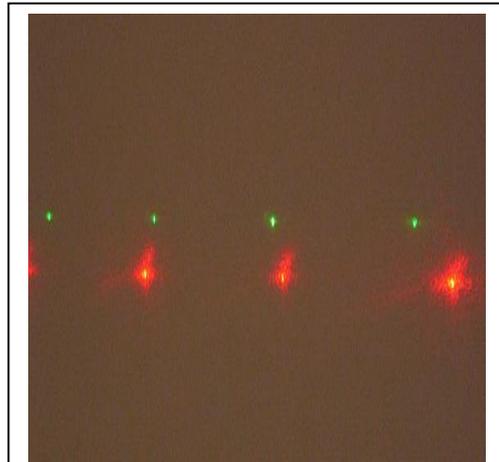


Abb. 93 Auch beim schrägen Gitter sind die Abstände zwischen den Beugungsmaxima verschieden

Beugung an einer ringförmigen Blende

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Verschiedene Lochblenden
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Platziere die erste Lochblende zwischen Laser und der Wand und beobachte das Beugungsmuster. Anschließend ersetzt du diese Lochblende durch eine mit kleinerem Durchmesser und beobachtest wieder das Beugungsmuster.

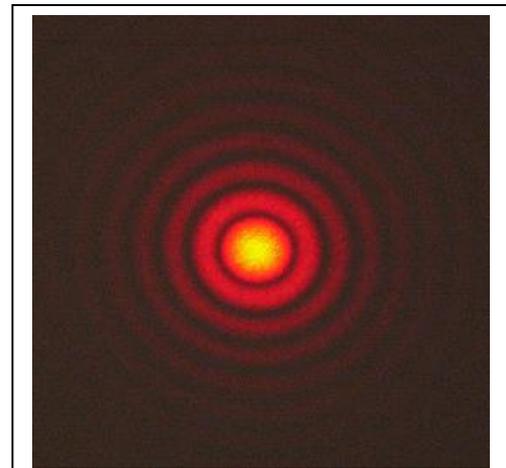


Abb. 94 Das Beugungsmuster einer Lochblende mit größerem Durchmesser

Beobachtung:

Im Falle des größeren Durchmessers der Lochblende erhältst du konzentrisch angeordnete Kreise, deren Abstand größer ist als jener der Lochblende mit kleinerem Durchmesser.

Physikalischer Hintergrund:

Das Loch der Blende ist wiederum in der Größenordnung der Wellenlänge des Lasers. Folglich tritt Beugung auf. Das spezifische Beugungsspektrum kommt nur durch die runde Öffnung der Blende zustande und verändert sich in gleichem Maße wie der Durchmesser der Blende.

Die Formel für das Auftreten der Beugungsmaxima der Ordnung m unter dem Winkel α hängt mit der Wellenlänge λ und mit dem Durchmesser d der Öffnung folgendermaßen zusammen:

$$\sin \alpha = 1,22 \frac{m\lambda}{d}$$

(8)

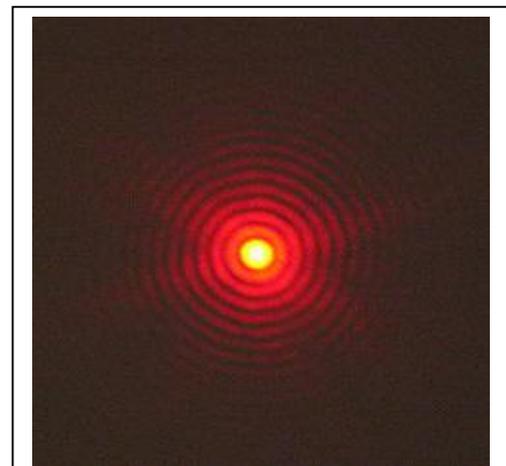


Abb. 95 Das Beugungsmuster einer Lochblende mit kleinem Durchmesser

Dieser Zusammenhang ähnelt jenem von der Beugung am Spalt, der Faktor 1,22 rührt von der kreisförmigen Form der beugenden Öffnung her und hängt mit den Nullstellen der Besselfunktion zusammen.

Die Beugungsintensität $I(\gamma)$ der konzentrisch auftretenden Beugungsringe hängt wie folgt mit der Besselfunktion zusammen:

$$I(\gamma) = I_0 \left(\frac{2J_1(\gamma)}{\lambda} \right)^2 \quad (9)$$

wobei

- λ Wellenlänge des Lasers
- γ Winkel zum Beugungsmaximum
- I_0 Intensität des Hauptmaximums
- J_1 Besselfunktion, die gegeben ist durch:

$$J_1(\gamma) = \frac{\gamma}{2} - \frac{\left(\frac{\gamma}{2}\right)^3}{1! \cdot 3!} + \frac{\left(\frac{\gamma}{2}\right)^5}{2! \cdot 3!} - \dots \quad (10)$$

Das erste Beugungsmaximum tritt bei $\gamma = 0$ auf und hat die Intensität I_0 . Um die Intensität der Beugungsminima anzugeben, muss die Intensität null sein. Dies ist gleichbedeutend mit der Nullstellensuche der Besselfunktion.

Deren erste Nullstelle tritt bei $\gamma = 3,832$ auf.

Mit Hilfe von

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot R \cdot \sin(\varphi) \quad (11)$$

wobei

- R Radius der Lochblende
- φ Winkel zum Beugungsminimum
- λ Wellenlänge

kann berechnet werden:

$$\sin(\varphi) = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{2R} \quad (12)$$

Wellenlängenbestimmung mittels Reflexion

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Schiebelehre
- ✓ Weiße Wand
- ✓ Maßband

Aufbau:

Lenke den Laserstrahl auf die Messskala der Schiebelehre und miss den Abstand des Interferenzmusters auf der Wand. Der Laserstrahl muss schleifend auf die Skala auftreffen.



Abb. 96 Der Laserstrahl muss schleifend auf die Skala der Schiebelehre auftreffen

Beobachtung:

Es entsteht ein Beugungsspektrum auf der weißen Wand und auch Speckles sind sichtbar.

Physikalischer Hintergrund:

Die Skala auf der Schiebelehre besteht aus kleinen, leicht vertieften Strichen. Diese haben die Wirkung eines Beugungsgitters. Das auftreffende Laserlicht wird an ihnen gebeugt und anschließend durch den metallischen Untergrund der Schiebelehre auf die Wand reflektiert. Deshalb ist das Beugungsmuster an der Wand zu sehen. Grafik 10, Seite 74 zeigt dass der Einfallswinkel α des Lasers auf die Schiebelehre gleich dem Winkel β_0 zur nullten Ordnung ist, da die nullte Ordnung y_0 spiegelnd reflektiert wird. Für das Maximum n-ter Ordnung gilt:

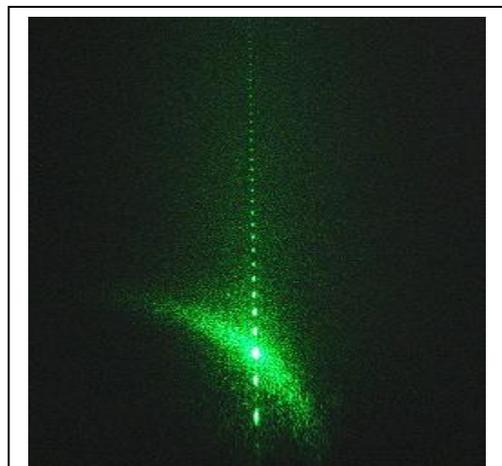


Abb. 97 Das durch Reflexion entstehende Beugungsmuster

$$n \cdot \lambda = d \cdot [\cos(\alpha) - \cos(\beta_n)]$$

(13)

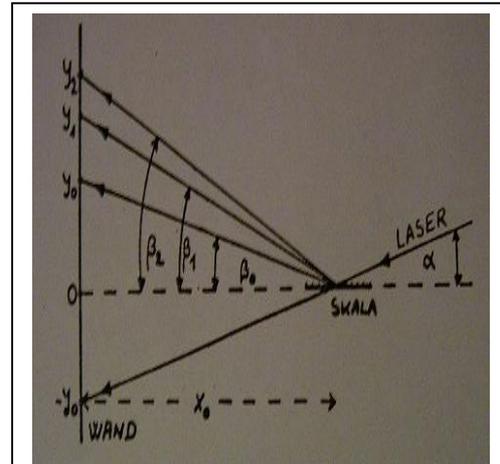
Die Gitterebene durchstößt die Wand daher in der Mitte zwischen dem direkten Strahl und dem besonders hellen Maximum nullter Ordnung.⁸

Aus

$$\cos(\beta_n) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{y_n}{x_0}\right)^2}} \quad (14)$$

folgt die Wellenlänge

$$\lambda = \frac{d}{n} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{y_0}{x_0}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{y_n}{x_0}\right)^2}} \right) \quad (15)$$



Grafik 10 Das Zustandekommen des Beugungsmusters für die Berechnung der Wellenlänge

⁸ Grafik 10 nach [9]

Wellenlängenbestimmung mittels Beugung

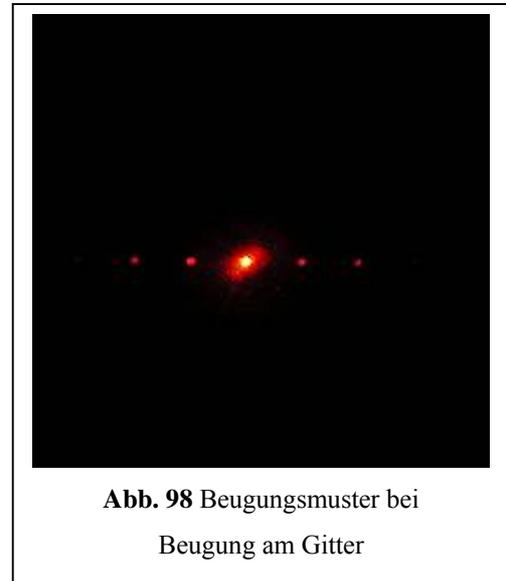
Material:

- ✓ Laser
- ✓ Optische Bank
- ✓ Beugungsgitter
- ✓ Weiße Wand
- ✓ Maßband

Aufbau:

Befestige den Laser auf der optischen Bank und platziere davor das Beugungsgitter so, dass der Lichtstrahl des Lasers normal zum Beugungsgitter steht.

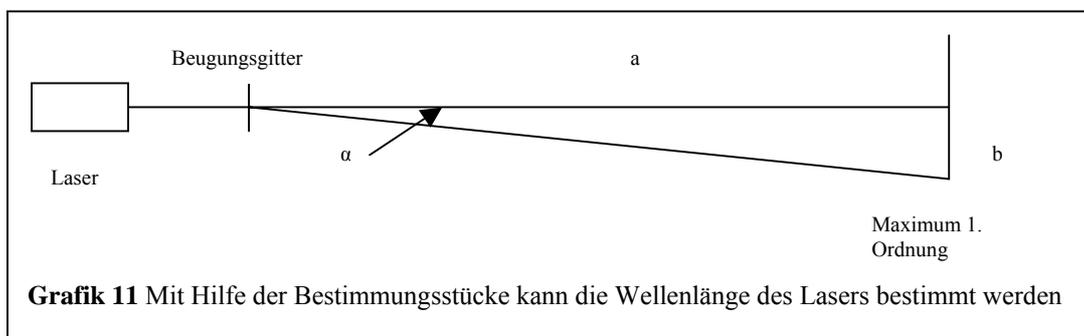
Anschließend beleuchtest du eine weiße Wand, so dass der Abstand zwischen Beugungsgitter und Schirm zwischen 50 cm und 100 cm beträgt.



Beobachtung:

Nach dem Einschalten des Lasers kannst du auf der Wand ein Beugungsspektrum erkennen.

Miss den Abstand zum ersten Beugungsmaximum und den Abstand des Beugungsgitters zur weißen Wand.



Physikalischer Hintergrund:

Die Anzahl s der Gitterlinien des Beugungsgitters muss bekannt sein. Daraus berechnet man sich den Abstand d zwischen den Gitterlinien mittels der Formel:

$$\boxed{d = \frac{1}{s}} \quad (16)$$

Da ein rechtwinkeliges Dreieck vorliegt, lässt sich aus der Definition des Tangens der Winkel α berechnen:

$$\boxed{\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{b}{a}} \quad (17)$$

Nach der Theorie über die Beugung am Gitter erscheint das erste Beugungsmaximum unter dem Winkel α und es gilt:

$$\boxed{\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}} \quad (18)$$

wobei λ für die Wellenlänge des Lasers steht.

Die Wellenlänge lässt sich aber genauso gut mit Hilfe der Formel (7), Seite 68, berechnen.

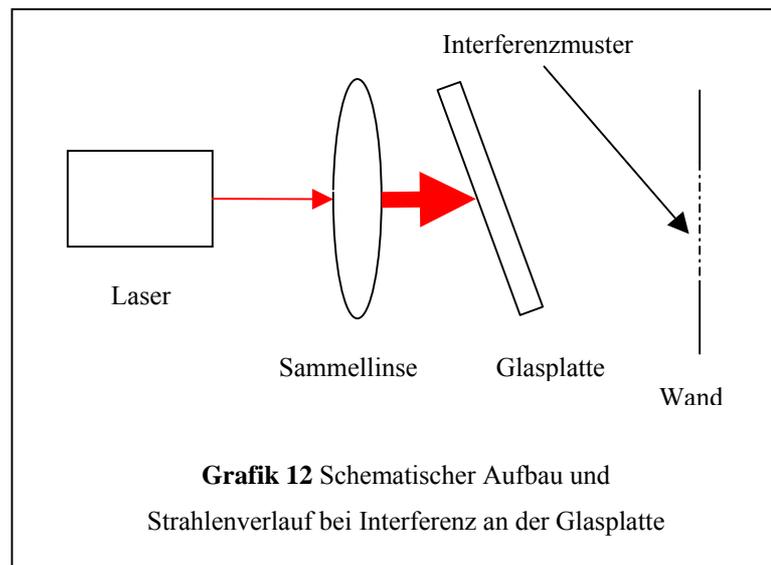
Interferenzen an einer Glasplatte

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Sammellinse
- ✓ Planparallele Glasplatte
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Wie in Grafik 12 gezeigt durchsetzt der Laser zuerst die Sammellinse und anschließend die Glasplatte, die leicht schräg gestellt wird. Beobachte die Wand.

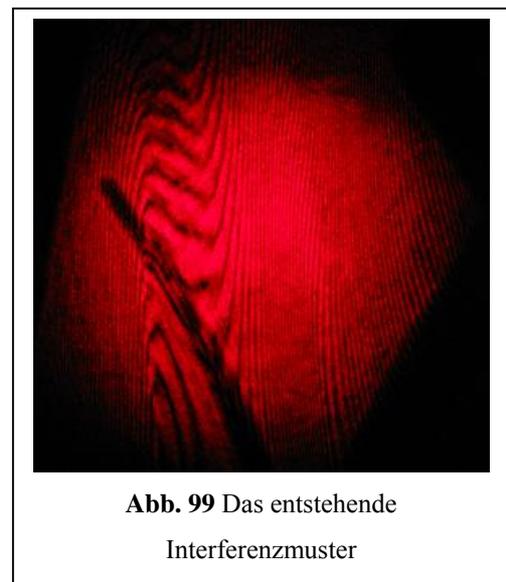


Beobachtung:

Du kannst an der Wand ein Interferenzmuster erkennen.

Physikalischer Hintergrund:

Durch die Sammellinse, die stark gekrümmt ist, wird der Laserstrahl aufgeweitet. Dieser trifft auf die Glasplatte und wird vor dem Austritt zum Teil reflektiert, zum Teil vom Lot gebrochen. Der reflektierte Teil des Strahls wird an der Innenseite der Glasplatte wieder reflektiert und tritt beim anschließenden Austreten aus der Glasplatte ebenfalls vom Lot gebrochen. Durch diese Aufspaltung entstehen Gangunterschiede und die zwei Wellenzüge interferieren und stellen ein Interferenzmuster an der weißen Wand dar.



Das optische Lineal

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Nebelmaschine
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Erzeuge vor dem Laser eine Nebelwand mit der Nebelmaschine und beleuchte mit dem Laser die Wand.

Beobachtung:

Du kannst feststellen, dass der Laserstrahl geradlinig verläuft und auf der Wand ein kleiner Punkt zu sehen ist.

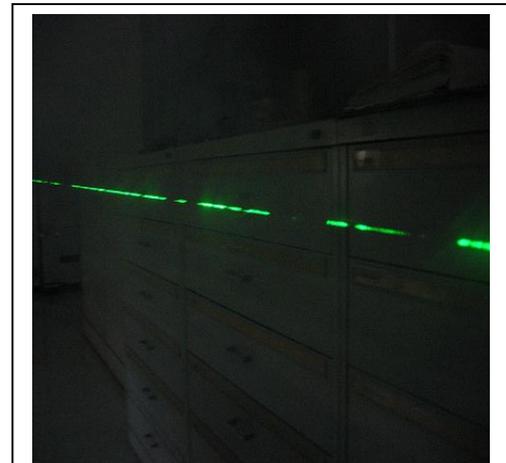


Abb. 100 Der Laserstrahl verläuft geradlinig

Physikalischer Hintergrund:

Ein Laserstrahl kann weitgehend als Bündel paralleler Lichtstrahlen aufgefasst werden. Im Vergleich zu weißem Licht, das sich beim Austreten aus einer Lichtquelle kegelförmig ausbreitet, verläuft der Laserstrahl annähernd geradlinig. Dieses Phänomen rührt von der speziellen Entstehung des Laserlichts her. Es werden Atome bzw. Moleküle von einer elektromagnetischen Welle mit bestimmter Wellenlänge angeregt, um anschließend wieder Licht mit der gleichen Wellenlänge zu emittieren. Dieses regt wieder Atome an usf. Deshalb verläuft der Laserstrahl bei Flüssigkeits- und Festkörperlaser (fast) geradlinig und der Strahl hat nur eine geringe Divergenz von etwa 1° (bei Gaslasern $0,05^\circ$). Es gelingt mit Lasern relativ leicht, Lichtstrahlung hoher Intensität zu erzeugen, allerdings ist der Wirkungsgrad der meistens Laser in Bezug auf die eingekoppelte Pumpleistung relativ niedrig (10^{-2} % bis 20 %).

Die Eigenschaften des Lasers, der geringe Querschnitt des Laserstrahls, die geradlinige Ausbreitung und die großen Intensitäten, werden heute in der Technik unter anderem zur genauen Justierung von Maschinen angewandt und ersetzen damit die, um einiges aufwändigere Methode mit Lineal und Messuhr. Derartige Laser werden als Fluchtungslaser bezeichnet.

Neben der Messung von Entfernungen in der Größenordnung von 1 km und darüber, sind auch Geschwindigkeitsmessungen, auf Grundlage des Dopplereffekts, möglich. Die großen Strahlungsintensitäten ermöglichen Materialbearbeitungsprozesse, wie Schweißen, Härten, Bohren, Reinigen, die gegenüber herkömmlichen Methoden viele Vorteile besitzen.

Wegen der hohen Leistungsdichte ist die Erwärmungszone viel kleiner und die Deformation der Materialien geringer. Es gibt keinen Materialverschleiß, da die Erhitzung „berührungslos“ erfolgt. Der Laserstrahl kann auf einen sehr kleinen Durchmesser gebracht werden und sehr genau positioniert werden.

Für harte Materialien wie zum Beispiel Diamant, werden Laser verwendet, die große Leistungen erzielen wie CO₂-Laser.

Speckles

Material:

- ✓ Laser
- ✓ Metalloberfläche
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Beleuchte mit dem Laser über Reflexion an einer Metalloberfläche eine weiße Wand, so dass ein unregelmäßiges Muster entsteht. Betrachte das Muster und bewege deinen Kopf hin und her.

Beobachtung:

Du kannst ein unregelmäßiges Muster erkennen, das sich zufällig einstellt.

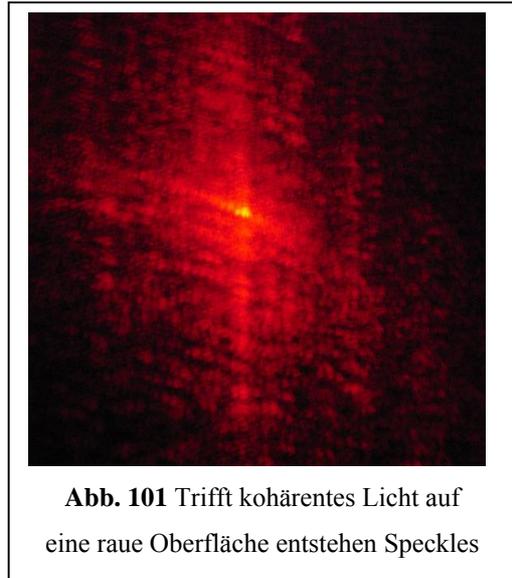


Abb. 101 Trifft kohärentes Licht auf eine raue Oberfläche entstehen Speckles

Physikalischer Hintergrund:

Speckles entstehen, wenn das kohärente (Lichtwellen gleicher Frequenz bzw. Wellenlänge mit konstanter Phasenverschiebung) Laser-Licht auf eine raue Oberfläche trifft. Dadurch wird das Licht diffus reflektiert und es entsteht dieses spezifische Muster, das sich ganz zufällig einstellt. Diese Muster beinhaltet Informationen über die beleuchtete Oberfläche und durch Verschiebung der Probe und der Konsequenz, dass sich dadurch das Speckle – Muster ändert, können die physikalischen Ursachen dafür erklärt werden.

Auch der Mensch kann sich das Speckle – Muster zu nutze machen. Wenn das Muster an der Wand beobachtet und der Kopf dabei langsam hin und her bewegt wird, so kann es dazu kommen, dass sich das spezifische Muster an der Wand jeweils in der Gegenrichtung ändert. In diesem Fall spricht der Mediziner von Hypermetropie oder Weitsichtigkeit, da der Pupillenreflex zu langsam vor sich geht. Bewegt sich das Muster in die gleiche Richtung mit, so ist man kurzsichtig.

Darstellung einer Welle

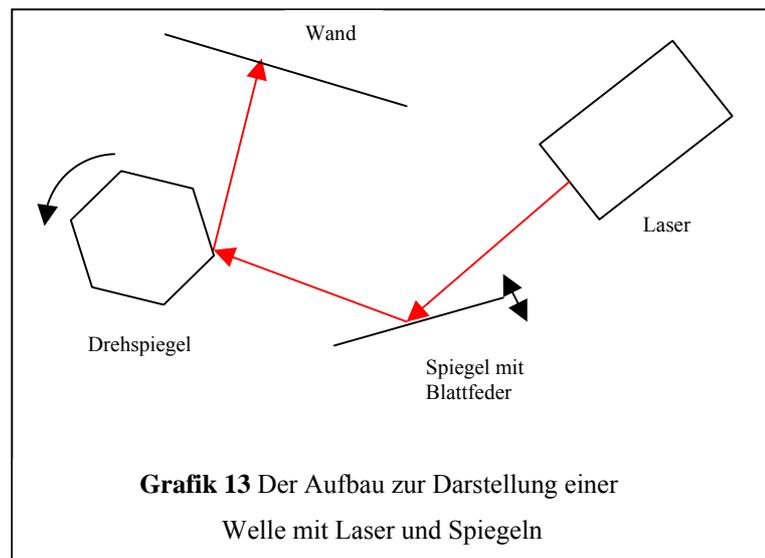
Material:

- ✓ Laser
- ✓ Spiegel
- ✓ Blattfeder
- ✓ Drehspiegel mit Motor
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Ordne den Spiegel, der auf einer Blattfeder befestigt ist, wie in der nebenstehenden Grafik gezeigt, an. Richte den

Laserstrahl auf den Spiegel, so dass dieser auf den Drehspiegel reflektiert wird. Anschließend setzt du den Drehspiegel in Bewegung, lenkst den Spiegel mit der Blattfeder aus und betrachtest die weiße Wand.



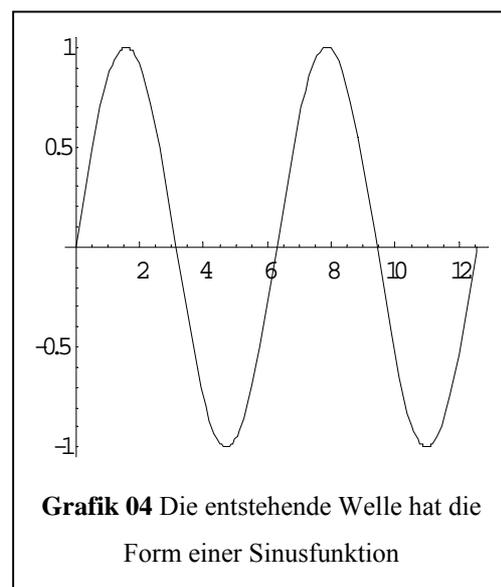
Beobachtung:

Du kannst auf der Wand den reflektierten Laserstrahl erkennen, der sich auf und ab bewegt und sich nach einer Richtung fortpflanzt.

Physikalischer Hintergrund:

Das gesamte Phänomen beruht auf der Reflexion des Laserstrahls an den Spiegeln. Am vertikal schwingenden Spiegel wird der Laserstrahl auf den sich drehenden Zylinderspiegel reflektiert. Dieser reflektiert den sich auf und ab bewegenden Laserstrahl auf eine weiße Wand. Die Fortpflanzungsrichtung der Welle ergibt sich durch die Drehung des Zylinderspiegels. Wegen eben dieser permanenten Drehung und der Gültigkeit des Reflexionsgesetzes wird der Laserstrahl fortbewegt.

Diese entstehende Welle kann durch eine Sinusfunktion beschrieben werden.



Überlagerung von Schwingungen

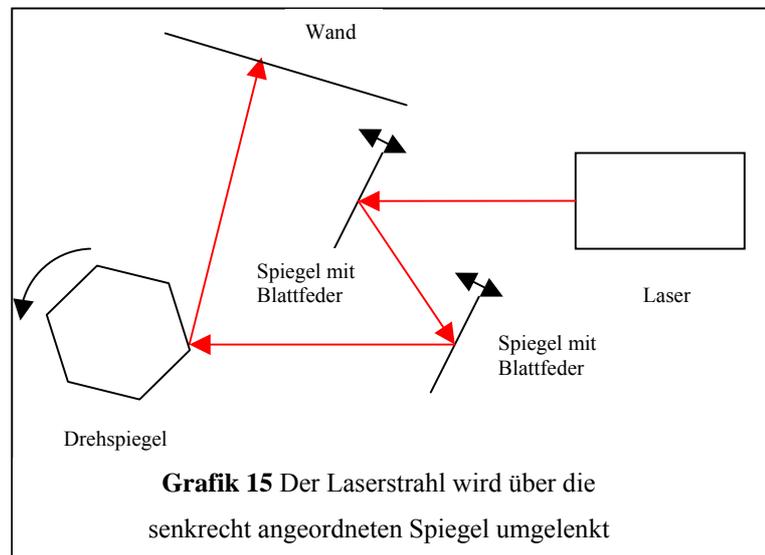
Die fotografische Aufnahme dieses Experiments war auf Grund der schlechten zeitlichen Auflösung der Digitalkamera nicht möglich.

Material:

- ✓ Laser
- ✓ 2 Spiegel
- ✓ 2 Blattfedern
- ✓ Drehspiegel mit Motor
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Richte den Laserstrahl auf den ersten, auf der Blattfeder befestigten, Spiegel, sodass er von dort auf den zweiten Spiegel und anschließend über den Drehspiegel auf die Wand reflektiert wird. Beide Spiegel sollen in derselben Richtung schwingen. Versetze nun beide Spiegel in Schwingung und beobachte die Wand.

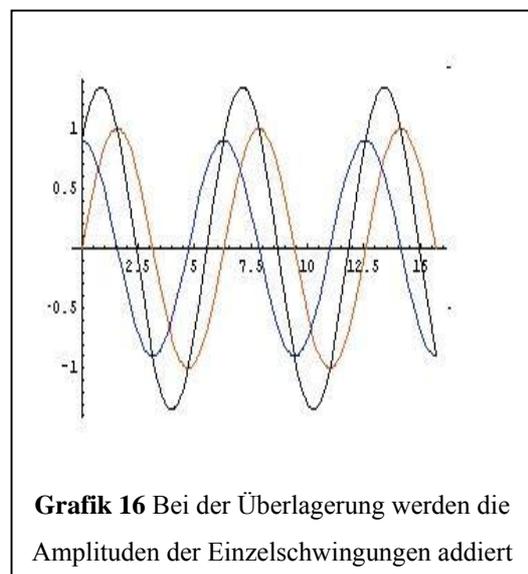


Beobachtung:

Du kannst an der Wand eine Schwingung beobachten, deren Amplitude (größte Auslenkung von der Ruhelage) verschieden ist von jenen der beiden Einzelschwingungen.

Physikalischer Hintergrund:

Mathematisch betrachtet handelt es sich um zwei Sinusfunktionen, deren Funktionswerte an jeder Stelle addiert werden. Deshalb ändert sich auch der Wert der daraus resultierenden Schwingung. Schwingen die beiden Spiegel genau gegenläufig mit der gleichen Frequenz und Amplitude, kommt es zur Auslöschung der resultierenden Schwingung, das heißt, dass deren Amplitude null ist. Dieser Fall wird allerdings schwer zu realisieren sein, weshalb man meist eine Veränderung der Amplitude wahrnehmen wird.



Die mathematische Formulierung:

$$S_1 = A_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \delta_1) \quad (19)$$

$$S_2 = A_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \delta_2) \quad (20)$$

$$S_{res} = S_1 + S_2 \quad (21)$$

wobei

A	Amplitude
ω	Frequenz
t	Zeit
δ	Phase

Schwebung

Die fotografische Aufnahme dieses Experiments war auf Grund der schlechten zeitlichen Auflösung der Digitalkamera nicht möglich.

Material:

- ✓ Laser
- ✓ 2 Spiegel
- ✓ 2 Blattfedern
- ✓ Drehspiegel mit Motor
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Der Aufbau entspricht dem des Versuchs auf Seite 82 („Überlagerung von Schwingungen“). Achte darauf, die beiden Spiegel gleich stark und unmittelbar hintereinander auszulenken.



Abb. 102 2 parallel angeordnete Spiegel werden zugleich in Schwingung versetzt

Beobachtung:

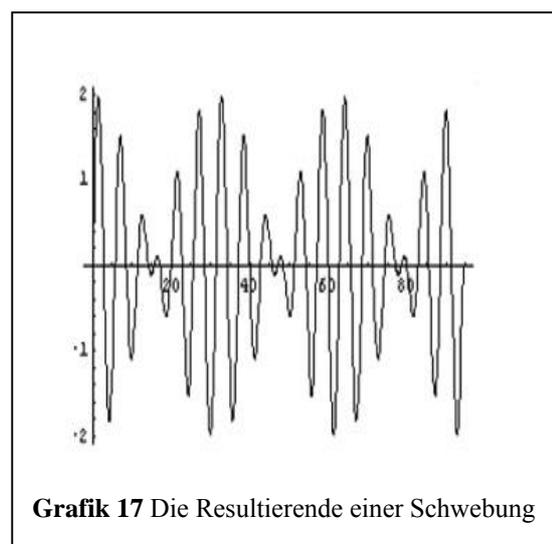
Du kann auf der Wand eine Schwingung erkennen, deren Amplitude sich periodisch wiederholt.

Physikalischer Hintergrund:

Im Sonderfall der Schwebung sind die Amplituden der Einzelschwingungen gleich groß und die Frequenzen unterscheiden sich nur wenig.

Grundsätzlich handelt sich aber wieder um eine Überlagerung von zwei Schwingungen.

Die resultierende Schwingung weist Elongationen (Auslenkungen von der Ruhelage) auf, die sich periodisch wiederholen.



Grafik 17 Die Resultierende einer Schwebung

Lissajousfiguren

Die fotografische Aufnahme dieses Experiments war auf Grund der schlechten zeitlichen Auflösung der Digitalkamera nicht möglich.

Material:

- ✓ Laser
- ✓ 2 Spiegel
- ✓ 2 Blattfedern
- ✓ Weiße Wand

Aufbau:

Befestige den ersten Spiegel auf einer Blattfeder, die vertikal schwingt, den zweiten auf einer Blattfeder, die horizontal schwingt. Richte den Laserstrahl auf den ersten Spiegel, von wo aus er auf den zweiten Spiegel reflektiert werden soll.

Diesen richtest du so ein, dass anschließend der Laserstrahl auf der weißen Wand zu sehen ist. Versetze beide Spiegel in Schwingung, verdunkle gegebenenfalls den Raum und beobachte auf der weißen Wand.



Abb. 103 Die beiden schwingenden Spiegel zu diesem Experiment

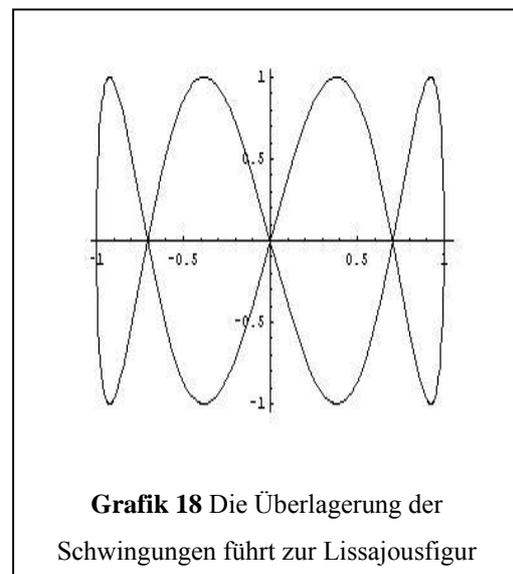
Beobachtung:

Du kannst auf der Wand eine Lissajousfigur erkennen, die immer kleiner wird und schließlich wieder verschwindet.

Physikalischer Hintergrund:

Durch die Anordnung der Spiegel werden zwei ebene Schwingungen erzeugt, die anschließend auf der Wand zu einer zweidimensionalen Figur, der Lissajousfigur, überlagert werden. Wichtig dabei ist, dass die Einzelschwingungen senkrecht zueinander stehen.

Wegen der Dämpfung, die die Amplituden der Einzelschwingungen immer kleiner werden lässt, wird die Lissajousfigur ebenfalls immer kleiner bis sie schließlich ganz verschwindet, sobald die Federn nicht mehr schwingen. Dann ist nur mehr der Laserpunkt als Folge der Reflexionen zu sehen.



Grafik 18 Die Überlagerung der Schwingungen führt zur Lissajousfigur

(4) Literaturverzeichnis

- [1] *Zeier, E.*: Physikalische Freihandversuche – Kleine Experimente, Aulis Verlag Deubner und CO KG, 1985.
- [2] *Vogel, H.*: Gerthsen Physik, 18. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995.
- [3] *Gobrecht, H. u.a.*: Bergmann – Schaefer/Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 3 – Optik, 8. Auflage, Walter de Gruyter, New York, 1987.
- [4] *Jaros, A., Nussbaumer, A., Nussbaumer, P.*: Basiswissen 2, Verlag Hölder-Pichler-Tempsky, Wien, 1992.
- [5] *Hilscher, H. u.a.*: Physikalische Freihandexperimente, Band 2, Aulis Verlag Deubner, Köln, 2004.
- [6] *Breuer, H.*: dtv-Atlas Physik, Band 1, 6. Auflage, Deutscher Taschenbuchverlag GmbH&Co.KG, München, 2000.
- [7] *Pottlacher, G.*: Physik für Bauingenieure, Institut für Experimentalphysik, TU Graz, Graz, 2002.
- [8] *Jäger, H.*: Experimentalphysik 1, 23. Auflage, Institut für Experimentalphysik, TU Graz, Graz, 1999.
- [9] *Lincke, R.*: Skriptum der Universität Kiel, Besucherlabor des Institutes für Experimentalphysik der Universität Kiel, Universität Kiel, Kiel, 1983.
- [10] *Bloomfield, L.*: How Things Work: The Physics of Everyday Life, John Wiley & Sons Inc., New York, 1997.
- [11] *Pedrott, F., u.a.*: Optik für Ingenieure – Grundlagen, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.

(5) Sachverzeichnis

A		L	
Aberration	54	Laser	58
sphärische	54	Lehrplan	4
B		Lichtleiter	18
Beugung	31	Linse	50
am Doppelspalt	67	Brennweite einer	52
am dünnen Draht	66	Linsenfehler	54
am Gitter	34, 68	Linsengleichung	52
am kreuzförmigen Gitter	69	Lissajousfigur	85
am schrägen Gitter	70	Lochkamera	21
am Spalt	31, 67	Lupe	24
an Lochblende	71	M	
an Wassertropfen	33	Mikroskop	25
Besselfunktion	72	N	
Brechkraft	52	Newton – Ringe	38
Brechung	9, 61	O	
Brechungsindex	15	Objektiv	25
Brewster-Winkel	56	Okular	25
C		Optisches Lineal	78
Chromatographie	47	P	
CMY – System	46	Papierzylinder	59
D		Pentagonalprisma	63
Diaprojektor	27	Polarisation von Licht	55
Dioptrie	52	Polarisator	55
Dispersion	19	Prisma	19
F		R	
Farbkreis	43	Reflexion	5, 58
Farbmischung	41	diffuse	8, 59
additive	41	reguläre	8
subtraktive	45	Reflexionsgesetz	6
Farbzerlegung	47	Regenbogen	33
Fermatsches Prinzip	26	RGB – System	42
Fotoapparat	29	S	
Freihandversuch	1	Sammellinse	50
H		Schusterkugel	20
Himmelfarben	48	Schwebung	84
Huygenssches Prinzip	32	Schwingung	82
Hypermetropie	80	Überlagerung von	82
I		Seifenblasenlösung	40
Interferenz	36	Rezept zur Herstellung	40
destruktive	36	Seifenlamelle	39
konstruktive	36	Spannungsoptik	57
an einer Glasplatte	77	Speckles	80
Interferenzversuch nach Pohl	36	Spektralfarben	19
K		Streuung	48
Kondensornlinse	27	T	
Kurzsichtigkeit	80	Teleskop	28
		Totalreflexion	9, 60
		Grenzwinkel zur	13

Sachverzeichnis

Tripelprisma.....	65	Welle.....	81
Tubuslänge.....	26	Darstellung einer.....	81
U		Wellenlängenbestimmung mittels Beugung	75
Umkehrlinse.....	53	Wellenlängenbestimmung mittels Reflexion	73
Umkehrprisma.....	62	Z	
W		Zerstreuungslinse	51
Weitsichtigkeit	80	Zylinderlinse	23