

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Fakultät für Physik und Astronomie
Lehrstuhl für Physik und ihrer Didaktik

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an Gymnasien 2012

Schriftliche Hausarbeit

Thema: „Schülerlabor Physik und Kriminalistik“

eingereicht von: Ines-Maria Ottohal

Fach: Physik Didaktik

eingereicht am: 24.02.2012

Dozent: Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Vorwort

Die Bezeichnung weiblicher und männlicher Personen durch die jeweils maskuline Form in dem nachstehenden Dokument bringt die verfassungsrechtlich gebotene Gleichstellung von Mann und Frau sprachlich nicht angemessen zum Ausdruck. Auf die Verwendung von Doppelformen oder anderen Kennzeichnungen für weibliche und männliche Personen wird jedoch verzichtet, um die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit zu wahren. Mit allen im Text verwendeten Personenbezeichnungen sind stets beide Geschlechter gemeint.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG.....	S.1
2. KRIMINALISTIK UND KRIMINALTECHNIK.....	S.2
2.1. Vorgehen der Kriminalbeamten am Tatort.....	S.2
2.2. Vorgehen im kriminaltechnischen Labor	S.3
2.3. Forensische Pathologie	S.6
3. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN.....	S.7
3.1. Optik.....	S.7
3.1.1 Geometrische Optik und die Ausbreitung von Licht	S.7
3.1.2 Reflexion und Brechung	S.7
a) Reflexion an einer ebenen Oberfläche	S.7
b) Brechung	S.8
c) Totalreflexion.....	S.9
d) Prismen.....	S.10
3.1.3 Optische Geräte.....	S.11
a) Das menschliche Auge.....	S.12
b) Die Lupe.....	S.13
c) Linsenfehler.....	S.13
d) Das Mikroskop	S.19
e) Das Vergleichsmikroskop	S.21
3.2. Atomphysik.....	S.22
3.2.1 Emission und Absorption von Licht	S.22
3.2.2 Spektrallinien	S.23
3.2.3 Lumineszenz	S.24
a) Allgemein.....	S.24
b) Thermolumineszenz	S.26
3.3. Elektrostatik	S.26
3.3.1 Coulombkraft.....	S.26
3.3.2 Das elektrische Feld.....	S.27
3.3.3 Influenz	S.28
3.4. Kinematik.....	S.28
3.4.1 Die Bewegungsgleichungen einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung S.29	
3.4.2 Der freie Fall	S.29
3.4.3 Der waagerechte Wurf	S.30
a) Bewegung in y-Richtung.....	S.30
b) Bewegung in x-Richtung.....	S.30
c) Bewegung im Zweidimensionalen.....	S.30
4. EINORDNUNG DER THEMENGEBIETE IN DEN LEHRPLAN DES G8	
.....	S.31
4.1. Siebte Jahrgangsstufe	S.31

4.1.1	Elektrischer Strom	S.31
4.1.2	Optik.....	S.31
4.2	Achte Jahrgangsstufe	S.32
4.2.1	Energie als Erhaltungsgröße.....	S.32
4.3	Neunte Jahrgangsstufe.....	S.32
4.3.1	Atomphysik	S.32
4.3.2	Kinematik geradliniger Bewegungen.....	S.33
4.3.3	Elektrotechnik	S.33
5.	AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG DES SCHÜLERLABORS.....	S.34
5.1	Vorüberlegungen.....	S.34
5.1.1.	Der fiktive Tathergang.....	S.34
5.1.2.	Bericht über die Sachlage.....	S.35
5.1.3.	Anweisungen an die Betreuer	S.35
5.1.3	Anweisungen an die Schüler	S.36
5.2	Aufbau des Schülerlabors	S.36
5.2.1	Der Eingangsvortrag.....	S.36
5.2.2	Station 1	S.37
5.2.3	Station 2	S.42
5.2.4	Station 3	S.47
5.2.5	Station 4	S.52
5.3	Durchführung und Erfahrung	S.59
5.3.1	Station 1	S.59
5.3.2	Station 2	S.60
5.3.3	Station 3	S.61
5.3.4	Station 4	S.62
5.4	Verbesserungsmöglichkeiten.....	S.66
5.4.1	Station 1	S.66
5.4.2	Station 2	S.66
5.4.3	Station 3	S.66
5.4.4	Station 4	S.67
6.	FAZIT	S.69
7.	VERZEICHNISSE	S.70
7.1	Literatur.....	S.70
7.2	Abbildungen	S.71
7.3	Tabellen.....	S.73
7.4	Bilder der Durchführung.....	S.73

8. ANHANG.....	S.75
9. DANKSAGUNG	S.137
10. SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG.....	S.138

1. EINLEITUNG

Schaltet man heute den Fernseher ein, so findet man mindestens einen Sender, auf dem eine Serie oder ein Film zur Aufklärung eines Kriminalfalls läuft. „Verbrechen haben die Menschen seit ewigen Zeiten gleichzeitig erschreckt und fasziniert. Das Verbrechen selber und seine Aufklärung – beides weckt unsere Neugier und dieser Kampf zwischen Gut und Böse fesselt die Aufmerksamkeit jeden Alters und jeglicher Herkunft.“¹ Kein Wunder also, dass zur Prime Time Serien wie CSI NY, CSI Miami, Boston Legal und viele mehr laufen. Das Interessante hierbei ist, vergleicht man diese neueren Serien mit alten Krimis, bemerkt man schnell, dass die Kriminaltechnik immer wichtiger wurde um Kriminalfälle zu lösen. Dies ist nicht nur in der Filmwelt so, sondern auch im wahren Leben vereinfachen die Forensik und Kriminaltechnik die Spurensuche und die Untersuchung der Beweismaterialien. Schade daran ist nur, dass in den Filmen viele physikalische Vorgänge gezeigt, jedoch nicht erklärt werden und damit für Laien nicht zu verstehen sind. „Wer sich seine Neugier bisher erhalten konnte, bleibt nicht nur mit ihr allein gelassen, er bekommt sie regelrecht abgewöhnt.“² Aber genau an solchen Themen sollte man als Lehrer anknüpfen, um die Neugierde der Schüler, in Bezug auf physikalische Vorgehensweisen, zu wecken. Im nachfolgenden Text werden einige Vorgänge der Kriminalbeamten genauer erklärt. Zu einigen dieser Vorgehensweisen wurde ein Schülerlabor erstellt, um den Schüler die Möglichkeiten der Physik im Bereich der Aufklärung eines Kriminalfalles nahe zu bringen.

¹ Physik auf der Spur, Patrick Voss-de Haan, S. 1

² Physik auf der Spur, Patrick Voss-de Haan, S. IX

2. KRIMINALISTIK UND KRIMINALTECHNIK

Jeder Mensch hinterlässt Spuren von sich, ob in Form von Haaren, Fingerabdrücken oder Schuhspuren. Dieses Phänomen wurde als Erstes vom Polizisten Dr. Edmond Locard, welcher auch „das erste kriminaltechnische Labor in der Stadt Lyon eingerichtet hatte“³, beobachtet und wurde zur Basis der modernen forensischen Untersuchung.⁴ Nur unter dieser Annahme ist es möglich den Tatort nach Beweisen abzusuchen, um den Tathergang zu rekonstruieren und herauszufinden, was sich wirklich dort abgespielt hat, obwohl man selbst nicht dabei gewesen ist.

Man unterscheidet nun zwischen sichtbaren, plastischen und latenten Abdrücken. „Sichtbare Abdrücke liegen dann vor, wenn eine Substanz wie Blut, Tinte, Farbe, Schmutz oder Fett an den Fingern einen leicht sichtbaren Abdruck hinterlässt. Plastische Abdrücke haben eine dreidimensionale Gestalt (...) [und] latente Abdrücke sind für das bloße Auge unsichtbar und können ohne spezielle Beleuchtung oder spezielle Weiterverarbeitung nicht gesehen werden.“⁵ Nun liegt es an der Kriminalistik und Kriminaltechnik diese Spuren zu finden und sie dem Täter zuzuordnen. Dies geschieht in folgender Reihenfolge. „Zunächst wird festgestellt, ob überhaupt ein Verbrechen vorliegt. Ist das der Fall, kann die wissenschaftliche Auswertung von Beweismaterial dazu beitragen, den Täter zu überführen. Die Aufgabe der Forensik besteht vor allem darin, Verdachtsmomente am Tatort zu finden und auszuwerten, die der Beweisführung dienen können.“⁶ Im nachfolgenden Text werden die Vorgehensweise der Kriminalbeamten am Tatort, die Methoden, die im kriminaltechnischen Labor zum Einsatz kommen und das Vorgehen der Gerichtsmediziner genauer unter die Lupe genommen.

2.1 Vorgehen der Kriminalbeamten am Tatort

Bevor der Tatort auf Beweise untersucht wird, muss der erste Beamte, der am Tatort eintrifft, folgende Maßnahmen, wie sie in „CSI-Forensik für Dummies“⁷ beschrieben sind, durchführen. Er muss sicherstellen, dass seine eigene und die Sicherheit der anderen Menschen, die sich in Nähe des Tatorts befinden, gewährleistet sind. Er muss erste Hilfe leisten, falls eine verletzte Person ärztliche Hilfe benötigt und muss Hilfs- und Sicherungspersonal anfordern, wenn die Situation es erfordert. Als nächstes muss er den Tatort absperren, damit keine Beweise vernichtet werden und alle Tatverdächtigen oder Zeugen festhalten. Als letztes müssen alle Personen, die den Tatort betreten oder verlassen, aufgezeichnet werden. All dies muss innerhalb einer kurzen Zeit geschehen, da die Ermittler „sobald wie möglich nach einem Verbrechen Beweise suchen [müssen], auch wenn das gefährlich ist und sie unter bewaffnetem Schutz arbeiten müssen.“⁸

³ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 6

⁴ Vgl. CSI-Forensik für Dummies, D. P. Style, S.40

⁵ CSI-Forensik für Dummies, D. P. Style, S.115

⁶ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 7

⁷ Vgl. CSI-Forensik für Dummies, D. P. Style, zu Beginn

⁸ Kriminalistik, Chris Cooper, S.7

„Zu den wichtigen, am Tatort gefundenen Beweismaterialien gehören Fingerabdrücke, Fußspuren, Patronenhülsen und kleinere Spuren wie Haare, (...), Blut und andere Flecken“⁹. Gewisse Spuren, wie DNA, sind mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen und müssen deshalb im Labor untersucht werden.

Es muss auf jeden Fall alles, was dabei helfen kann, ein Verbrechen aufzuklären, dokumentiert, fotografiert und verwahrt werden. Damit keine Beweise zerstört werden, tragen die Beamten stets Spezialoveralls, Überschuhe und Mundschutz. Außerdem tragen sie, wie im Buch „Dem Täter auf der Spur“ auf S. 29 aufgelistet ist, eine gewisse Ausrüstung¹⁰. Um Spuren finden zu können benötigen sie immer eine Lupe, eine Taschen-, Infrarot- und UV-Lampe. Pulver und Klebeband wird zum Abnehmen von Fingerabdrücken und Pinzette, Cutter, Schere und Wattestäbchen zum Einsammeln von Spuren wie Haaren, Fasern und Flüssigkeiten benötigt. Um Reifen-, Fuß- und Werkzeugspuren sicherzustellen braucht man Gips, Wasser, ein Gefäß zum Anrühren und einen Spachtel. Damit die gefundenen Beweise nicht zerstört werden, tragen die Kriminalbeamten zusätzlich noch Plastik- und Papierbeutel, Glasröhrchen und einen wasserfesten Stift oder Klebeetiketten bei sich. Außerdem tragen sie zusätzlich alles, was sie zur Entnahme von DNA-Proben benötigen, wie Wattestäbchen und Einweghandschuhe, bei sich.

2.2 Vorgehen im kriminaltechnischen Labor

„Forensiker verschiedener Fachgebiete arbeiten gemeinsam in kriminaltechnischen Labors. (...) Wissenschaftler in großen Labors untersuchen Beweismaterial wie DNA, Fingerabdrücke, Haare, Zähne, Blut, Drogen, Gifte, Fasern, Farben, Glas, Schusswaffen und Geschosse, Sprengstoffe, Boden und Pflanzen, Reifenabdrücke und Werkzeugspuren.“¹¹

Die gesamten Vorgehensweisen, wie sie im Folgenden beschrieben werden, stammen aus „Dem Täter auf der Spur“ von John D. Wright.

In jedem Bundesland gibt es ein Landeskriminalamt mit einem kriminaltechnischen Labor, und zusätzlich gibt es das Kriminaltechnische Institut des Bundeskriminalamts.

Wenn ein Beweisstück untersucht werden soll, wird zunächst entschieden, welche Untersuchungen überhaupt durchzuführen sind und dann, wenn nötig, wird es in die zuständige Fachabteilungen, wie z.B. Biologie, Chemie, Schusswaffen oder Dokumentenfälschung, geschickt.

Um Fingerabdrücke eindeutig zuzuordnen, müssen sie zunächst in einem System zur Fingerabdruck-Erkennung gespeichert worden sein. Deutschland benutzt das System von Sir Edward Henry, das Fingerabdrücke nach Bögen, Schlaufen und Wirbeln unterscheidet. Wurde nun ein Fingerabdruck am Tatort abgenommen, wird dieser im Labor eingescannt und mittels Automated Fingerprint System automatisch mit den gespeicherten Abdrücken verglichen.

Auch kleinste Spuren müssen im Labor untersucht werden, deshalb besitzt das Labor eine Sammlung von Haaren, Stoffen, Fasern und vielen anderen Dingen, welche als Vergleiche verwendet werden.

⁹ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 9

¹⁰ Vgl. Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 29

¹¹ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 57

2. KRIMINALISTIK UND KRIMINALTECHNIK

Je nachdem wie groß der zu untersuchende Gegenstand ist, werden verschieden Mikroskope verwendet. „Mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) kann man Oberflächendetails erkennen, die 100 000-mal feiner als ein Haar sind. Lichtmikroskope durchleuchten das Objekt und werden oft zur Identifikation von Haaren benutzt. Vergleichsmikroskope sind zwei miteinander verbundene Lichtmikroskope, die es ermöglichen, durch ein Okular zwei Objekte zu betrachten.“¹²



Abb. 1 Computer-Darstellung eines DNA-Stranges mit verschiedenen Atomen¹³

Da DNA in jeder Zelle des Menschen vorhanden ist und sich schon in mikroskopisch kleinen Spuren nachweisen lässt, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind, ist die Wahrscheinlichkeit, dass DNA-Spuren am Tatort vorhanden sind, viel größer, als dass der Täter Fingerabdrücke hinterlassen hat.

„DNA hat die Struktur einer Doppelhelix (...). Im Inneren der Spirale befinden sich drei Milliarden Querverbindungen.“

¹² Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 71

¹³ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 77

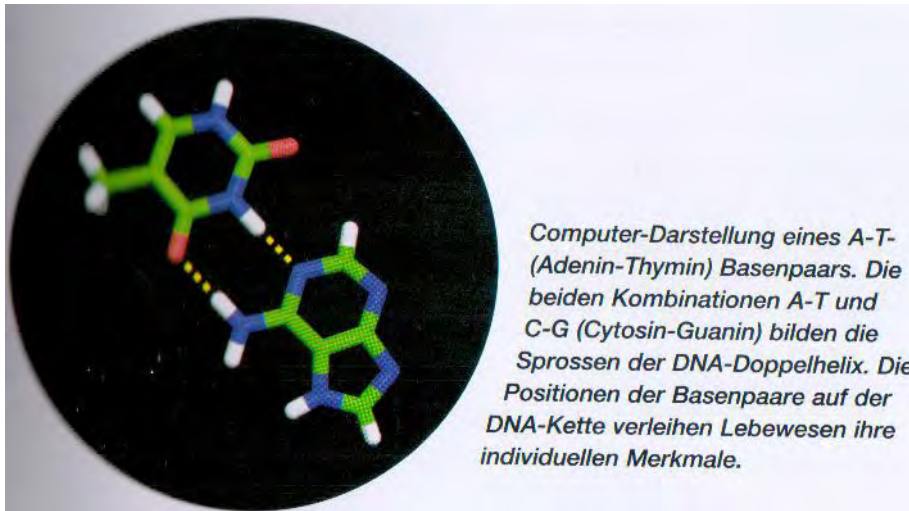


Abb. 2 Sprosse¹⁴

Diese „Sprossen“ der Leiter werden von vier Basen gebildet: Guanin (G), Cytosin (C), Thymin (T) und Adenin (A). Die Abfolge dieser Basen innerhalb des Strangs ist bei jedem Menschen einzigartig, ausgenommen bei eineiigen Zwillingen.¹⁵ Bei der Doppelhelix können sich jedoch nur C und A oder A und T verbinden. Auch bei der Vervielfältigung der DNA entstehen wieder dieselben Verbindungen, weswegen es möglich ist, Individuen mittels ihrer DNA zu identifizieren. Zusätzlich zur Zellkern-DNA gibt es noch die mitochondriale DNA, welche sich nur in den Mitochondrien befindet und nur von der Mutter weitergegeben werden kann, wohingegen die Zellkern-DNA von beiden Elternteilen zu gleichen Anteilen vererbt wird.

Im Labor können Wissenschaftler geringe Proben an DNA vervielfältigen. Hierbei verwenden sie das Verfahren der Polymerase-Kettenreaktion, bei der sie innerhalb von 2 Stunden, Millionen identische Kopien erzeugen können. Bei diesem Verfahren, welches von Kary Mullis entwickelt wurde, wird die DNA-Probe mit Salzwasser, Polymerase, den vier Basen und Primern (zwei DNA-Fragmenten, die sich an den Seiten einer Zielsequenz anlagern) in ein Reagenzglas gegeben und vermischt, dann erhitzt und wieder abgekühlt. „[Dabei] lagern sich die Primer an die entsprechenden Sequenzen an, sodass die Polymerase aus den Primern neue ergänzungsfähige Stränge bildet. Durch wiederholtes Erhitzen und Abkühlen wird die DNA exponentiell vervielfältigt“¹⁶ und kann nun untersucht werden. Hierfür wird sie mit fluoreszierenden Mitteln eingefärbt, in einzelne Stränge getrennt und mittels Elektrophorese der Länge nach geteilt. Mittels Laser werden die eingefärbten Fragmente zum Leuchten gebracht und diese Lichtblitze werden dann von einem Detektor aufgezeichnet, um das Profil des Verdächtigen, mit dem am Tatort gefundenen, vergleichen zu können.

Wenn die Tat mit einer Schusswaffe zu tun hat, schießt ein Techniker mit der gefundenen oder einer Vergleichswaffe vom gleichen Typ, in einen Kasten mit Gel oder einen Wassertank. Danach werden die Spuren, also Streifen und Rillen, die beim Schuss auf der Patrone entstanden sind, unter dem Mikroskop betrachtet und mit den Patronen, die bei früheren Verbrechen benutzt oder am Tatort gefunden wurden, verglichen. Oft versuchen die

¹⁴ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 79

¹⁵ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 78

¹⁶ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 84

Täter ihre Waffen unkenntlich zu machen, indem sie die Seriennummer abschleifen. Doch diese bleibt unter der Oberfläche noch erhalten, weshalb es möglich ist, sie durch Auftragen einer Ätzlösung wieder sichtbar zu machen. Selbst wenn keine Waffe gefunden wird, kann man nachweisen, ob eine benutzt wurde, indem man die Kleidung und Hände, Arme und Gesicht des Verdächtigen nach Schmauchspuren untersucht. Deshalb werden zunächst Fasern oder Haare des Beschuldigten abgenommen und dann unter einem Elektronenmikroskop betrachtet. Auch die Entfernung des Schützen von seinem Opfer kann man mittels Schmauchspuren auf dem Opfer bestimmen, da die Dichte der Schmauchspuren mit der Entfernung abnimmt.

2.3 Forensische Pathologie

„Die Arbeit des forensischen Pathologen gilt im Rahmen der Ermittlungsarbeit als besonders wichtig, weil er über fundierte Kenntnisse auf vielen verschiedenen Fachgebieten der Medizin verfügt.“¹⁷ Schon am Tatort kann er sich bei der Beweisaufnahme einen ersten Eindruck vom Geschehen und von der Todesart machen. Außerdem versuchen Pathologen zunächst die Todesursache festzustellen.

Zur Identifikation der Leiche, werden die Zähne des Toten vom forensischen Odontologen, mit den zahnärztlichen Unterlagen und Röntgenbildern verglichen.

Wenn ein Todesfall vorliegt, der zunächst unerklärlich ist, wird eine Obduktion, welche nicht nur aus dem Öffnen einer Leiche besteht, vorgenommen. Während der gesamten Obduktion ist ein Fotograf anwesend, welcher schon gleich zu Beginn Fotos des Opfers macht, damit vor Gericht gezeigt werden kann, wie das Opfer ausgesehen hat, als es aufgefunden wurde.

Vor Beginn der Sektion wird der Körper gemessen und gewogen und das Alter, das Geschlecht, sowie Haut- und Augenfarbe bestimmt. Zusätzlich müssen Kleidung und Haut des Opfers auf Spuren untersucht werden, weshalb auch Proben der Haare und Fingernägel abgenommen werden. Der Pathologe nimmt Abstriche aus Mund, Darm und Geschlechtsorganen, um auch diese zu untersuchen. Wenn nötig wird der Leichnam zusätzlich geröntgt um die Tiefe und den Verlauf von Verletzungen aufzuzeigen.

„Die Sektion folgt einem Routineablauf. Zunächst werden die Hauptorgane wie Herz und Lungen entnommen und gewogen. Danach erfolgt eine Untersuchung des Bauchraums, bei der Proben aus dem Magen entnommen werden. Dann wird der Schädel geöffnet. Abschließend wird der Körper wieder zugenäht und zur Bestattung freigegeben.“¹⁸

Um herauszufinden, ob das Opfer vergiftet wurde oder selbst Drogen zu sich genommen hat, werden Proben von Körperflüssigkeiten, Mageninhalt oder Organteile entnommen und vom forensischen Toxikologen untersucht. Wird jedoch das Blut oder andere Körperflüssigkeiten untersucht, um eine Verbindung zwischen Verdächtigen und Tatort herzustellen, wird dies von einem forensischen Serologen durchgeführt.

¹⁷ Dem Täter auf der Spur, John D. Wright, S. 62

¹⁸ Dem Täter auf der Spur, John D: Wright, S. 122

3. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

3.1 Optik

3.1.1 Geometrische Optik und die Ausbreitung von Licht

Im Bereich der geometrischen Optik wird die Größe der Wellenlänge vernachlässigt, das heißt man betrachtet den Grenzfall $\lambda \rightarrow 0$ oder $k = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \infty$. Dadurch kann die Ausbreitung des Lichts als Lichtstrahlen angenommen werden, welche sich geradlinig im Raum fortbewegen. Wird die Lichtquelle als Punktquelle angenommen, so kann das Licht das von ihr ausgeht als Kugelwelle dargestellt werden. Die Lichtstrahlen, die von ihr ausgesendet werden, stehen senkrecht auf den Wellenfronten. Wenn sich die Lichtquelle weit weg befindet, kann man von einer ebenen Lichtwelle ausgehen, also einem Parallelbündel von Lichtstrahlen.

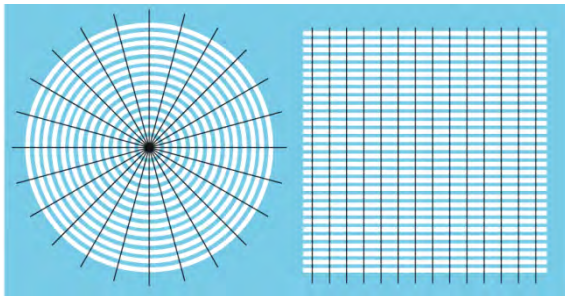


Abb. 3 Wellenfronten (weiß) und Strahlen (schwarz) einer Kreiswelle von einer Punktquelle und einer ebenen Welle (Parallelbündel)¹⁹

Diese geradlinige Ausbreitung von Lichtstrahlen dient auch dem Verständnis und der Veranschaulichung optischer Instrumente.²⁰

3.1.2 Reflexion und Brechung

a) Reflexion an einer ebenen Oberfläche

Trifft ein Lichtstrahl aus einem Medium auf ein anderes Medium, so wird dieser an der Grenzfläche ganz oder nur teilweise reflektiert. Dies bedeutet, dass er unter demselben Winkel wieder zurück gestrahlt wird, unter dem er auch auf das Medium getroffen ist. Hierbei gilt also, dass der Ausfallswinkel dem Einfallswinkel entspricht (Reflexionsgesetz). Sieht man einen Gegenstand in einem Spiegel, so handelt es sich hierbei um ein virtuelles Spiegelbild. Der wirkliche Gegenstand befindet sich, ebenso wie der Betrachter, vor dem Spiegel.

¹⁹ Gerthsen Physik; D. Meschede; S.481

²⁰ Vgl. Repetitorium der Physik; F. Kneubühl ; Teubner Studienbücher; S.293

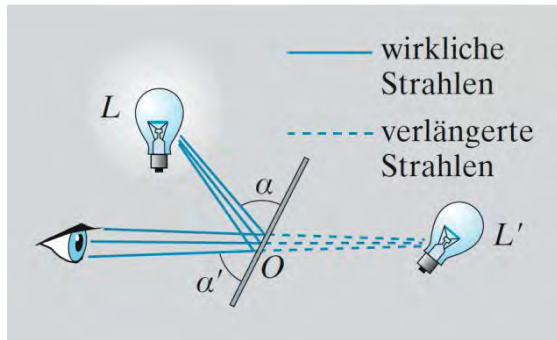


Abb. 4 Der ebene Spiegel erzeugt ein virtuelles unverzerrtes Bild²¹

Das Spiegelbild hat dieselbe Größe wie der Gegenstand. Hierbei sind die dem Spiegel zugewandte und die ihm abgewandte Seite und damit rechts und links für den Beobachter, wenn er sich in die Lage seines Spiegelbildes versetzen würde, vertauscht. Es entsteht ein scheinbarer Widerstand, da rechts und links vertauscht werden, oben und unten jedoch nicht. Der Spiegel vertauscht jedoch vorne und hinten, wobei die Vertauschung von rechts und links nur die zugehörige Folge ist.

Damit parallele Lichtstrahlen auch wieder parallel reflektiert werden, muss die Rauheit der Spiegelfläche kleiner als die halbe Wellenlänge des Lichts sein. „Die Transparenz und Absorption (halbtransparent, nicht-transparent, wellenlängenabhängige Transparenz oder Absorption) des Spiegels hat Einfluss auf Helligkeit und Farbe des Spiegelbildes. Ferner wird niemals die gesamte Energie gespiegelt, es gibt immer einen Verlust – der Reflexionsgrad ist immer kleiner 100%.“²²

b) Brechung

Trifft nun ein Lichtstrahl unter dem Winkel α_1 gegen das Einfallslot aus dem Vakuum auf ein anderes Medium, so wird, wie oben schon erwähnt, ein Teil reflektiert. Der andere Teil tritt in das Medium ein und wird dabei gebrochen, d.h. der Strahl läuft nun unter dem Winkel α_2 gegen das Lot weiter. In nachfolgender Abbildung stehen die weißen Linien für die Wellenfronten.

²¹ Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 482

²² <http://de.wikipedia.org/wiki/Spiegel>

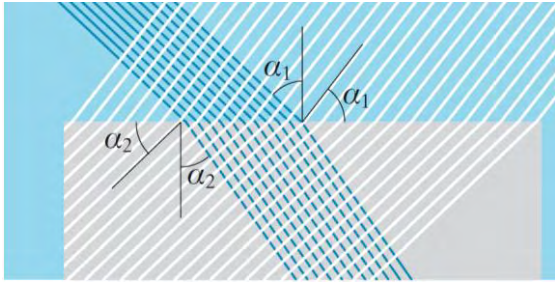


Abb. 5 Lichtstrahlen (blau) mit Einfallswinkel α_1 und nach der Brechung einen Winkel von α_2 gegen das Lot

Snellius definierte mit $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = n$ den Brechungsindex des Mediums und da die Brechung einer Welle auf den unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten c_1 und c_2 in verschiedenen Medien beruht, mit $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}$, folgt insgesamt, dass der Brechungsindex angibt, um wie viel sich das Licht im Medium langsamer bewegt, als im Vakuum:

$$n = \frac{c_0}{c_m}$$

Hierbei gibt c_0 die Geschwindigkeit im Vakuum und c_m die Geschwindigkeit im Medium an. Für den Übergang zwischen beliebigen Medien erhält man

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Die Brechzahl hängt zusätzlich von der Wellenlänge des Lichts ab. Dies wird als Dispersion bezeichnet. Somit ist es möglich weißes Licht in seine Spektralfarben zu zerlegen.

c) Totalreflexion

Beim Übergang von einem optisch dichteren zu einem dünneren Medium wird das Licht vom Lot weggebrochen. Bei einem bestimmten Winkel, tritt das Licht parallel zur Grenzfläche aus, d.h. $\alpha_2 = 90^\circ$. Hierzu errechnet sich ein Einfallswinkel von

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

Wird dieser Grenzwinkel überschritten, so kann der Strahl nicht aus dem dichteren Medium austreten und wird an der Grenzfläche reflektiert.

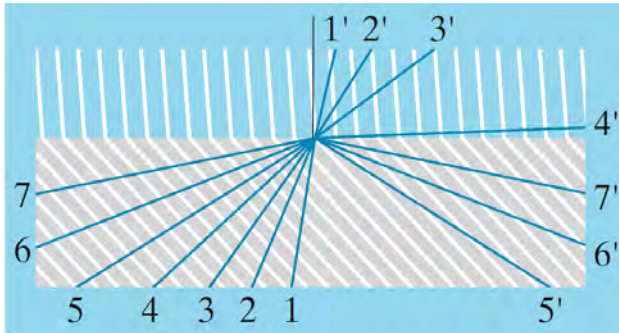


Abb. 6 Totalreflexion ab einen bestimmten Winkel²³

d) Prismen

Trifft ein Lichtstrahl auf ein dreiseitiges Prisma wird er insgesamt um den Winkel δ abgelenkt (vgl. Abb. 7). Durch Berechnung ergibt sich dieser zu $\delta = \alpha_1 - \alpha_2 + \alpha_1' - \alpha_2'$. Bei symmetrischem Durchgang liefert das Brechungsgesetz

$$n = \frac{\sin(\gamma + \delta)/2}{\sin\gamma/2},$$

wobei $\gamma + \delta = \alpha_1 + \alpha_1'$.

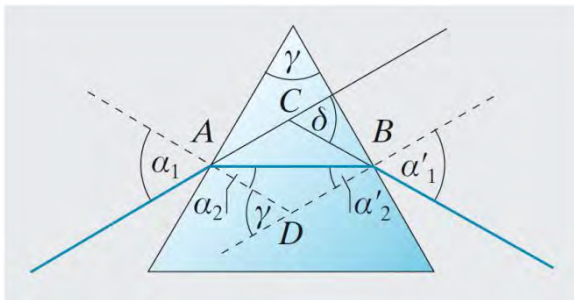


Abb. 7 Lichtbrechung an einem dreiseitigen Prisma

Wie schon erwähnt, ist die Brechzahl von der Wellenlänge abhängig. Glas bricht langwelliges Licht schwächer als kurzwelliges und somit kann weißes Licht mit einem Prisma in seine Spektralfarben zerlegt werden. Die Spektralfarben sind nur dann scharf zu erkennen, wenn das Licht aus sauber definierter Richtung kommt, wie z.B. aus einem engen Spalt.

Glas hat einen Brechungsindex von ca. 1,5. Deshalb reflektiert das 45°- Prisma besser als jeder Spiegel. Hierbei trifft der Strahl zunächst senkrecht auf die Hypotenuse auf und wird dadurch nicht gebrochen. Dann wird er zweimal totalreflektiert und trifft wieder senkrecht auf die Hypotenuse auf. Damit lenkt ein gleichseitig-rechtwinkliges Prisma das Licht um 180° um. Es vertauscht dabei aber auch rechts und links.

²³ Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 485

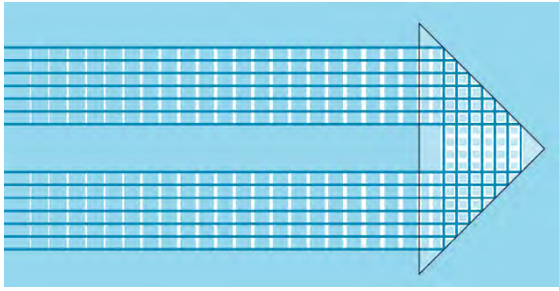


Abb.8 180°- Umlenkung durch ein gleichseitig-rechtwinkliges Glasprisma²⁴

Der Grund, dass Prismen besser reflektieren als Spiegel, liegt darin, dass bei einem Spiegel zusätzlich Reflexionsverluste und Polarisierungseffekte auftreten, die den Anteil an reflektierten Strahlen verringern. Ein Teil der Strahlung wird vom Spiegel absorbiert, indem einzelne Photonen durch das Tunneln in die Oberfläche des Spiegels eintreten.

Hier hingegen wird bei der Totalreflexion, welche nur bei transparenten Medien auftritt, das auftreffende Licht vollständig reflektiert. Dies wird auch zur Übertragung von Informationen berücksichtigt, weshalb sogenannte Glasfaserkabel verwendet werden, um Lichtimpulse zu „transportieren“. Wegen der geringen Verluste wird es auch zum Nachrichtentransport, wie Internet oder Telefon, verwendet.

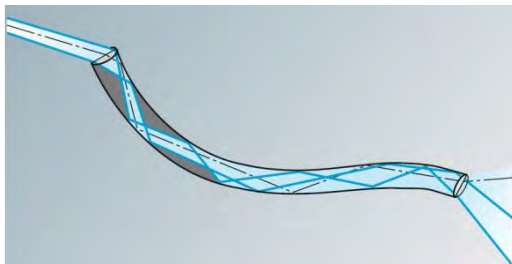


Abb. 9 Glasfaser als Lichtleiter²⁵

Aber auch bei der Totalreflexion tritt keine perfekte Reflexion auf. Zum einen hängt der Brechungsindex von der Wellenlänge des Lichts ab, wodurch Farbfehler entstehen können. Zum anderen gibt es Reflexionsverluste beim Ein- und Austritt des Strahls. „[Diese] lassen sich [jedoch] durch dielektrische Antireflex-Schichten (...) praktisch vollständig eliminieren. Damit weist das Gesamtsystem eine Effizienz von wesentlich mehr als 99% auf.“²⁶

3.1.3 Optische Instrumente

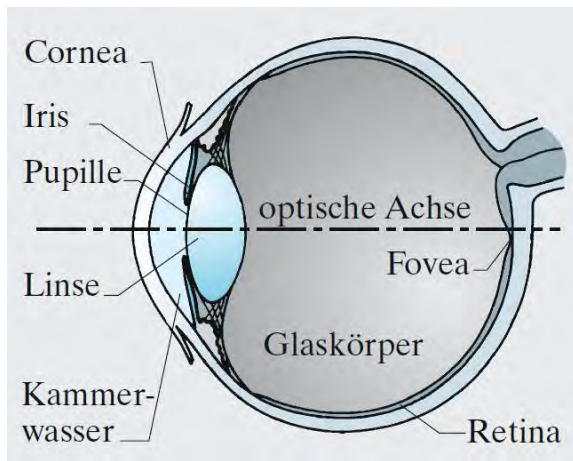
Unter optischen Instrumenten versteht man Hilfsmittel oder Körper, wie das Auge, die das Sehen ermöglichen oder es vereinfachen und verbessern sollen. Dazu zählen unter anderem, wie schon genannt, das Auge, die Lupe und das Mikroskop. Es gibt noch zahlreiche andere optische Instrumente, in diesem Kapitel wird jedoch nur auf die oben genannten genauer eingegangen.

²⁴ Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 486

²⁵ Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 486

²⁶ Optik Lichtstrahlen-Wellen-Photonen; U. Zinth, W. Zinth; S.41-42

a) Das menschliche Auge

Abb. 10 Das menschliche Auge²⁷

Das menschliche Auge dient der Wahrnehmung optischer Sinneseindrücke. Lichtstrahlen, die ins Auge gelangen, werden, vereinfacht gesehen, durch die Sammellinse und die Hornhaut gebrochen und im Falle eines gesunden Auges auf der Netzhaut gebündelt und vom Gehirn verarbeitet. Damit das Auge unterschiedlich weit entfernte Objekte scharf sehen kann, ist es nötig, die Linsenkrümmung, je nach Weite und Größe des Gegenstandes, zu verändern. Dies gelingt, durch den direkt an der Linse liegenden Ringmuskel. Bei Einstellung auf den Nahpunkt ist die Linse am gekrümmtesten und auf den Fernpunkt am flachsten. Zusätzlich wird die Akkomodation durch Einstellen der Schärfentiefe mittels Vergrößern bzw. Verkleinern der Iris unterstützt. Sind die zu beobachtende Gegenstände jedoch zu klein, um sie mit dem bloßen Auge wahrzunehmen oder ist der Abstand zwischen zwei Gegenständen zu gering, um sie getrennt voneinander zu sehen, sind zusätzliche optische Hilfen zu benutzen. Der Grund hierfür liegt im Auflösungsvermögen des Auges. Da jede Linse durch ihren Rand begrenzt ist, kommt es beim Eintritt, der von einem Objekt ausgehenden Lichtstrahlen, zu Beugungserscheinungen. „Die Pupille des menschlichen Auges (...) erzeugt ebenfalls auf der 24 mm dahinterliegenden Netzhaut ein Beugungsscheibchen.“²⁸ Betrachtet man nur die Hauptmaxima, erhält man ein Beugungsscheibchen vom Winkeldurchmesser $1,22 \lambda/r$, wobei beim Auge die Pupille einen mittleren Radius von $r \approx 2 \text{ mm}$ hat. Zusätzlich muss die Brechzahl des Auges von 1,33 mit in die Formel eingebracht werden. Damit ergibt sich für gelbes Licht der Wellenlänge 300 nm ein Beugungskegel mit $0,9^\circ$ als Beugungswinkel. „Der Scheibchenradius von $6 \mu\text{m}$ entspricht dem mittleren Abstand zweier Netzhautrezeptoren (Zäpfchen). Die Rasterung der Netzhaut ist also gerade so weit getrieben, dass das **Auflösungsvermögen des Auges** voll ausgenutzt wird.“²⁹ Diese Zäpfchen liegen in der Fovea centralis auf der Netzhaut und sind etwa $5 \mu\text{m}$ voneinander entfernt. Damit die Scheibchen noch getrennt wahrgenommen werden, ist ein Mindestabstand von $x = 1,22 f\lambda/r$ nötig, wobei es sich bei f um die Brennweite der Linse handelt. Damit ergibt sich, dass das

²⁷ Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 499

²⁸ Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 524

²⁹ Vgl. Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 524

Auge zwei Punkte noch getrennt wahrnimmt, wenn die Lichtstrahlen, die von diesen ausgehen, unter einem Sehwinkel von ca. einer Bogenminute ins Auge einfallen.

b) Die Lupe

Um Gegenstände, welche für das Auge nicht mehr getrennt wahrzunehmen sind, näher heranzuholen, also den Sehwinkel zu vergrößern, kann eine Lupe oder ein Mikroskop verwendet werden. Die Linse des Auges ist entspannt, wenn sie auf Unendlich eingestellt ist. Dies erreicht man, wenn man den Gegenstand im Brennpunkt der Lupe platziert. In diesem Fall erscheint das Bild des Gegenstandes unter einem Sehwinkel von $\varphi = \frac{G}{f}$. Der Sehwinkel ohne Verwendung der Lupe ist $\varphi_0 = \frac{G}{d}$, wobei es sich bei d um die natürliche Sehweite von 25cm handelt, für die man von einer ermüdungsfreien Beobachtung ausgeht. Damit ergibt sich die Vergrößerung $v_L = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{d}{f}$. Man kann den Gegenstand noch weiter vergrößern, indem man diesen noch näher an die Linse bringt. Nehmen wir zusätzlich noch an, dass sich die Lupe direkt vor dem Auge befindet, ergibt sich eine Vergrößerung von $v'_L = \frac{db}{sg} = \frac{d}{g} = \frac{d}{f} + \frac{d}{s}$. Im ersten Schritt fließt $s = -b$ ein, da sich die Lupe direkt hinter dem Auge befindet. Im zweiten Schritt wird die Abbildungsgleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ verwendet. Mit Lupen kann man eine Vergrößerung bis zu 30 erreichen.³⁰

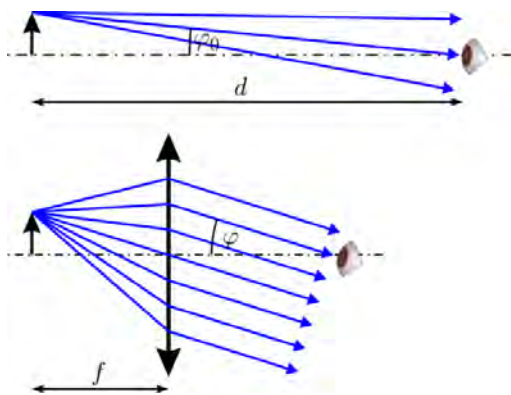


Abb. 11 Eine Lupe der Brennweite f spreizt den Sehwinkel des unbewaffneten Auges um den Faktor d/f ³¹

c) Linsenfehler

Da Linsen aus fertigungstechnischen Gründen meistens durch Kugelgrenzen begrenzt sind, entstehen Fehler in der Abbildung.

³⁰ Nach Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 494

³¹ <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Principle-of-Magnifying-Glass.png&filetimestamp=20071111135330>

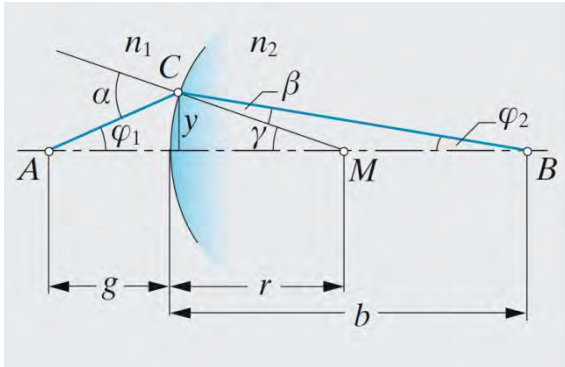


Abb. 12 Brechung an der kugelförmigen Grenze zweier Medien mit verschiedenen Brechzahlen³²

Wird der leuchtende Punkt A aus einem anderen Medium ($B = \text{Beobachter}$) mit einer Kugelfläche als Grenzfläche betrachtet, gilt nach dem Brechungsgesetz $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx \frac{\alpha}{\beta} \approx \frac{n_2}{n_1}$. Durch geschickte Näherungen der Sinuse von kleinen Winkeln und geschickte Winkelberechnungen ergibt sich:

$$\frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

Die Näherung des Sinus kann mittels Reihenentwicklung begründet werden:

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} \mp \dots$$

Für kleine x gehen die hinteren Glieder rasch gegen 0.

Damit kann man die hintere Brennweite berechnen, denn einfallende achsnahe Parallelstrahlen ($g = \infty$) vereinigen sich im Brennpunkt im Abstand der hinteren Brennweite:

$$f := b = \frac{n_2}{n_2 - n_1} r$$

Die vordere Brennweite ergibt sich durch einsetzen von $b = \infty$ in obige Formel zu:

$$F := g = \frac{n_1}{n_2 - n_1} r$$

Sphärische Aberration

Treten aber sowohl achsferne, als auch achsnahe Strahlen auf eine Linse, so schneiden sich diese nicht im Brennpunkt. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei Berechnung des Brennpunktes $\sin\alpha \approx \alpha$ für kleine Winkel α angenommen wurde. Achsferne Strahlen schneiden sich aber näher an der Linse, als der berechnete Brennpunkt liegt. Hierbei kann eine Blende zur Verringerung des Fehlers verhelfen.

³² Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 488

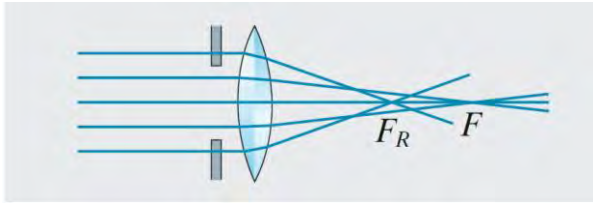


Abb. 13 Sphärische Aberration und ihre Verringerung Durch eine Blende³³

Astigmatismus

Beim Astigmatismus handelt es sich um einen Schärfefehler. Befindet sich ein leuchtender Punkt G schräg unterhalb der optischen Achse, so werden die von ihm ausgehenden Strahlen unterschiedlich stark in den beiden eingezeichneten Flächen gebrochen.

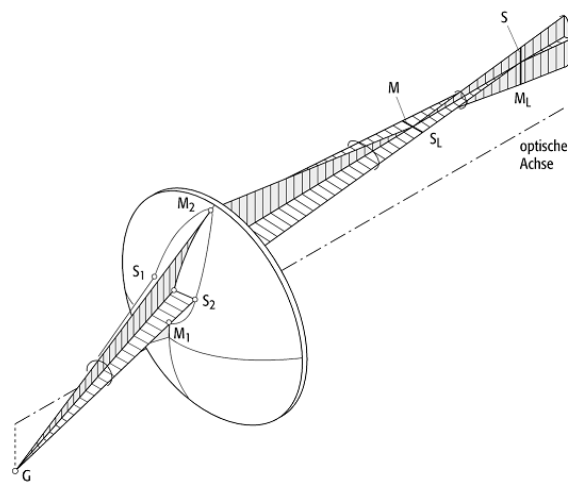


Abb. 14 Astigmatismus³⁴

„In meridionaler (radialer) Schnittrichtung stärker gebrochen als in sagittaler Richtung (senkrecht zur meridionalen verlaufend). Diesem Umstand ist der Astigmatismus (die »Punktlosigkeit«) des vom Objektpunkt durch die Linse entworfenen Bildes zuzuschreiben. Der Punkt wird nämlich in zwei zueinander senkrecht stehenden Linien auseinandergezogen, welche in verschiedenen Bildebenen scharf abgebildet werden.“³⁵

Der Grund dieses Fehlers liegt darin, dass sich schräg einfallende parallele Lichtstrahlen, wenn man sie von der Seite betrachtet, woanders schneiden, als wenn man sie von oben betrachtet. Dadurch wird ein Punkt nicht mehr als solcher abgebildet, sondern in Form von Ellipsen und Linien.

³³ Gerthsen Physik; D. Meschede; S. 492

³⁴ <http://www.techniklexikon.net/d/astigmatismus/astigmatismus.htm>

³⁵ <http://www.techniklexikon.net/d/astigmatismus/astigmatismus.htm>

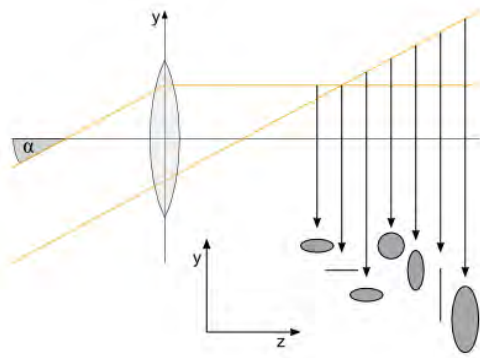


Abb.15 Die Änderungen des Bildpunktes beim Astigmatismus³⁶

Koma

Dieser Abbildungsfehler entsteht ebenfalls bei schräg einfallenden parallelen Strahlenbündeln. Hierbei überlagern sich die sphärische Aberration und der Astigmatismus. Man bezeichnet diesen Abbildungsfehler auch als Asymmetriefehler, da die Strahlen nach dem Durchgang durch die Linse außerhalb der optischen Achse asymmetrisch gebündelt werden. „Man erhält dann nicht ein scharfes Beugungsscheibchen, sondern es entsteht ein Bildpunkt, welcher sich zum Rand der Optik hin (fächerförmig) ausbreitet. Dieses Bild hat Ähnlichkeiten mit dem Schweif eines Kometen und ist auch Namensgeber für diesen Abbildungsfehler.“³⁷

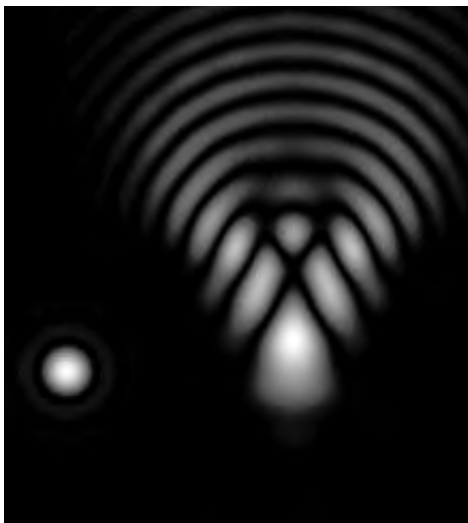


Abb. 16 Abbildung eines Sterns als Schweif (links ohne Fehler zum Vergleich)³⁸

Man unterscheidet nun zwischen positiver und negativer Koma. „Die Koma ist negativ, wenn die Randstrahlen achsennäher die Bildebene treffen als die paraxialen Strahlen. Hierbei ergibt sich die kleinste Vergrößerung aus den Randstrahlen, welche das kleinste Bild erzeugen.“

³⁶ <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1814>

³⁷ <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/5308>

³⁸ <http://de.wikipedia.org/wiki/Abbildungsfehler>

Bündeln sich die Randstrahlen jedoch weiter entfernt von der Achse als die paraxialen Strahlen, so spricht man von positiver Koma.³⁹

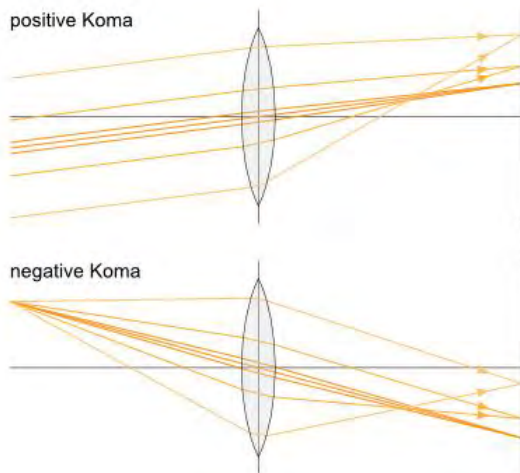


Abb. 17 Positive und negative Koma⁴⁰

Dieser Fehler lässt sich durch Verwendung von Blenden verringern.

Bildfeldwölbung

Ein Gegenstand wird nicht auf eine Bildebene, sondern, wegen der stärkeren Brechung achsenferner Strahlen, in eine gewölbte Fläche abgebildet.

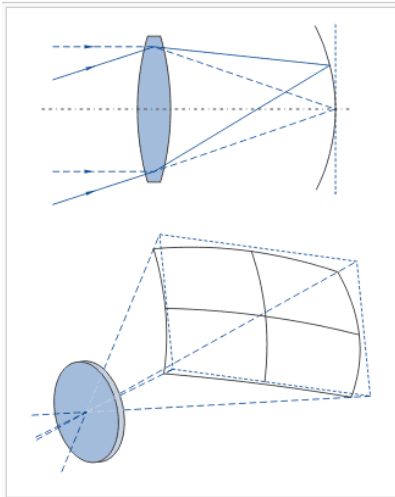


Abb. 18 Bildfeldwölbung⁴¹

Damit kann also entweder das Zentrum oder der Außenbereich scharf gesehen werden.

³⁹ <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/5308>

⁴⁰ <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/5308>

⁴¹ <http://olypedia.de/Bildfeldw%C3%B6lbung>

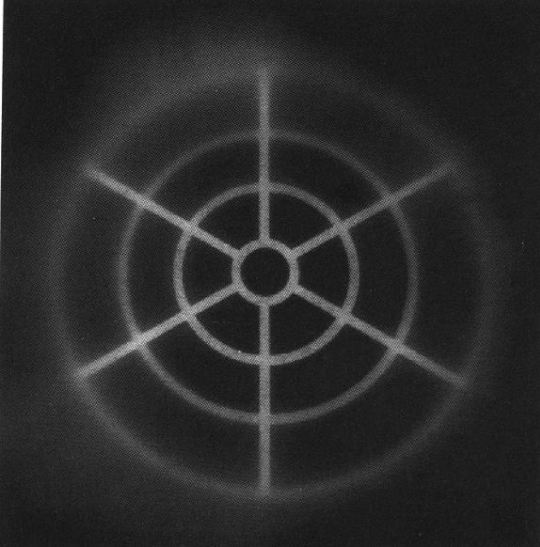


Abb. 19 Scharfes Zentrum bei der Bildfeldwölbung⁴²

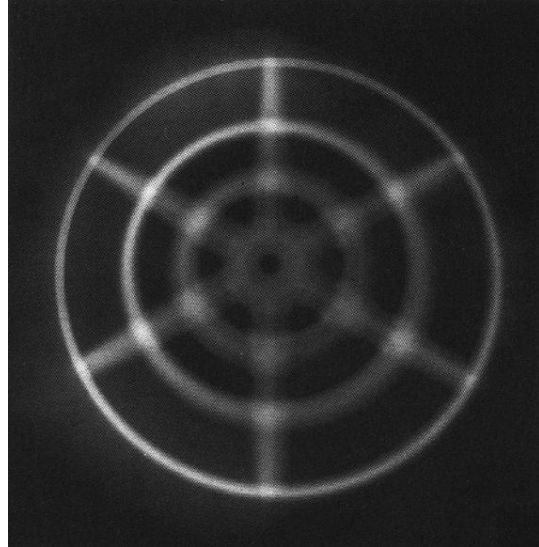
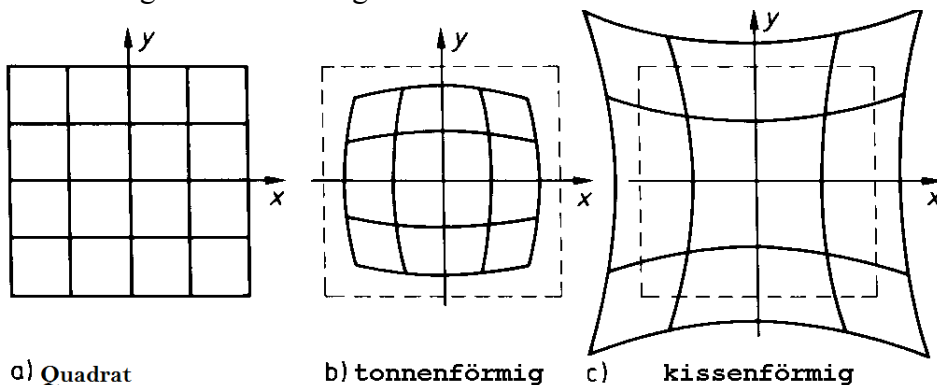


Abb. 20 Scharfer Außenbereich bei der Bildfeldwölbung⁴³

Benutzt man z.B. in einer Kamera einen entsprechend geformten Film oder allgemein einen geformten Schirm, so kann man diesen Fehler ausgleichen. Allerdings ist dies nicht vollständig möglich, da auch hier Astigmatismus auftritt.

Verzeichnung

Die Verzeichnung ist ein geometrischer Abbildungsfehler, der eine Veränderung des Maßstabes mit sich bringt. „Die Maßstabsänderung beruht auf einer Änderung der Vergrößerung mit zunehmendem Abstand des Bildpunktes von der optischen Achse. Die Verzeichnung ist daher rotationssymmetrisch um einen Punkt, der auch Verzeichnungszentrum genannt wird.“⁴⁴ Ist die Vergrößerung an den Rändern größer als in der Mitte wird das abzubildende Quadrat kissenförmig. Im umgekehrten Fall spricht man von tonnenförmiger Verzeichnung.



a) Quadrat

b) tonnenförmig

c) kissenförmig

Abb. 21 Verzeichnung⁴⁵

⁴² http://web.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/web-hu-lectures/hu-lectures/www-eep.physik.hu-berlin.de/_hebbeker/lectures/dem946.gif

⁴³ http://web.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/web-hu-lectures/hu-lectures/www-eep.physik.hu-berlin.de/_hebbeker/lectures/dem946.gif

⁴⁴ <http://de.wikipedia.org/wiki/Verzeichnung>

⁴⁵ http://web.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/web-hu-lectures/hu-lectures/www-eep.physik.hu-berlin.de/_hebbeker/lectures/berg194.gif

Chromatische Aberration

Die chromatische Aberration ist ein Farbfehler, der aufgrund von Dispersion entsteht. Hierbei ist die Brechzahl für blaues Licht größer als für rotes. Damit erhält man für jede Farbe eine andere Brechzahl und damit eine andere Brennweite (vgl. Abb. 22)

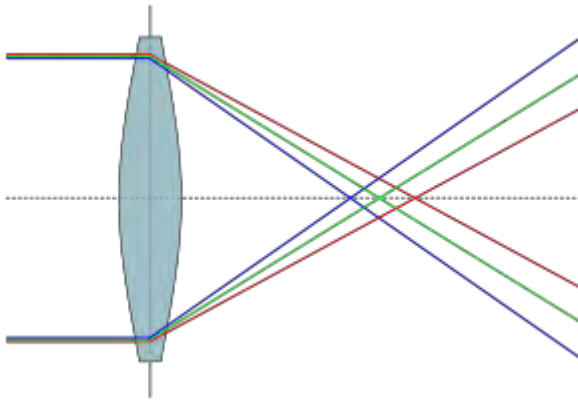


Abb. 22 Chromatische Aberration⁴⁶

Die Brennweite blauen Lichts ist kleiner als die Brennweite grünen Lichts und diese wiederum kleiner als die Brennweite roten Lichts.

Mittels sogenannten Achromaten, kann man diesen Fehler beheben. Dabei handelt es sich z.B. um eine Kombination aus einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse, welche so beschaffen sein müssen, dass die Brennweiten verschiedener Farben stets gleich sind.

Die Brennweite f der Linsen berechnet sich mittels den Brennweiten beider Linsen (f_s und f_z) zu $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_s} + \frac{1}{f_z}$. Damit $f_{rot} = f_{blau}$ erreicht wird, muss folgende Gleichung erfüllt sein:

$$\frac{1}{f_{1rot}} + \frac{1}{f_{2rot}} = \frac{1}{f_{1blau}} + \frac{1}{f_{2blau}}$$

d) Das Mikroskop

Um noch höhere Vergrößerungen zu erreichen und gleichzeitig die Abbildungsfehler klein zu halten, kann ein Mikroskop verwendet werden. Hierbei handelt es sich um ein optisches Gerät, das aus zwei Linsensystemen besteht. Diese zwei Linsen werden als Objektiv und Okular bezeichnet.

⁴⁶ <http://de.wikipedia.org/wiki/Abbildungsfehler>

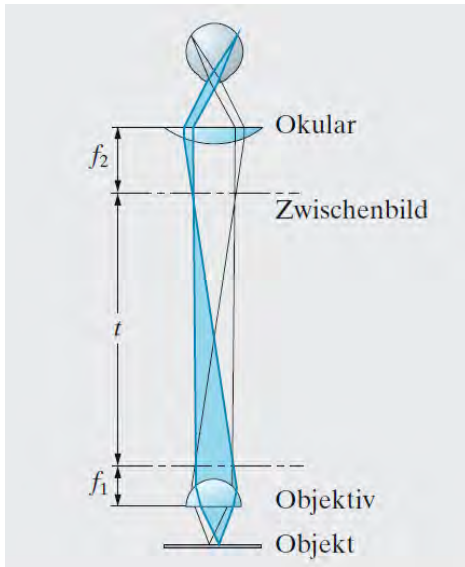


Abb. 23 Der Strahlengang im Mikroskop⁴⁷

Das Objektiv dient der Erzeugung eines möglichst großen reellen Zwischenbildes und das Okular wirkt als Lupe, mit der das Zwischenbild betrachtet wird. Durch Ersteres wird eine Vergrößerung von $v_{\text{Objektiv}} = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \frac{t}{f_1}$ erreicht. t ist die Tubuslänge, welche die Position des Zwischenbildes am Ende des Tubus fixiert und f_1 die Brennweite des Objektivs. Durch Letzteres erhält man die Vergrößerung $v_{\text{Okular}} = \frac{s_0}{f_2}$. Dazu muss sich das Zwischenbild um f_2 hinter dem Okular befinden. Insgesamt hat das Mikroskop eine Vergrößerung von $v_M = v_{\text{Objektiv}} \cdot v_{\text{Okular}} = \frac{t}{f_1} \cdot \frac{s_0}{f_2}$, da sich die Wirkungen zweier Linsen multiplizieren. Objektiv und Okular müssen bezüglich sphärischer und chromatischer Aberration korrigiert sein. Hierfür wird z.B. das Huygens-Okular betrachtet. Dieses besteht aus zwei Linsen, der Kollektiv- und der Augenlinse.

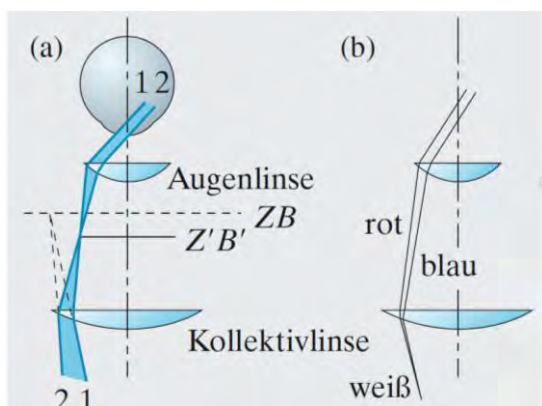


Abb. 25 Das Huygens-Okular⁴⁸

Die Kollektivlinse ist dafür da, das Sehfeld zu vergrößern, indem sie die Strahlen konvergenter macht. Die Augenlinse dient nur als Lupe, mit dem das Zwischenbild $Z'B'$ betrachtet wird. Da die äußeren Strahlen (2) weiter innen und die zu Beginn innen liegenden

⁴⁷ Gerthsen Physik, Meschede D., S.495

⁴⁸ Gerthsen Physik, Meschede D., S.495

Strahlen (1) weiter außen die Augenlinse durchsetzen, heben sich die sphärischen Aberrationen beider Linsen einander fast auf (vgl. Abb. 25 a)). In Abb. 25 b) ist zu sehen, dass auch die chromatische Aberration korrigiert werden kann. Hierbei wird weißes Licht an der Kollektivlinse spektral zerlegt, denn blaues Licht wird stärker gebrochen als rotes Licht. Da aber der rote Strahl die Linse näher am Rand durchsetzt, wird er dort stärker zur Achse gebrochen, als der blaue Strahl. Beide Strahlen fallen nun parallel in das Auge ein und parallele Strahlen werden in einem Punkt auf der Netzhaut vereinigt.

Die Korrektur eines Objektivs ist um einiges schwieriger, als die des Okulars. „Man verwendet Linsensysteme von mehr als 10 Einzellinsen aus verschiedenen Glassorten und einer resultierenden Brennweite bis zu 1 mm hinab.“⁴⁹

Außerdem ist das Licht, das durch das Objektiv tritt, nicht parallel. Deshalb wird ein leuchtender Punkt als Beugungsscheibchen mit einem Öffnungswinkel von $1,22 \frac{\lambda}{r}$ abgebildet. Möchte man einen weiteren Punkt durch das Mikroskop betrachten, so muss dieser mindestens einen Abstand von $x_{min} = 1,22 \frac{f\lambda}{r}$ zum anderen Punkt haben, damit die Scheibchen nicht verschmelzen.

Die numerische Apertur

$$NA \approx \sin\varphi \cong \frac{r}{f}$$

kennzeichnet das Auflösungsvermögen eines Objektivs mit $x_{min} \approx \frac{\lambda}{NA} \approx \frac{\lambda}{\sin\varphi}$.

Um eine bessere Auflösung zu erreichen, wird ein brechendes Medium (Immersionöl) zwischen Objekt und Objektiv gebracht, das die Wellenlänge auf ein n-tel verringert. Damit ergibt sich der Mindestabstand zweier Punkte zu:

$$x_{min} \approx \frac{\lambda}{n \sin\varphi}$$

e) Das Vergleichsmikroskop

„Die Idee eines Vergleichsmikroskops taucht erstmals 1885 im Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie (Jg 1885, Bd. II, S.94 ff.) auf. Alexander von Inostranzeff beschreibt hier im Mai 1885 als ersten Versuch einen Aufbau von zwei nebeneinander stehenden Mikroskopen.“⁵⁰ Ein Vergleichsmikroskop ermöglicht es, zwei nicht nebeneinanderliegende Gegenstände nebeneinander abzubilden. Somit können diese direkt miteinander verglichen werden. Dies wird durch nebeneinanderschalten zweier Mikroskope ermöglicht. Dazu verwendet man, wie in nachfolgender Abbildung zu sehen ist, Prismen, um den Strahlengang umzulenken oder man schließt zwei Mikroskope so an einen Bildschirm an, das beide Bilder gleichzeitig sichtbar sind (Abb. 26).

Man könnte auch vier Spiegel zum Umlenken des Strahls verwenden. Spiegel reflektieren Licht aber nicht vollständig und wellenlängenabhängig, wie unter 3.1.2 d) beschrieben ist.

⁴⁹ Gerthsen Physik, Meschede D., S.495

⁵⁰ http://www.musoptin.com/seibert_15368.html

D.h. man verliert an Intensität und bekommt einen Farbstich. Deshalb nutzt man die Totalreflexion in Prismen, die man als 90°-Umlenkprismen verwendet (gleichwinklig-rechtwinklige Prismen mit Lichteinfall über eine Kathetenseite).

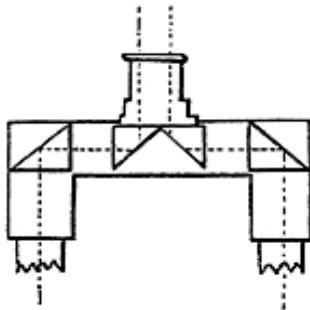


Fig. 2.

Abb. 25 Vergleichsokular⁵¹

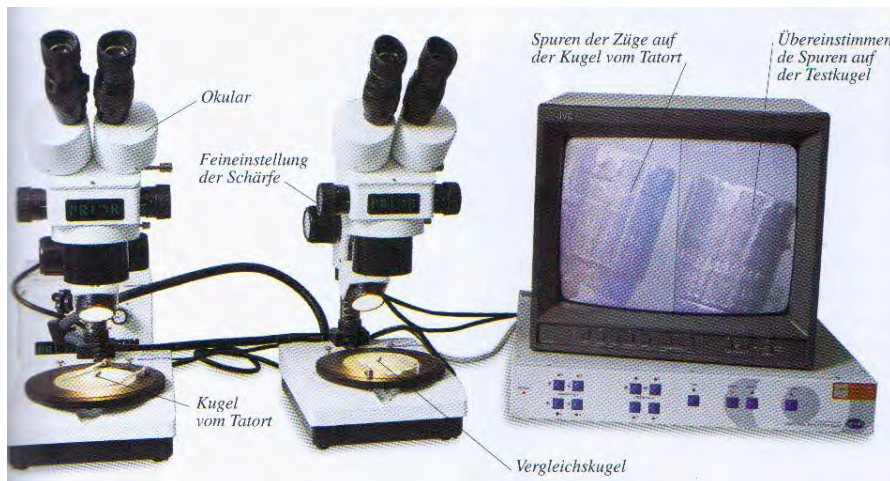


Abb. 26 Vergleichsmikroskop mit Bildschirm, beim Vergleich zweier Patronen⁵²

3.2 Atomphysik

3.2.1 Emission und Absorption von Licht

Unter Absorption versteht man die Aufnahme von Energie in Form eines Photons. In diesem Fall werden die Elektronen eines Atoms von einem niedrigeren auf ein höheres Energieniveau gehoben. Man spricht dann von einem angeregten Atom. Die Energie ΔE , welche vom Atom aufgenommen wird, ist indirekt proportional zur Wellenlänge λ des Photons und entspricht

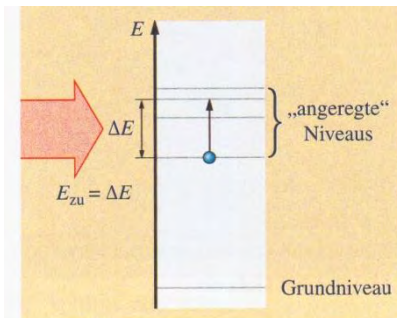
$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}.$$

Die emittierte Strahlung beruht auf der Rückkehr angeregter Elektronen von einem angeregten Elektronenzustand in einen tiefer gelegenen Elektronenzustand bzw. den

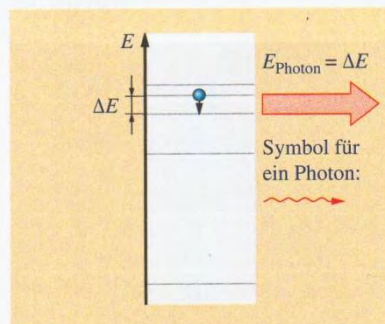
⁵¹ http://www.musoptin.com/seibert_15368.html

⁵² Kriminalistik, Chris Cooper, S. 33

Elektronengrundzustand. Hierbei kann nun ein Photon der Wellenlänge $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$ emittiert werden.



3 Niveauwechsel durch Energiezufuhr



4 Niveauwechsel durch Energieabgabe

Abb. 27 Energiezufuhr und Energieabgabe eines Atoms⁵³

Entspricht diese Energieportion einer Energie zwischen 1,7eV und 3,1eV, so wird sichtbares Licht emittiert.

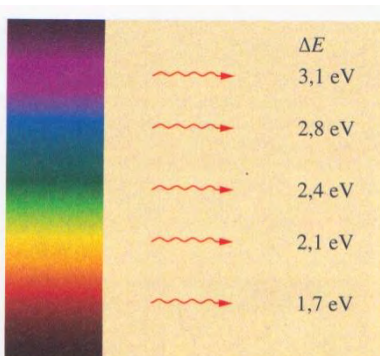


Abb. 28 Photonenenergie und Farbe des Lichts⁵⁴

3.2.2 Spektrallinien

Jedes Atom oder jedes Molekül hat nur ganz charakteristische Spektrallinien. Dies bedeutet, dass es nur bei bestimmten Frequenzen absorbieren und emittieren kann. Ein Beispiel hierzu

⁵³FOKUS Physik 9, Dr. Fösel A., Dr. Reinhard B., Sander P., Schweitzer S., Thanner A., S.106

⁵⁴FOKUS Physik 9, Dr. Fösel A., Dr. Reinhard B., Sander P., Schweitzer S., Thanner A., S.107

sind die D-Linien des Natriumdampfes, wenn er mit weißem Licht bestrahlt wird. Diese Spektrallinien sind aber nicht absolut scharf. Der Grund hierfür liegt in der Endlichkeit der emittierten Welle. Dadurch wird jedoch die Periodizität verletzt und man muss mittels Fourier-Analyse die Form der Spektrallinie berechnen. Da es sich bei den schwingenden Teilchen um Elektronen handelt, kann man einen Hertz- Dipol betrachten, der mit der Amplitude x_0 und der Kreisfrequenz ω schwingt. Da dieser eine Leistung abstrahlt, welche von der Gesamtenergie entzogen wird, kann man von einem gedämpften Wellenzug mit Dämpfungskonstante $\gamma = \frac{1}{\tau}$ ausgehen, wobei es sich bei τ um die Zeit handelt bis die Schwingung abgeklungen ist. Das Frequenzspektrum der gedämpften Schwingung ergibt sich zu $f(t) = A \cdot e^{-\frac{\gamma}{2}t} e^{i\omega_0 t}$ aus dem Fourier-Integral. Der Realteil ist $g(\omega') = \frac{\gamma/2}{(\omega_0 - \omega') + (\frac{\gamma}{2})^2}$. Das Maximum liegt bei $\omega' = \omega_0$ (vgl. Abb. 7). Die Halbwertsbreite ist $\Delta\omega' = \gamma/2$. Für die Gesamtbreite folgt damit $2\Delta\omega' = \gamma = 1/\tau$.

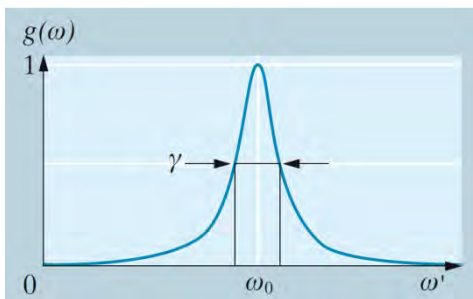


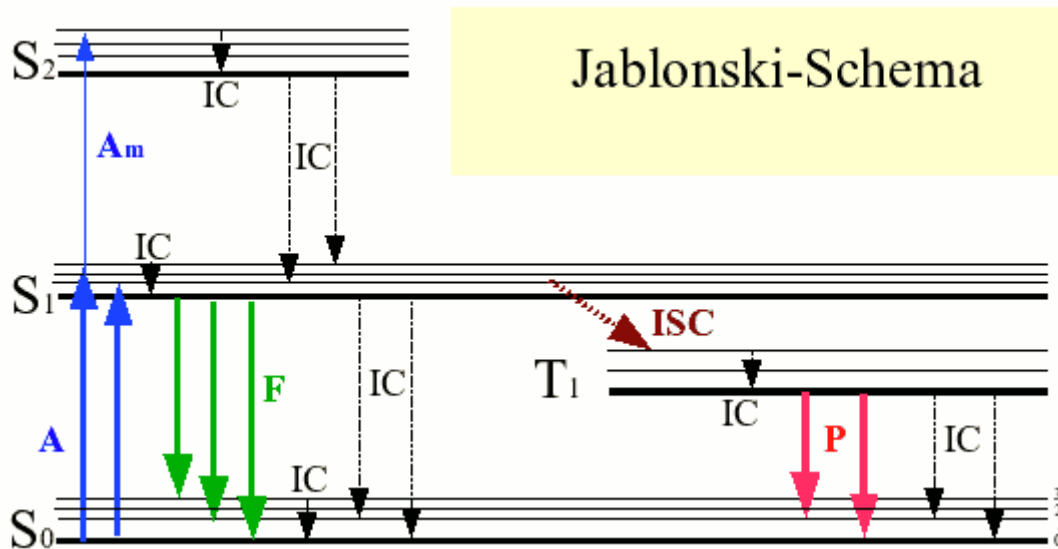
Abb. 29 Profil einer Spektrallinie als Fourier-Spektrum eines gedämpften Wellenzuges⁵⁵

3.2.3 Lumineszenz

a) Allgemein

Man spricht von Lumineszenz sobald Leuchterscheinungen vorkommen. Diese werden durch Energiezufuhr jeglicher Art ermöglicht. Ein Atom wird durch Energie, z.B. in Form von Licht, angeregt. In diesem Fall spricht man von Photolumineszenz. „Ein Energiediagramm, nach dem polnischen Physiker Alexander Jablonski benannt, zeigt die Energieübergänge, die bei Absorption und Emission von Photonen auftreten.“

⁵⁵ Gerthsen Physik, Meschede D., S.619



Legende:

- S₀, S₁, S₂ Energieniveaus der Singulett-Zustände
- T₁ (erster) Triplettzustand
- A Anregung (z.B. durch UV-Licht)
- A_m multiphotonische Anregung
- IC strahlungsloser Übergang (interne Konversion)
- F Fluoreszenz
- ISC Intersystem crossing, strahlungsloser Übergang mit Spin-Umkehr
- P Phosphoreszenz

Abb.30 Jablonski-Schema⁵⁶

Die Elektronen werden also aus dem Grundzustand S₀ auf ein höheres Energieniveau S₁ oder S₂ gehoben. „S“ steht hierbei für Singulett-Zustand, wobei die (bindenden) Elektronen paarweise mit antiparallelem Spin vorliegen (Pauliprinzip). Neben den gepaarten Elektronen gibt es ungepaarte Elektronen auf den äußeren Orbitalen. Wenn diese Elektronen ein s-Orbital besetzen, bezeichnet man sie als s-Elektronen und wenn sie ein p-Orbital besetzen, als p-Elektronen. Sie lassen sich durch geringe Energiemengen auf ein höheres Potential heben. Die paarweisen Elektronen (...) bilden eine durchaus stabile Konfiguration, so dass eine hohe Anregungs-Energie nötig ist (...). [Dazu ist] ultraviolette[s] Licht oder sogar die noch energiereichere Röntgenstrahlung nötig. (...) Erfolgt in der Zeit des angeregten Zustands erneute Absorption kann der nächsthöhere Zustand S₂ erreicht werden.⁵⁷ Fällt das Elektron in ein niedrigeres Niveau oder den Grundzustand zurück und wird die freiwerdende Energie ΔE in Form von elektromagnetischer Strahlung des sichtbaren Spektralbereiches abgegeben, so beginnt die Substanz zu leuchten. Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, wie die Elektronen wieder in ihren Grundzustand übergehen können. Entweder es erfolgt ein

⁵⁶ <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Photolumineszenz>

⁵⁷ <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Photolumineszenz>

Übergang von S_2 nach S_1 und dann direkt in den Grundzustand, ohne dass eine Spiumkehr erfolgt, oder das Elektron geht von S_1 in den ersten Triplettzustand T_1 über (ohne Abgabe von Strahlung). Hierbei erfolgt eine Spiumkehrung. Der Triplettzustand kann +1, 0 oder -1 sein. Der Übergang von T_1 nach S_0 kann in Form von Phosphoreszenz-Strahlung erfolgen, also nur sehr langsam, da er sehr unwahrscheinlich ist.⁵⁸

Je nachdem wie lange der Leuchtvorgang dauert, unterscheidet man zwischen Fluoreszenz, wie beim Übergang von S_1 nach S_0 , und Phosphoreszenz. Im Gegensatz zur Fluoreszenz, wird bei der Phosphoreszenz die Energie nicht sofort wieder ausgesandt. Bei der Fluoreszenz handelt es sich um Mikrosekunden, wohingegen die Lichtaussendung bei der Phosphoreszenz Sekundenbruchteile bis Stunden dauern kann.

b) Thermolumineszenz

Wird [der Vorgang der Lumineszenz] durch Wärmezufuhr ausgelöst, so spricht man von Thermolumineszenz (TL)⁵⁹. „Wenn in einem Kristall Defektzentren vorhanden sind, was für reale Kristalle immer der Fall ist, sind diese für Elektronen, die ins Leitungsband angeregt wurden, Fallen. Diese Fallen sind meistens tief genug, um die an ihnen „haftenden“ Elektronen dort bis zu höheren Temperaturen halten zu können.“⁶⁰ Erst durch Erhitzen steht wieder genügend Energie zur Verfügung um diese Elektronen aus ihren „Fallen“ ins Leitungsband zu heben, wo „sie anschließend mit den Löchern in Rekombinationszentren rekombinieren.“⁶¹

3.3 Elektrostatik

Elektrostatik handelt von ruhenden elektrischen Ladungen, Ladungsverteilungen und elektrischen Feldern. In diesem Teilgebiet der Physik geht es um die Kräfte, welche elektrische Ladungen aufeinander ausüben.

3.3.1 Coulombkraft

Die Kraft zwischen zwei elektrischen Ladungen wird als Coulombkraft F_C bezeichnet. Sie hängt sowohl von den Ladungen Q und Q' , als auch vom Abstand r , den die Teilchen zueinander haben, ab und berechnet sich im Vakuum nach folgender Formel:

$$\vec{F}_C = \frac{Q \cdot Q'}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r}_0$$

⁵⁸ Vgl. <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Photolumineszenz>

⁵⁹ http://www.kotalla.de/german/download_g/uni-erlangen3dct+tl.pdf

⁶⁰ <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/216/7/Kapitel5.pdf>

⁶¹ <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/216/7/Kapitel5.pdf>

Hierbei handelt es sich bei ϵ_0 um die elektrische Feldkonstante und bei \vec{r}_0 um den Einheitsvektor in Verbindungsrichtung.

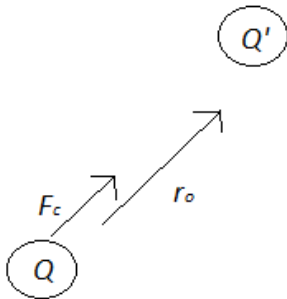


Abb. 31 Einheitsvektor und Kraftvektor zweier Ladungen Q und Q'

3.3.2 Das elektrische Feld

In Gebieten, in denen elektrische Kräfte, die durch ruhende Körper verursacht sind, wirken, herrscht ein elektrisches Feld \vec{E} , welches folgendermaßen definiert ist:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

Man kann elektrische Felder mittels Feldlinien grafisch darstellen, wobei die Feldlinien vom negativen Pol weg und zum positiven Pol hin zeigen und immer radial auf eine Oberfläche aufkommen.

Einige Beispiele hierzu sind:

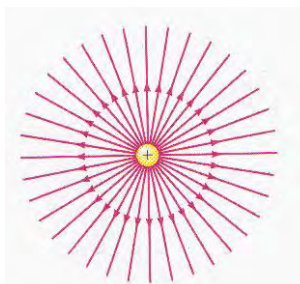


Abb. 32 Eine positive Punktladung⁶²

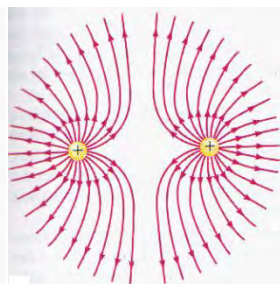


Abb. 33 Zwei positive Punktladungen⁶³

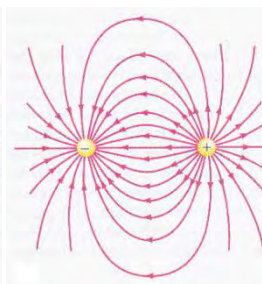


Abb. 34 Eine positive, eine negative Ladung⁶⁴

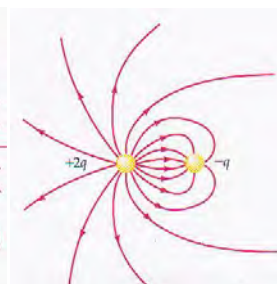


Abb. 35 Der Betrag der positiven Ladung ist doppelt so groß, wie der, der negativen Ladung⁶⁵

⁶² Physik, Tipler P. A., S.633

⁶³ Physik, Tipler P. A., S.634

⁶⁴ Physik, Tipler P. A., S.633

⁶⁵ Physik, Tipler P. A., S.634

Würde es sich in Abbildung 1 um eine negative Punktladung handeln, so würden die Feldlinien zur Ladung hinzeigen.

3.3.3 Influenz

Bringt man eine positive Ladung in Nähe eines elektrisch leitenden Körpers, so erzwingt man eine Ladungstrennung auf diesem Körper, denn die freien Elektronen bewegen sich auf dem Körper in Richtung positiver Ladung, bis sie am Rand des Körpers angekommen sind. In diesem Fall spricht man von Influenz.

Die Begründung hierfür liegt darin, dass die Feldlinien radial auf die Fläche einer elektrisch leitenden Platte auftreffen müssen. Sie werden, im Gegensatz zum Feld einer freien positiven Ladung (vgl. Abb. 9), gekrümmt.

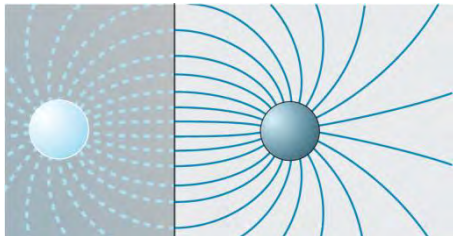


Abb. 36 Rechts befindet sich die positive Ladung, links die negative Spiegelladung⁶⁶

Somit entsteht ein elektrisches Feld, als ob sich auf der ladungsneutralen Platte eine entgegengesetzte Ladung befindet, welche als Spiegelladung bezeichnet wird. Also zieht die Influenz negative Ladungen zum Rand der Platte, an dem die Feldlinien radial auftreffen. Gleichzeitig wandern die positiven Ladungen in entgegengesetzte Richtung.

3.4 Kinematik

Damit man Bewegungen beschreiben kann, muss man zunächst ein Bezugssystem mit einem Bezugspunkt wählen, in dem der Ursprung des Koordinatensystems liegt. Die Bewegung kann nun angegeben werden, indem man den Ort in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt. Der Ortsvektor wird mit $\vec{r}(t)$ bezeichnet und kann sowohl mit kartesischen, als auch mit Zylinder- oder Kugelkoordinaten angegeben werden. Gleichzeitig interessiert man sich oft für die Geschwindigkeit $\vec{v}(t)$ zu verschiedenen Zeitpunkten, welche man folgendermaßen berechnet:

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}} \quad (1)$$

Auch die Beschleunigung eines Körpers ist für den Bewegungsablauf interessant und die momentane Beschleunigung zum Zeitpunkt t ergibt sich zu:

⁶⁶ Gerthsen Physik, Meschede D., S.309

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{r}} \quad (2)$$

Handelt es sich um eindimensionale Bewegungen, kann man den Ort, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung gegen die Zeit auftragen und erhält somit ein Zeit-Ort-, ein Zeit-Geschwindigkeit- und ein Zeit-Beschleunigung-Diagramm.

3.4.1 Die Bewegungsgleichungen einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Wir setzen den Betrag der Beschleunigung \vec{a} , welche immer in die gleiche Richtung weist, zu jedem Zeitpunkt als konstant voraus. Demnach zeigt auch der Geschwindigkeits- und Ortsvektor in die gleiche Richtung. War zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ schon eine Anfangsgeschwindigkeit v_0 vorhanden, so erhalten wir durch Integration der Gleichung (2) für die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

Und für den zurückgelegten Weg zum Zeitpunkt t ergibt sich durch Integration der Gleichung (1)

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

Wobei es sich bei \vec{r}_0 um den Startpunkt der Bewegung zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ handelt.

3.4.2 Der freie Fall

Im Folgenden wird der Spezialfall des freien Falls betrachtet. Man geht von einem Bezugssystem mit nur einer Koordinate y und Ursprung auf dem Boden aus. In diesem Fall ist die konstante Beschleunigung gleich dem Ortsfaktor, also gilt $a = -9,81 \frac{m}{s^2}$.

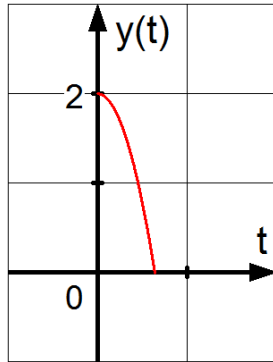
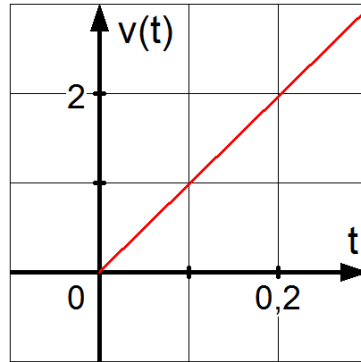
Damit erhält man die Bewegungsgleichungen

$$y(t) = h - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot t^2$$

$$v(t) = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot t$$

mit Anfangshöhe h und ohne Anfangsgeschwindigkeit, da der Gegenstand fallen gelassen wird.

Nimmt man nun eine Anfangshöhe von 2 m an, erhält man folgendes t - $y(t)$ -Diagramm und t - $v(t)$ -Diagramm:

Abb. 37 t - $y(t)$ -DiagrammAbb.38 t - $v(t)$ -Diagramm

3.4.3 Der waagerechte Wurf

Der waagrechte Wurf setzt sich aus einer Bewegung in x - und einer in y -Richtung zusammen. Wir betrachten im Folgenden beide zunächst getrennt voneinander.

a) Bewegung in y -Richtung

Nehmen wir den Punkt, an dem der waagrechte Wurf beginnt, als Startpunkt mit Anfangshöhe h an, so handelt es sich bei der Bewegung in y -Richtung um einen freien Fall, wie er schon in 3.4.2 erklärt wurde.

b) Bewegung in x -Richtung

In x -Richtung sieht das schon anders aus. Hier startet die Bewegung mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_{0x} , die davon abhängt, wie stark der Stoßer den Körper zu Beginn gestoßen hat. Aber es gibt keine Beschleunigung in x -Richtung, also erhalten wir für die Bewegungsgleichungen

$$x(t) = v_{0x} \cdot t$$

$$v(t) = v_{0x}$$

c) Bewegung im Zweidimensionalen

Damit ergeben sich insgesamt die Bewegungsgleichungen

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} v_{0x} \cdot t \\ h - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot t^2 \end{pmatrix}$$

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} v_{0x} \\ 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot t \end{pmatrix}$$

4. EINORDNUNG DER THEMENGEBIETE IN DEN LEHRPLAN DES G8

Der nachfolgende Text bezieht sich auf den Lehrplan des achtjährigen Gymnasiums in Bayern, welchen man auf <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26172> findet.

4.1 Siebte Jahrgangsstufe

In der siebten Jahrgangsstufe geht es darum, dass die Schüler die bereits bekannten Arbeitsmethoden wie Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten üben und vertiefen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung zur Teilnahme an einem Schülerlabor. Die Schüler müssen wissen, wie sie die Anweisungen umsetzen und die Ergebnisse ihrer Versuche richtig interpretieren und deuten können. Mit der zunehmend höheren Fähigkeit zum abstrahierenden Denken können die Schüler nun komplexere Zusammenhänge besser erfassen und darstellen. Dies ist besonders deswegen wichtig, da die Aufgaben zu Beginn jeder Station das physikalische Verständnis der Hauptaufgabe liefern sollen, welche zum Lösen des fiktiven Falls relevant sind. Demnach sollen die Schüler anhand der einfachen Aufgaben die schwierigen Aufgaben verstehen.

Zusätzlich erhalten sie folgendes Grundwissen, welches im Schülerlabor Physik und Kriminalistik nötig ist. Dazu zählen die Themengebiete elektrischer Strom und Bereiche der Optik.

4.1.1 Elektrischer Strom

Die Schüler haben aus dem Unterricht eine Modellvorstellung vom elektrischen Stromkreis und wissen somit welche Bestandteile bei einem Stromkreis benötigt werden. Deshalb können sie im Schülerlabor selbstständig eine Alarmanlage bauen. Außerdem wissen sie, dass es sich beim elektrischen Strom um bewegte Ladungen handelt und dass sich gleichnamige Ladungen abstoßen. Dies wiederum wird für das Verständnis der Influenz und den Nachweis dieser mit einem Elektroskop benötigt, was leider beides aus dem bayrischen Gymnasiallehrplan gestrichen wurde.

4.1.2 Optik

Im Bereich der Optik erfahren die Schüler, wie Bilder bei Linsen entstehen. Dafür wird ihnen zunächst die geradlinige Ausbreitung des Lichts nahe gebracht. Dies benötigen sie um einfache Abbildungen, wie zum Beispiel durch eine Sammellinse, verstehen zu können. Darauf wird in den Versuchen in Station 2 und 4 aufgebaut. Hier müssen sie zunächst die Geradlinigkeit des Lichts beim Laserstrahl ausnutzen, um die Flugbahn des Geschosses zu rekonstruieren. In Station 5 dreht sich alles um Linsen, Lupen und Mikroskope. Deswegen ist es wichtig, dass sie die Bildentstehung bei einer Sammellinse vorher im Unterricht bearbeitet haben.

Außerdem können die Schüler die Bildentstehung bei Spiegeln für einfache Fälle erklären und verstehen damit auch, dass Lichtstrahlen mit einem Spiegel reflektiert werden können. Zur Bearbeitung der Station 3 wird das Verständnis des Reflexionsgesetzes vorausgesetzt. Trifft ein Lichtstrahl unter einem bestimmten Winkel auf einen Spiegel auf, wird er auch unter diesem Winkel reflektiert (Einfallswinkel = Ausfallswinkel). Dies sollen die Schüler nun selbst anwenden, indem sie versuchen einen Laserstrahl mittels Spiegeln umzuleiten.

Zusätzlich lernen sie in der siebten Jahrgangsstufe die spektrale Zerlegung von weißem Licht. Sie wissen, dass verschiedene Farben unterschiedlich stark gebrochen werden, was als Dispersion bezeichnet wird. Dies wird in Station 1 nochmals veranschaulicht, denn die Schüler bestrahlen ein Prisma mit weißem Licht, wodurch dieses in seine Spektralfarben zerlegt wird.

4.2 Achte Jahrgangsstufe

4.2.1 Energie als Erhaltungsgröße

In der Jahrgangsstufe 8 lernen die Schüler den Energieerhaltungssatz und erfahren, dass es verschiedene, ineinander umwandelbare Energiearten gibt. Außerdem lernen sie, dass sich die Energie eines Körpers durch Arbeit oder Wärme ändern kann. Auch im Bereich der Kriminalistik gibt es Veranschaulichungen dafür, dass Energie eine Erhaltungsgröße ist. In Station 1 wird nur ein Ausblick darauf gegeben, dass Ton Energie speichern kann und sie dann in Form von Lichtenergie wieder freigibt.

4.3 Neunte Jahrgangsstufe

In der neunten Jahrgangsstufe beschäftigen sich die Schüler mit Bereichen der Atomphysik, der Elektrik und Bewegungsabläufen. Sie bekommen erste Einblicke in den Aufbau der Materie und können einfache Bewegungsabläufe analysieren und beschreiben. Außerdem kann im Profilbereich am Naturwissenschaftlichen Gymnasium zusätzlich Elektrotechnik behandelt werden.

4.3.1 Atomphysik

In der Atomphysik erfahren die Schüler, dass Atome Licht nur in ganz bestimmten Portionen emittieren und absorbieren können. Somit hat jeder Stoff charakteristische Spektrallinien, wodurch er eindeutig zu identifizieren ist. Voraussetzung hierfür ist der Energieerhaltungssatz, den die Schülerinnen und Schüler in der achten Jahrgangsstufe gelernt haben. Durch diesen können sie die Aufnahme und Abgabe von Energie mittels des Photonenmodells nachvollziehen. Dieses Verständnis benötigen sie für den Blutnachweis mit Luminol. Hierbei werden die Elektronen durch die Reaktion zwischen dem Hämoglobin und der Luminol-Lösung angeregt. Beim Zurückfallen der Elektronen auf ein niedrigeres Energieniveau wird Energie in Form von Licht wieder abgegeben.

4.3.2 Kinematik geradliniger Bewegungen

Im Bereich der Kinematik behandeln die Schüler Bewegungsabläufe mit konstanter Geschwindigkeit oder konstanter Beschleunigung. Sie lernen zusätzlich die mathematischen Funktionen, welche die Bewegungsabläufe beschreiben. Somit können sie Zeit-Ort- und Zeit-Geschwindigkeitsdiagramme deuten. Damit ist es ihnen auch möglich einen waagrechten Wurf zu analysieren. Dieser besteht aus einer Bewegung in y -Richtung mit konstanter Beschleunigung und einer Bewegung in x -Richtung mit konstanter Geschwindigkeit.

4.3.3 Elektrotechnik

Nach Lehrplan können auch ausgewählte Versuche zu Alarmanlagen und Elektrisieranlagen behandelt werden. Dies wird auch im Schülerlabor beim Bau einer Lichtalarmanlage umgesetzt. Außerdem werden Schuhabdrücke mittels elektrisch aufgeladener Matte abgenommen.

5. AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG DES SCHÜLERLABORS

5.1 Vorüberlegungen

Um einen Tatort für ein Schülerlabor zu erstellen, ist es zunächst wichtig, sich Gedanken über den fiktiven Tathergang zu machen. Dafür sollte man sich Themengebiete wählen, welche die Schülerinnen und Schüler mit ihrem jetzigen Wissen schon behandeln können. Demnach ist eine gewisse Kreativität bezüglich Geschichtenerfinden von Nöten und dies immer mit Blick auf die Bereiche der Physik, die man damit abdecken möchte.

5.1.1 Der fiktive Tathergang

In diesem Fall erschießt der Täter, welcher Paul genannt wird, einen Museumswächter, um an dessen Schlüssel zu gelangen. Da Paul im Schießen nicht geübt ist, schießt er vier Mal auf diesen. Die ersten beiden Schüsse gehen daneben, einer streift den Wächter und der letzte trifft ihn direkt in die Brust und führt zum Tod. Hierfür verwendet er einen Schalldämpfer damit die Schüsse nicht zu hören sind. Er macht sich überhaupt keine Gedanken über zurückgebliebenes Blut. Er vergräbt die Leiche in einem nahegelegenen Wald, in der Hoffnung, dass sie nicht gefunden wird. Für den Fall, dass man sie aber dennoch findet, hat er sich gezielt einen Wächter gewählt, der mitten im Scheidungskrieg steckt und dessen Exfrau mit ihrem neuen Freund das Haus behalten will. Somit kommen verschiedene Tatverdächtige für den Mord in Frage. Nach dem Erschießen betritt Paul die Eingangshalle und macht sich auf den Weg zum Kunstraum. Um in diesen Raum zu gelangen, muss er zunächst die Lichtalarmanlage umgehen. Dies gelingt ihm, indem er einen Laserstrahl durch Anbringen von Spiegeln exakt umleitet, sodass der Photowiderstand der Alarmanlage durch den Laserstrahl ohne Unterbrechung gering gehalten werden kann. So kann er den fest angebrachten Laserstrahl umgehen. Hierbei hinterlässt er einen für das menschliche Auge nicht sichtbaren Fußabdruck auf dem Boden. Danach tauscht er die Terrakotta-Figur gegen eine Fälschung aus, damit die Ermittler nicht den Grund des Mordes erfahren, sondern den Täter im nahen Umfeld des Opfers vermuten. Vor lauter Aufregung vergisst er die Spiegel wieder mitzunehmen. Er trägt die ganze Zeit über Handschuhe, um seine Fingerabdrücke nicht zu hinterlassen. Doch zu Hause hat er dies nicht getan, weswegen er seine Fingerabdrücke auf der Fälschung hinterlassen hat. Mit den neuen Errungenschaften im Rucksack macht er sich auf den Weg zu seinem Auto, welches er auf dem überdachten und nicht videoüberwachten Parkplatz abgestellt hat, und fährt nach Hause. Dieser Tathergang wird den Schülern nicht mitgeteilt.

5.1.2 Bericht über die Sachlage

Die Schüler erhalten nun folgenden Bericht über die Sachlage:

Der Museumswächter Peter Willer ist nach seiner Schicht nicht nach Hause gekehrt. Zu Beginn hat es den Anschein, als würde nichts aus dem Museum entwendet. Auf dem Boden vor dem Museum ist eine hellbraune Spur zu sehen. Es wurden Spiegel an der Wand zum Kunstraum befestigt. Der wertvollste Gegenstand in diesem Raum ist eine Terrakotta-Figur. Bei genauer Untersuchung der Terrakotta-Figur wurde mittels Thermolumineszenz festgestellt, dass es sich hierbei um eine Fälschung handelt.

Im Museum arbeiten 4 weitere Wächter, Hans Weit, Hans Volk, Sonja Saal und Petra Kurz, 3 Verkäufer, Albert Neuer, Sarah Peter und Anna Weit und ein Elektriker namens Paul Übel. Zusätzlich stehen die Noch-Ehefrau des verschwundenen Wächters Katja Willer und deren neuer Freund Jan Mut unter Verdacht, da Frau Willer im Falle des Todes ihres Mannes das Haus erben würde.

Informationen zu den einzelnen Verdächtigen:

- Petra Kurz
33 Jahre, 1,58 m groß, Schuhgröße 38, hellblonde lange Haare, blaue Augen
- Jan Mut
40 Jahre, 1,75 m groß, Schuhgröße 45, Glatze, braune Augen
- Sarah Peter
47 Jahre, 1,55 m groß, Schuhgröße 36, mittelblonde lange Haare, grüne Augen
- Paul Übel
45 Jahre, 1,85 m groß, Schuhgröße 46, braune kurze Haare, braune Augen
- Anna Weit
24 Jahre, 1,60 m groß, Schuhgröße 39, rote lange Haare
- Hans Weit
20 Jahre, 1,75 m groß, Schuhgröße 42, schwarze kurze Haare, blaue Augen
- Katja Willer
38 Jahre, 1,70 m groß, Schuhgröße 41, hellblonde lange Haare, blaue Augen

5.1.3 Anweisungen an die Betreuer

Es gilt nun alle Beweise zu sammeln und zu untersuchen, um den Tathergang rekonstruieren zu können. Hierbei sollen sich die Schülerinnen und Schüler an den einzelnen Stationen zunächst auf eigene Faust in die Beweissuche stürzen. Sie sollen versuchen mit den Hilfsmitteln, die ihnen zur Verfügung stehen, die Stationen durchzuführen. Falls sie nicht vorankommen, oder meinen sie haben alle Beweise dieser Station schon entdeckt, soll der Betreuer dies überprüfen und wenn nötig Tipps zum Lösen des Falls geben.

5.1.4 Anweisungen an die Schüler

Die Schüler bekommen zunächst den Polizeibericht zum Durchlesen, in dem genaue Informationen zum Fall und den Verdächtigen stehen. Durch diese Informationen und das Durchlaufen und Bearbeiten der Stationen, erhalten sie während der Durchführung des Schülerlabors immer mehr den Durchblick, wer der Täter sein könnte. Jede Station gibt ein neues Indiz zum Tathergang und Informationen zum Täter. Damit werden die Schüler angespornt, die Aufgaben lösen zu wollen, womit zusätzlich auch ihr Interesse zur Physik, die dahinter steckt, geweckt wird. Im folgenden Stationenbetrieb gibt es verschiedene Orte, an denen Beweise vermutet werden. Hierbei handelt es sich um den Platz vor dem Museum (Station 1 und 2), die Tür vor dem Kunstraum (Station 3) und zuletzt den Kunstraum (Station 4). Die Schüler werden darauf aufmerksam gemacht, dass alle für die Aufgabenbearbeitung nötigen Gegenstände an den Stationen zur Verfügung stehen und dass sie sich genau an die Aufgabenstellung halten sollen, um die Aufgaben und damit den Fall zu lösen. Dies sollte kein Problem für die Schüler darstellen, da sie nach dem bayerischen Lehrplan schon seit der siebten Klasse grundlegende Vorgehensweisen beim Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten kennen.

5.2 Aufbau des Schülerlabors

5.2.1 Der Eingangsvortrag

Zu Beginn des Schülerlabors werden die Schüler zunächst kurz eingewiesen und in acht Gruppen eingeteilt, wobei sich jeweils zwei Gruppen an derselben Station befinden.

Ablaufplan der Stationen	
Gruppe 1+2	Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4
Gruppe 3+4	Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 1
Gruppe 5+6	Station 3 → Station 4 → Station 1 → Station 2
Gruppe 7+8	Station 4 → Station 1 → Station 2 → Station 3

Tabelle 1: Ablaufplan

Für die Zeitplanung sind jeweils 40 Minuten pro Station eingeplant. Da das Wechseln der Stationen Zeit raubt, werden auch hierfür 10 Minuten eingeplant, die ihnen auch als kurze Pausen zur Verfügung stehen. Falls die Schüler schon früher mit einer Station fertig sein sollten, stehen ihnen verschiedene Kriminalistikbücher, die auch als Quellen dieser Arbeit dienen, zur Verfügung, in denen sie etwas stöbern können, bis sie zur nächsten Station wechseln müssen. Im nachfolgenden Zeitplan gehen wir von Gruppe 1+2 aus.

Zeitplan	
Uhrzeit	Station
10.15 – 10.30	Einführungsvortrag und Einteilen der Gruppen
10.30 – 11.10	Station 1: Platz vor dem Museum 1
11.10 – 11.20	Kurze Pause und Rotieren der Gruppen
11.20 – 12.00	Station 2: Platz vor dem Museum 2
12.00 – 12.10	Kurze Pause und Rotieren der Gruppen
12.10 – 12.50	Station 3: Tür zur Kunsthalle
12.50 – 13.00	Kurze Pause und Rotieren der Gruppen
13.00 – 13.40	Station 4: Kunstraum
13.40 - 14.00	Abschlussvortrag

Tabelle 2: Zeitplan der Gruppen 1 und 2

Bevor die Schüler mit den Stationen beginnen, bekommen sie die Versuchsanleitungen der einzelnen Stationen und Informationen der Verdächtigen, wobei bei jeder Station zuletzt ein Ermittlungsbericht⁶⁷ auszufüllen ist (vgl. Anhang S.77). Dieser enthält Ziele, Vorgehensweise und Ergebnisse der Ermittlung, wie es für einen richtigen Kriminalfall auch der Fall ist. Die Arbeitsblätter beinhalten die zu bearbeitenden Aufgaben, welche so aufgebaut sind, dass die Aufgaben zu Beginn zu den Hauptaufgaben, welche für den Fall relevant sind, hinführen. Diese Anfangsaufgaben sind wichtig für das physikalische Verständnis, damit die Schüler die physikalischen Hintergründe der Spurensuche verstehen können.

5.2.2 Station 1: Platz vor dem Museum 1

Inhalt

Die Hauptaufgabe dieser Station besteht darin nachzuweisen, ob es sich bei dem vorhandenen Fleck wirklich um Blut handelt. Der Blutnachweis wird mittels einer Luminol-H₂O₂-Natriumcarbonat-Lösung durchgeführt, welche Blut zum lumineszieren bringt. Der Grund des Leuchtens liegt in der Reaktion des Hämoglobins im Blut mit der Lösung.

Zu Beginn der Station wird die spektrale Zerlegung weißen Lichts wiederholt. Hierfür führen die Schüler folgenden Versuch mit einem Prisma durch, bei dem der Spalt von rechts beleuchtet wird.

⁶⁷ Aus Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule, Physik und Kriminalistik, Aulis Verlag Deubner, S.39

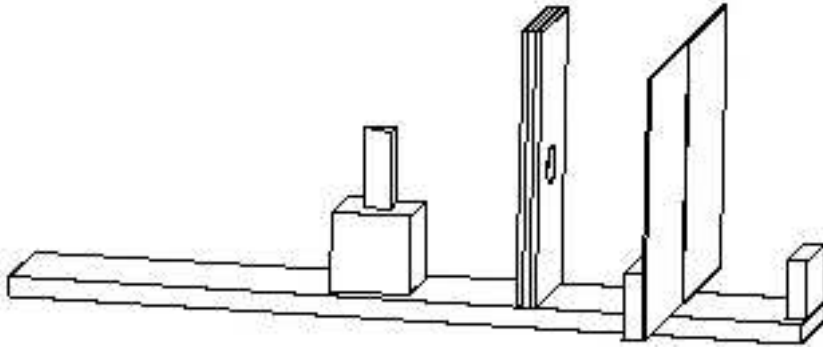


Abb. 39 Spektrale Zerlegung weißen Lichts mit einem Prisma

Als nächstes werden die Begriffe Absorption und Emission erläutert. Zusätzlich führen die Schüler einen Analogieversuch dazu durch. Hierbei wird das Stauchen einer Feder als Analogie zur Absorption gesehen, da hierbei Energie in die Feder hineingesteckt wird. Diese Energie wird dann wieder an den, vor der Feder befindlichen, Ball abgegeben. Dies entspricht der Energieabgabe in Form eines Photons.



Abb. 40 Analogieversuch zur Absorption und Emission

Danach wird der Begriff der Lumineszenz erklärt. „Lumineszenz ist der Sammelbegriff für alle Arten von Leuchterscheinungen eines Systems unter Energieeinwirkung jeglicher Art. Unter dem Oberbegriff Lumineszenz verbirgt sich die Emission von Strahlung. Die emittierte Strahlung beruht auf der Rückkehr angeregter Elektronen von einem angeregten Elektronenzustand in einen tiefer gelegenen Elektronenzustand bzw. den Elektronengrundzustand.“⁶⁸ Da die Schüler im Unterricht der siebten Klasse erfahren haben, dass weißes Licht spektral zerlegt ist und dass verschiedene Stoffe unterschiedliche Spektren aufweisen, können sie auch den Versuch des Blutnachweises nachvollziehen. Außerdem können sie zwischen kontinuierlichem Spektrum und Linienspektrum unterscheiden.⁶⁹

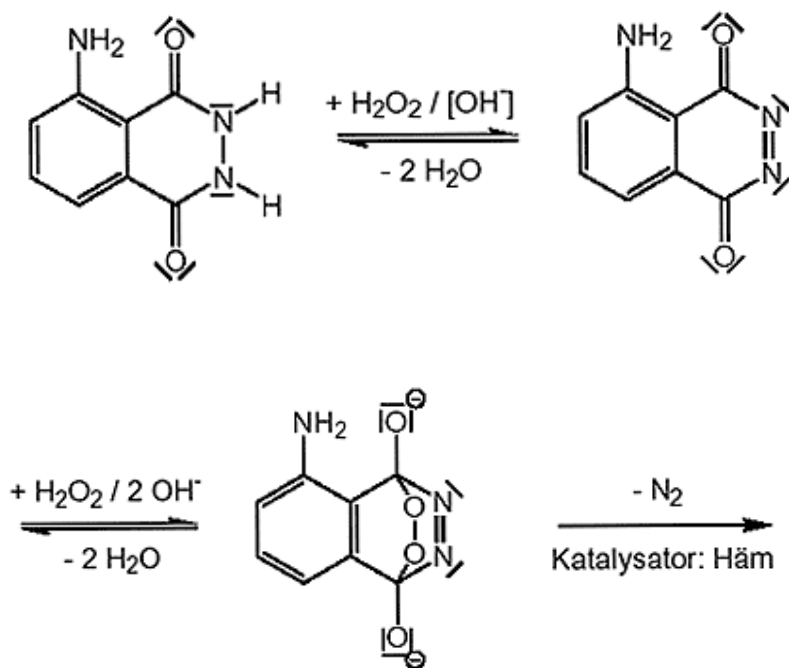
Diese Spektren geben an, welche Photonen vom Atom absorbiert werden können und dieses damit anregen. Dazu müssen die Photonen genau die Energie besitzen, welche nötig ist um Elektronen aus dem Valenzband anzuregen, also auf ein höheres Energieniveau zu bringen. Analog kann ein angeregtes Atom Energie in Form eines Photons der entsprechenden Wellenlänge λ abgeben, wodurch das Elektron wieder auf ein niedrigeres Niveau zurückfällt. Hierbei gilt $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$, mit h als Planckschem Wirkungsquantum und c als Lichtgeschwindigkeit.

⁶⁸ <http://www.uni-tuebingen.de/straehle/kristallstrukturanalyse/pdf/farbstoff3.pdf>

⁶⁹ Vgl. FOKUS Physik 9, Dr. Fösel A., Dr. Reinhard B., Sander P., Schweitzer S., Thanner A., S.104

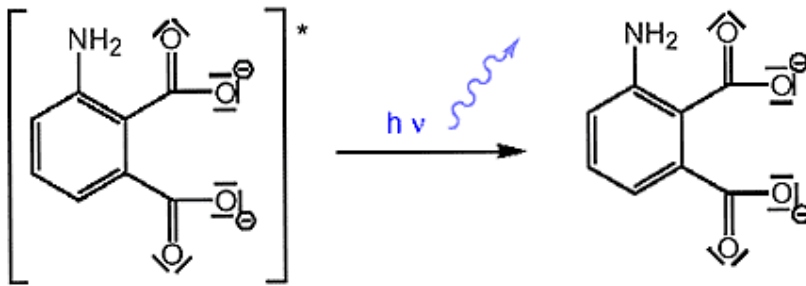
Um den Begriff der Lumineszenz zu verdeutlichen, führen die Schüler zunächst einen Versuch durch, bei dem verschiedene Waschmittel und Seife mit Schwarzlicht beleuchtet werden. Normales Waschmittel absorbiert im UV-Bereich und gibt bläuliches Licht wieder ab, was vom Auge wahrgenommen werden kann. Biowaschmittel und Seife besitzen keine Aufheller und lumineszieren deshalb nicht im Schwarzlicht.

Das Phänomen der Lumineszenz kommt auch bei der Sichtbarmachung von latenten Blutspuren wieder vor und soll nun von den Schülern überprüft werden. Hierfür muss man zunächst Luminol auf die vermutete Stelle sprühen. „Luminol ist eine Chemikalie, die mit Hämoglobin im Blut zu einer komplexen Substanz reagiert, die luminesziert.“⁷⁰ Hierbei dient das Hämoglobin im Blut als Katalysator der Oxidation. „Luminol wird unter Einwirkung von Wasserstoffperoxid in alkalischer Lösung zum Diazachinon oxidiert (Schritt 1). Im weiteren Verlauf kommt es zur Oxidation zu einem Peroxodianion (Schritt 2). Nach Abspaltung eines Stickstoff-Moleküls aufgrund der katalysierenden Wirkung des im Blut enthaltenen Protohäms bildet sich das Aminophthalsäuredianion in einem angeregten Zustand. Durch Abgabe von Lichtenergie wird der energetische Grundzustand wieder erreicht.“⁷¹



⁷⁰ CSI-Forensik für Dummies, D.P.Lyle, S.321

⁷¹ <http://www.experimentalchemie.de/versuch-042.htm>

Abb. 41 Reaktionsgleichungen zum Blutnachweis mit Luminol⁷²

Da aber häufig Bleichmittel verwendet werden um Blutspuren verschwinden zu lassen, welche ebenfalls mit Luminol reagieren und dann lumineszieren, ist es von Vorteil anstatt Luminol Fluoreszein zu verwenden. „Fluoreszein (...) ist (...) besser geeignet, um Blutspuren sichtbar zu machen, die mithilfe von Produkten gereinigt wurden, die Bleichmittel enthalten. Ein weiterer Vorteil (...) ist, dass (...) es weniger tropft, und (...) besser an Wänden, Türen und anderen senkrechten Oberflächen haftet.“⁷³

Diese Reaktionsgleichung ist für die Schüler nicht relevant, jedoch besteht die Möglichkeit, dass einige Schüler den genauen Grund für das Leuchten erfahren möchten und deshalb bekommen die Betreuer ein Handout, mit eben diesem Hintergrundwissen zum Blutnachweis.

Aufbau und Durchführung

Station 1 ist in verschiedene Bereiche eingeteilt: 1. Spektrale Zerlegung weißen Licht, 2. Absorption und Emission, 3. Lumineszenz, 4. Blutnachweis mit Luminol. Die Station wird von zwei Gruppen parallel durchgeführt, da genügend Gläser und Fließen zur Verfügung stehen. Die erste Aufgabe besteht darin, das Prinzip der spektralen Zerlegung weißen Lichts zu verstehen und stammt aus der Zulassungsarbeit von Frau Wüst⁷⁴. Rechts befindet sich eine Lampe, die den Spalt beleuchtet. Die dahinter befindliche Linse bildet den ausgeleuchteten Spalt scharf ab. Danach trifft das Licht auf das Prisma und wird je nach Stellung des Prismas zweimal an den Grenzflächen gebrochen. Da der Brechungsindex von der Wellenlänge abhängt, werden die verschiedenen Farben unterschiedlich stark gebrochen. Bei dieser Abhängigkeit von der Wellenlänge spricht man von Dispersion und somit sieht man auf dem Schirm die Spektralfarben weißen Lichts. Die Schüler haben die Aufgabe das Prisma so lange zu drehen, bis sie das Spektrum weißen Lichts auf dem Schirm erkennen können. Hierbei geht es nicht darum, dass sie den genauen Aufbau des Versuchs verstehen, sondern nur darum, dass sie die spektrale Zerlegung, welche in der siebten Klasse durchgenommen wurde, wiederholen. Ebenso wird der Begriff der Dispersion, welcher der Grund für das sichtbare Spektrum hinter dem Prisma ist, wiederholt. Sie wissen, dass jede Farbe einem Photon einer gewissen Wellenlänge entspricht, also dass es sich bei Licht um Energie handelt. Sieht man bei einem Körper nur eine Farbe, so gibt dieser Energie nur in einer bestimmten Energieportion ab.

⁷² <http://www.experimentalchemie.de/versuch-042.htm>

⁷³ CSI-Forensik für Dummies, D.P.Lyle, S.265

⁷⁴ Siehe www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/expstationen.htm

Zusätzlich sollen die Begriffe der Absorption und Emission verstanden werden, da sie ebenfalls zum Verständnis der Lumineszenz beim Blutnachweis nötig sind. Dafür werden zuerst die Begriffe der Absorption und der Emission erläutert. Damit die Schüler dieses Prinzip wirklich verstehen, führen sie zunächst ein Analogieversuch zu beiden durch. Dieser Analogieversuch, bei dem eine Feder gestaucht, die Energie durch den Saugnapf kurz gespeichert und dann beim Lösen des Saugnapfes die Energie an eine davor liegende Kugel abgegeben wird, zeigt genau die Abläufe der Absorption und Emission. Die Schüler sollen erkennen, dass hierbei Energie umgewandelt wird, also dass durch Energieaufnahme ein Elektron in einen angeregten Zustand gehoben wird und durch Energieabgabe das Elektron wieder in den Grundzustand gelangt, wobei die freiwerdende Energie in Form eines Photons abgegeben wird. Da die Begriffe der Absorption und Emission erst im Laufe der neunten Klasse erlernt werden, ist es wichtig diese genau zu erklären und mit Bildern zu veranschaulichen. Ein Analogieversuch wie dieser festigt zusätzlich das Verständnis.

Der Lumineszenzversuch, mit dem Waschmittel, dient nur der Veranschaulichung. Es geht hierbei nicht darum, dass die Schüler verstehen sollen, warum die Wellenlänge der absorbierten Strahlung (UV) eine andere ist, als die der emittierten Strahlung (Blau). Sie sollen nur erkennen, dass die Absorption und Emission von verschiedenen Stoffen unterschiedlich ist, also dass Atome verschiedener Stoffe durch unterschiedliche Energieportionen angeregt werden und damit auch unterschiedliche Energieportionen wieder abgeben.

Im letzten Teil der Station führen die Schüler nun den Blutnachweis durch. Hierfür wurden mehrere Steine mit verschiedenen dunkelroten Flüssigkeiten, wie Blut, Ketchup und Wasserfarbe überschüttet.



Abb. 42 Farbfleck (links), Blutfleck (mitte), Ketchupfleck (rechts)

Die Schüler sollen nun untersuchen, bei welchem Stein es sich um Blut handelt. Deshalb sprühen sie etwas der Luminol-Lösung auf die Flecken. Da das bläuliche Leuchten nur durch die Reaktion zwischen Blut und Luminol-Lösung zustande kommt, luminesziert nur die

Fließe mit dem darauf befindlichen Blutfleck. Somit können sie erkennen, dass nicht jede Substanz mit Luminol einen angeregten Zustand erreicht und Licht emittiert. Die Luminol-Lösung wird direkt vor der Durchführung des Schülerlabors angemischt, da sich die Lösung ziemlich schnell zersetzt. Dies wird nach folgender Anleitung⁷⁵ durchgeführt.

1. 50 g Natriumcarbonat und 0,1 g Luminol werden ausgewogen.
2. Es wird eine Lösung aus 100 ml destilliertem Wasser, Natriumcarbonat und Luminol hergestellt.
3. 15 ml Wasserstoffperoxid wird im Messzylinder abgemessen.
4. Die Hälfte der Luminol-Lösung wird in eine Sprühflasche gegossen.
5. Die Hälfte des Wasserstoffperoxid wird dazugegeben. (Die Mischung zersetzt sich relativ schnell! Deswegen sollte das Wasserstoffperoxid *immer erst kurz vor* der Anwendung zur Luminol-Lösung gegeben werden)

5.2.3 Station 2: Platz vor dem Museum 2

Inhalt

In der Optik lernen die Schüler, dass sich Licht geradlinig ausbreitet. Sie erfahren, dass man die Lichtausbreitung mittels Lichtstrahlen und Lichtbündeln darstellen kann. Anders als bei einer gewöhnlichen Glühbirne kann man mit einem Laser Lichtstrahlen nur in eine Richtung aussenden.

Deshalb werden Laser auch in der Kriminalistik eingesetzt, um den zurückgelegten Weg eines Projektils zurückzuverfolgen. Wurde mehrmals vom gleichen Ort aus geschossen und dabei verschiedene Gegenstände getroffen, ist es möglich durch Einsetzen eines Lasers in den jeweiligen Einschusslöchern, den Standpunkt des Täters herauszufinden.

Bei denen im Schülerlabor zu benutzenden Lasern handelt es sich um Laser der Laserschutzklasse 2, d.h. sie besitzen eine Leistung von weniger als 1 mW. Da es aber auch Laser mit einer größeren Leistung gibt, ist es wichtig, den Schülern beizubringen, vorsichtig mit diesen umzugehen. Dies liegt daran, da es sich bei Laserlicht um stark gebündeltes Licht handelt. Deshalb sollten die Einschusslöcher nicht so platziert worden sein, dass die Laser auf Augenhöhe strahlen. Sollte dennoch jemand versehentlich einen Laserstrahl ins Auge bekommen, ist es als Betreuer gut zu wissen, dass dies völlig harmlos ist, denn bei den verwendeten Lasern der Laserschutzklasse 2 reicht der Lidschlussreflex (ca. 0,25 s) völlig aus.

Die Betreuer sollten die Schüler darauf aufmerksam machen, keine der am Tatort befindlichen Gegenstände zu verrutschen, da sonst die Schussbahn verfälscht wird. Außerdem wäre eine kurze Diskussion über den Wahrheitsgehalt der Verwendung von Lasern in Krimiserien angebracht, da in unzähligen Serien der Laserstrahl bei klarer Luft durchgehend sichtbar ist,

⁷⁵ Vgl. Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule, Physik und Kriminalistik, Aulis Verlag Deubner, S.45

obwohl dies in Wirklichkeit nicht möglich ist, denn dafür muss es neblig sein, weswegen zur Sichtbarmachung von Laserstrahlen eine Nebelmaschine verwendet wird. Der Grund hierfür liegt in der Streuung der Laserstrahlen an den relativ großen Nebelmolekülen. „Da die Tröpfchengröße bei diesem Nebel größer als die Wellenlänge des Lichts ist (Mie- Streuung), wird das Laserlicht nicht gleichmäßig in alle Richtungen gestreut, was aber unerheblich ist. Von Vorteil ist allerdings ein dunkler Hintergrund oder ein leichtes Abdunkeln des Experimentierraumes.“⁷⁶

Zusätzlich soll in dieser Station noch überprüft werden, ob ein Laserstrahl den exakten Weg eines Schusses aufzeigen kann, denn bei einem Schuss in die Horizontale handelt es sich um einen waagrechten Wurf. Dieser wird zwar erst in der zehnten Klasse des Gymnasiums durchgenommen, was aber für die Bearbeitung der Aufgabe nicht weiter relevant ist, denn die Schüler bekommen eine genaue Angabe, wie sie Newton-II benutzen sollen. Mit dieser Aufgabe sollen sie einfach nur erkennen, dass es möglich ist, die Schussbahn einer Pistolenkugel mit einem Laser aufzeigen zu können.

Aufbau und Durchführung

Station 2 besteht auch aus zwei Bereichen, dem Tathergang und der Abweichung des Schusses vom Weg des Lasers. Die Station wird ebenfalls von zwei Gruppen parallel durchgeführt, wobei der erste Teil von beiden Gruppen gleichzeitig bearbeitet wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Schüler gemeinsam eine Methode finden müssen, die Position des Täters herauszufinden. Würde man die Gruppen getrennt raten lassen und findet eine Gruppe die Lösung des Problems, kann die andere Gruppe die Lösung einfach nur kopieren. Arbeiten sie hingegen zusammen und beraten sich, sind beiden Gruppen an der Aufgabenfindung beteiligt. Zu Beginn sollen sich die Schüler nämlich selbst Gedanken machen, wie sie herausfinden, wo der Täter gestanden haben muss. Einige unter ihnen haben bestimmt schon eine der vielen Krimiserien gesehen und werden die Möglichkeit mit dem Laser schnell erraten. Hierfür sollen nun die Laser in die „Einschusslöcher“ gesteckt werden. Dann stellt sich ein Schüler an den Ort, an dem er den „Täter“ vermutet hat. Falls er nun von allen Laserstrahlen getroffen wird, steht er richtig. Für den Fall, dass die Schüler nicht auf die Idee kommen, die Laser zur Standortbestimmung des Täters zu benutzen, kann der Betreuer ihnen einen kleinen Tipp geben, wie zum Beispiel: „Wofür werden die Laser in den Krimiserien benutzt?“ Diese Vorgehensweise ist wegen der geradlinigen Ausbreitung von Licht möglich.

Beim Bohren der Schusslöcher ist darauf zu achten, dass die Laser hineingesteckt werden können, da der Radius des Laserstrahls beim einfachen Durchleuchten der Löcher sonst zu groß ist. Hierbei wurden Löcher mit 10 mm Durchmesser gebohrt, so dass folgende Konstruktion der Laser in die Löcher gesteckt werden können.

⁷⁶ Aus <http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Nebelmaschine.pdf>



Abb.43 Fixierung des Lasers

Bevor man die Löcher bohrt, sollte man sich überlegen in welchem Abstand der fiktive Täter gestanden haben soll und in welchem Abstand sich die Löcher befinden sollen.

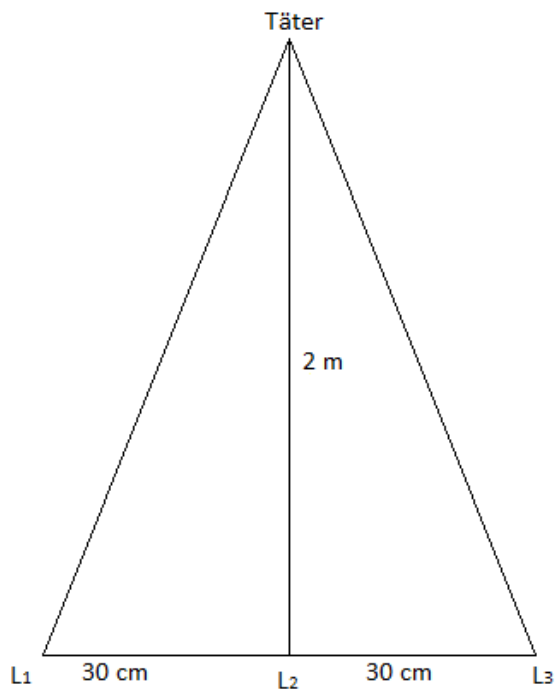


Abb. 44 Vorüberlegungen zum Bohren

In diesem Fall beträgt $\alpha = \arctan \frac{2\text{ m}}{0,3\text{ m}} = 81,5^\circ$. Damit kann man den Winkel, in dem die Löcher einfallen sollen, berechnen. Das Loch in der Mitte wird senkrecht gebohrt. Dann legt man einen Keil mit einem Winkel von $90^\circ - 81,5^\circ$ unter die zu durchbohrende Holzplatte 30 cm rechts vom mittleren Loch und befestigt den Bohrer so, dass er senkrecht nach unten zeigt. Man bohrt nun ein Loch gerade nach unten und erhält somit den gewünschten Winkel. Die andere Seite wird analog gebohrt, nur dass hierbei die Platte gedreht werden muss.

Da es sich bei Laserstrahlen um gebündeltes Licht handelt, kann der Weg einer Patrone damit annähernd aufgezeigt werden. Da ein Schuss aber einem waagerechten Wurf gleicht, muss die Schussbahn eine Parabelform haben. Deshalb sollen die Schüler zunächst einen waagerechten Stoß mit einem Ball durchführen, um den dabei zurückgelegten Weg des Balls zu beobachten.



Abb. 45 Waagerechter Wurf

Anschließend sollen sie den zurückgelegten Weg des Balls in ein Diagramm einzeichnen, wie es im Nachfolgenden zu sehen ist.



Abb.46 Diagramm zum waagerechtem Wurf

Um zu überprüfen, ob man mittels Laser eine Schussbahn annähern kann, arbeiten sie mit dem Computerprogramm Newton-II. Sie erzeugen einen waagrechten Wurf, indem sie die Anfangsgeschwindigkeiten, Anfangsorte und Beschleunigungen in x - und y -Richtung

angeben. Diese Bewegung wird dann in einem x - y -Diagramm betrachtet. Im Programm ist angegeben, dass folgende Formeln gelten:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad \text{und} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Deshalb müssen sie nur die Beschleunigungen in x - und y -Richtung eintragen. Es geht nicht darum, dass sie das mathematische Modell verstehen, denn die Differentialrechnung wird erst in Jahrgangstufe 11 eingeführt und somit können sie obige Formeln nicht verstehen. Bei dieser Aufgabe geht es nur darum, zu sehen, dass die Parabelform mit höherer Anfangsgeschwindigkeit in x -Richtung abflacht. Deshalb wird ihnen genau beschrieben, wie sie die Felder ausfüllen müssen.

Da man bei Newton-II nur zwischen eindimensionaler und dreidimensionaler Bewegung wählen kann, wird eine dreidimensionale Bewegung gewählt, bei der Anfangsort, Anfangsgeschwindigkeit und Beschleunigung in z -Richtung gleich Null gesetzt werden, denn bei einem waagrechten Wurf handelt es sich um eine zweidimensionale Bewegung. Die Beschleunigung in x -Richtung beträgt ebenfalls 0 und die Beschleunigung in y -Richtung $-9,81 \frac{m}{s^2}$. Die Masse des Geschosses wird als 0,01 kg angenommen. Da die Höhe in Abhängigkeit vom zurückgelegten Weg von Interesse ist, wird ein x - y -Diagramm benötigt. Beginnt man nun mit einer Anfangsgeschwindigkeit in x -Richtung von $20 \frac{m}{s}$ und stellt dann Automatik bei der Achsenanpassung aus, kann man bei Variation der Geschwindigkeiten, die Grafen unterschiedlicher Geschwindigkeiten miteinander vergleichen. Die Schüler sollen deshalb in Schritten von $10 \frac{m}{s}$ die Geschwindigkeit erhöhen, um zu sehen, dass die Parabelform mit höherer Geschwindigkeit abflacht. Eine 9 mm-Patrone hat eine Geschwindigkeit zwischen $300 \frac{m}{s}$ und $580 \frac{m}{s}$ ⁷⁷. Da die Schüler mehrere Felder der Grundgleichungen ausfüllen müssen, erhalten sie folgendes Bild um zu überprüfen, ob sie alles richtig eingegeben haben.

⁷⁷ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/9_x_19_mm

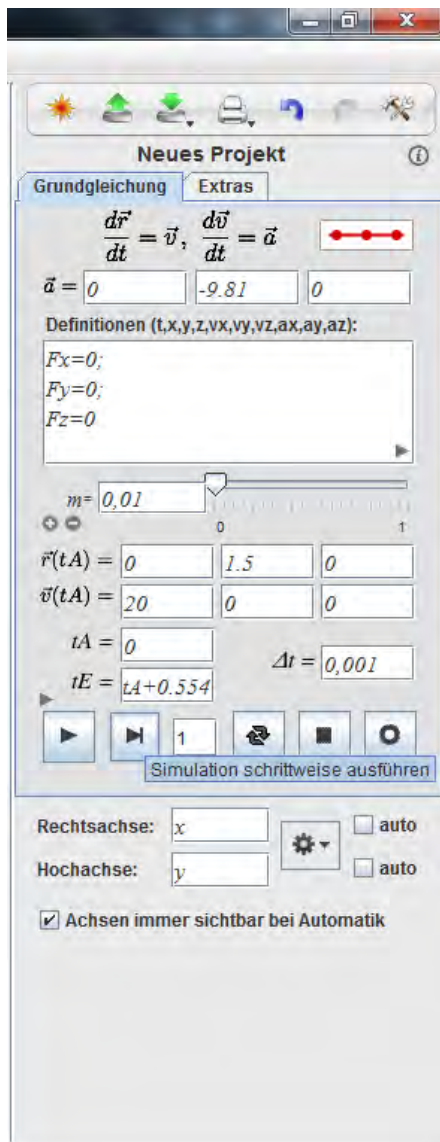


Abb. 47 Newton-II, waagerechter Wurf

Bei einer Geschwindigkeit von $300 \frac{m}{s}$ ist der Graph annähernd waagrecht. Deshalb kann eine Schussbahn mit einem Laser aufgezeigt werden.

5.2.4 Station 3: Tür zur Kunsthalle

Inhalt

Jeder Mensch hinterlässt Spuren von sich, ob in Form von Haaren, Fingerabdrücken oder Schuhspuren. Nur unter dieser Annahme ist es möglich den Tatort nach Beweisen abzusuchen, um den Tathergang zu rekonstruieren und herauszufinden, was sich wirklich dort abgespielt hat, obwohl man selbst nicht dabei gewesen ist. In dieser Station geht es darum, dass die Schüler den Tatort nach Fußabdrücken absuchen und diese dann mittels einer

elektrostatischen Matte abnehmen. Um die Funktionsweise der Matte zu verstehen, werden zu Beginn einige Versuche zur Influenz durchgeführt.



Abb. 48 Utensilien für den Influenzversuch

Dazu wird eine Metallkugel an eine Spannungsquelle angeschlossen. Die erste Aufgabe besteht darin zu sehen, dass sich Watte in Richtung des elektrischen Feldes ausrichtet. Als zweites wird ein Elektroskop in Nähe der aufgeladenen Kugel gebracht, um die Influenz direkt zu beobachten. Dafür müssen die Schüler die Funktionsweise des Elektroskops verstehen, welche aber schon nach Lehrplan im Unterricht durchgenommen wurde.

Um im Bereich der Elektrizität zu bleiben, müssen die Schüler im zweiten Teil dieser Station, selbst eine Lichtalarmanlage bauen, um die Funktionsweise dieser zu verstehen und damit den Hintergrund der an der Wand befestigten Spiegel, mit denen ein Laserstrahl umgelenkt werden kann, nachvollziehen zu können. Der Bau der Alarmanlage ist möglich, da die Schüler schon seit der siebten Klasse eine Modellvorstellung vom elektrischen Stromkreis haben und wissen welche Bestandteile bei einem Stromkreis benötigt werden.

Aufbau und Durchführung

Station 3 ist in drei Bereiche eingeteilt: Influenz, Elektrostatische Matte und Alarmanlage. Da es nur einen Brummer gibt, der für den Bau der Alarmanlage benötigt wird, führen die Gruppen die Station nicht parallel durch, sondern nach nachfolgendem Schema:

Gruppe 1	1. Influenz → 2. Elektrostatische Matte → 3. Alarmanlage
Gruppe 2	3. Alarmanlage → 1. Influenz → 2. Elektrostatische Matte

Tabelle 3

Die erste Aufgabe der Schüler besteht darin, das Prinzip der Influenz zu verstehen. Hierfür erhalten sie zunächst eine kurze Erklärung des Begriffs mit einem dazu passendem Bild.

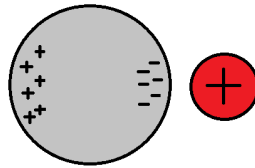


Abb. 49 Influenz

Um dies zusätzlich zu veranschaulichen, führen sie zwei Versuche zur Influenz durch. Hierbei wird eine metallische Kugel an den Pluspol einer Spannungsquelle angeschlossen und dadurch positiv aufgeladen. Bringt man ein Stück ungeladener Watte in Nähe der Kugel, wird diese, durch Ladungstrennung auf der Watte, von der Kugel angezogen.

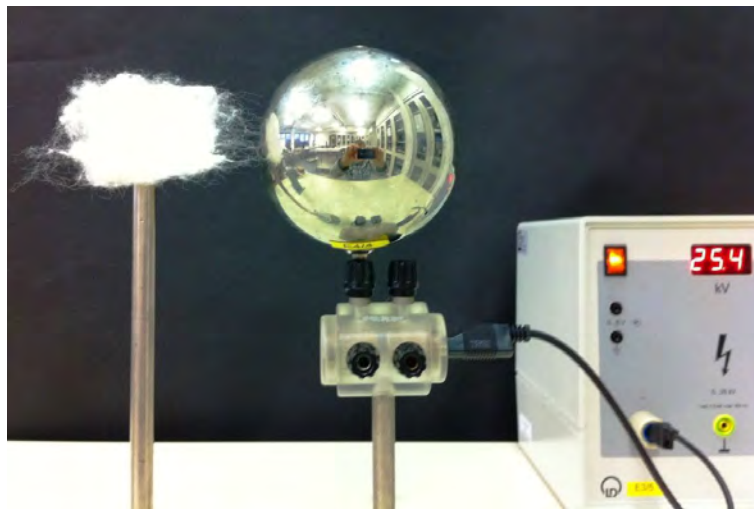


Abb. 50 Influenz bei Watte

Dies soll nun von den Schülern beobachtet und festgehalten werden. Danach wird ein Elektroskop in der Nähe der Kugel platziert.

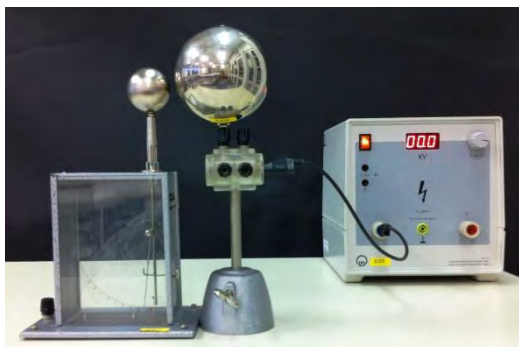


Abb. 51 Influenz mit Elektroskop, $U = 0$ kV

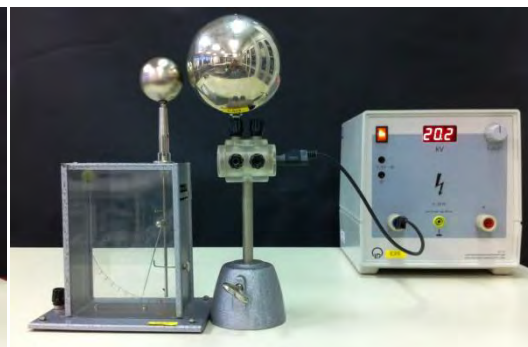


Abb. 52 Influenz mit Elektroskop, $U = 20$ kV

Die Spannung soll langsam vergrößert werden, so dass die Schüler erkennen können, dass der Zeiger umso mehr abgestoßen wird, je höher die Spannung ist.

Eine zusätzliche Aufgabe der Schüler besteht darin, die Ladungsverteilung auf dem Elektroskop einzuzichnen, damit das Prinzip der Influenz gefestigt wird.

Dieses Verständnis wird nun für die Funktionsweise der elektrostatischen Matte benötigt. Der Versuchsaufbau stammt aus dem Buch „Low Cost - High Tech Freihandversuche Physik“ auf

S. 88. Die elektrostatische Matte besteht aus Alufolie, bei der die eine Seite mit schwarzer Selbstklebefolie beklebt wurde, um den Schuhabdruck besser erkennen zu können. Die Matte wird dann an eine Hochspannungsquelle angeschlossen, indem man ein Kabel mit Klemme mit einem Ende an den Pluspol anschließt und das andere Ende an die Matte klemmt. Die Schüler machen sich mit Lupen auf die Suche nach Schuhspuren. Entdecken sie eine, müssen sie die Matte, mit der schwarzen Seite nach unten, auf den Schuhabdruck legen, die Spannung auf 10 kV drehen und eine Minute warten. Danach wird die Matte vorsichtig abgenommen und der Schuhabdruck ist auf der schwarzen Folie zu sehen. Es werden zwei Schuhabdrücke erstellt. Zum einen mit einem Sportschuh der Größe 46 und zum anderen mit einem Stöckelschuh der Größe 39. Es werden deshalb zwei Fußabdrücke erstellt, um den Fall nicht zu eindeutig erscheinen zu lassen. Beim Erstellen des Schuhabdrucks wird etwas Mehl auf den Boden gestreut, da ein staubiger Boden für das Funktionieren der Matte nötig ist. Der Grund hierfür liegt darin, dass Staub bzw. Mehl von einer Hochspannung angezogen wird, weil es durch Influenz in den Staubkörner zu einer Ladungstrennung kommt und da Staubkörner so leicht sind, werden die jeweiligen Pole von der Hochspannung angezogen und bleiben dann daran haften. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass „nur ein Teil des Staubs angezogen wird [und deshalb] kann die Prozedur an derselben Spur mehrfach wiederholt werden.“⁷⁸

Im dritten Teil dieser Station müssen die Schüler selbst eine Lichtalarmanlage bauen. Für den Aufbau der Alarmanlage wurde die Internetseite <http://nbg-web01.opitec.com/img/downloads/technikdownloads/ElektronikSolar/12-14-Jahre/105107bd.pdf> als Hilfe hinzugezogen, wobei nicht die identische Schaltskizze für den Aufbau der Alarmanlage verwendet wurde. Die Schüler erhalten folgende Schaltskizze, nach welcher sie die Alarmanlage zusammenbauen können.

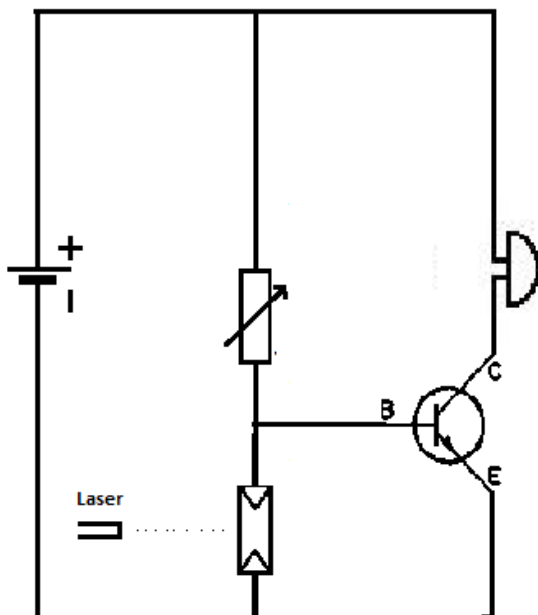
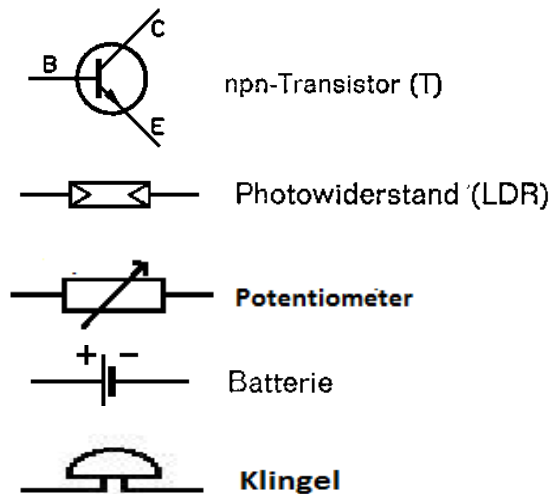


Abb. 53 Schaltskizze Alarmanlage

⁷⁸ Spuren am Tatort, Brian Innes, S.67

Hierbei wurden folgende Schaltzeichen benutzt:



Das Potentiometer wurde verwendet, um den genauen Widerstand einschalten zu können, bei dem die Klingel, wenn der Laser den Photowiderstand bestrahlt, nicht mehr klingelt. Es ist hierbei wichtig, die Schüler darauf aufmerksam zu machen, das Potentiometer nicht zu verstellen. Geschieht dies aber trotzdem, muss der Betreuer dieses wieder neu justieren. Zusätzlich erhalten sie ein Bild von der fertigen Alarmanlage, mit dem sie überprüfen können, ob sie alle Kabel richtig angeschlossen haben.

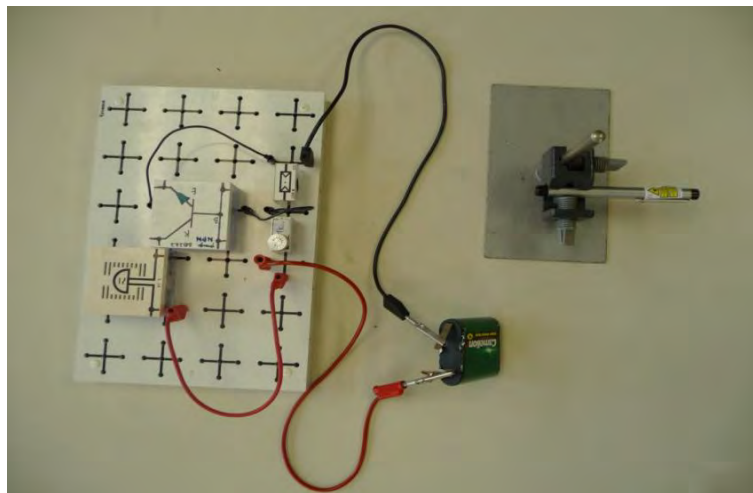


Abb. 54 Alarmanlage

Da der Transistor und das Potentiometer bis zur neunten Klasse noch nicht eingeführt wurden, geht es in diesem Versuch nicht darum die Schaltung nachzuvollziehen oder verstehen zu können. Die Schüler sollen nur nachvollziehen können, dass die Alarmanlage brummt, sobald der Photowiderstand nicht mehr bestrahlt wird. Dies sollen sie selbst überprüfen, indem sie den Laserstrahl durchbrechen. Es geht also hauptsächlich darum, dass sie eine Schaltung korrekt nachbauen können.

Im Türrahmen wurden zusätzlich Spiegel befestigt, welche nur zeigen sollen, dass sie vom Täter verwendet wurden. Damit die Schüler selbst herausfinden, wofür die Spiegel benutzt

wurden, sollen sie selbst zwei Spiegel in einiger Entfernung von der Alarmanlage so platzieren und mit einem eigenen Laserpointer bestrahlen, dass die Alarmanlage nicht klingelt, obwohl der zugehörige Laserstrahl durchbrochen wird.

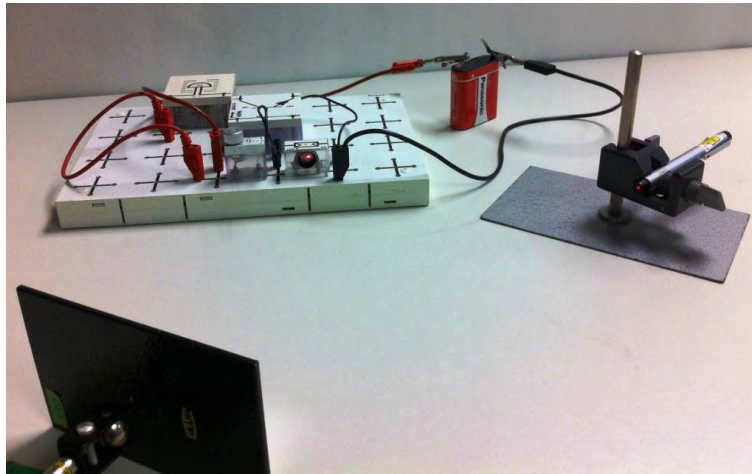


Abb. 55 Alarmanlage mit Spiegel

5.2.5 Station 4: Kunstraum

Inhalt

In der letzten Station geht es hauptsächlich um optische Instrumente, wie Lupe, Mikroskop und Vergleichsmikroskop. Die Schüler sollen lernen Lupe und Mikroskop richtig zu verwenden, da es für die Spurensuche von Nöten ist, Gegenstände zu vergrößern. Da die Brennweiten der Linsen zum Bau eines Mikroskops bekannt sein müssen, bestimmen die Schüler diese, indem sie paralleles Licht einer Lichtquelle auf einen Punkt fokussieren. Außerdem bauen die Schüler selbst ein Mikroskop, indem sie zwei Linsen hintereinander auf einer optischen Bank befestigen. Zusätzlich lernen sie Fingerabdrücke abzunehmen, um diese unter dem Mikroskop betrachten zu können. Mit dem Vergleichsmikroskop ist es möglich, gleichzeitig die am Tatort gefundenen und die Fingerabdrücke der Verdächtigen, nebeneinander zu betrachten. Hierfür steht ihnen ein Modell eines Vergleichsmikroskops zur Verfügung, bei dem die Strahlen mittels Prismen umgelenkt werden. Um den Aufbau des Modells besser zu verstehen, werden einige Versuche zur Umlenkung von Lichtstrahlen mittels Prismen durchgeführt.⁷⁹

Aufbau und Durchführung

Station 4 besteht aus vier Bereichen, 1. Lupe, 2. Mikroskop, 3. Abnahme eines Fingerabdrucks, 4. Vergleichsmikroskop. Für das Schülerlabor stehen nur ein Mikroskop und ein Modell eines Vergleichsmikroskops zur Verfügung. Deshalb müssen die Gruppen die Station folgendermaßen durchführen:

⁷⁹ Siehe auf www.leifiphysik.de, Klasse 7, Brechung von Licht, Prismen-Versuche

Gruppe 1	1. Lupe → 2. Mikroskop → 3. Abnahme eines Fingerabdruckes → 4. Vergleichsmikroskop
Gruppe 2	4. Vergleichsmikroskop → 1. Lupe → 2. Mikroskop → 3. Abnahme eines Fingerabdruckes

Tabelle 4: Durchführung der Station 4

Da gewisse Gegenstände mit dem bloßen Auge schwer zu erkennen sind, benutzen Kriminalbeamte Lupen, welche Gegenstände vergrößert darstellen. Jeder Schüler soll zu Beginn der Station mit einer Lupe verschiedene Gegenstände betrachten, um selbst herauszufinden, wie man eine Lupe am besten halten sollte. Sie werden darauf aufmerksam gemacht, dass ein Unterschied darin besteht, ob man die Lupe direkt ans Auge hält, wie eine Sehhilfe, oder direkt an den Gegenstand um diesen zu vergrößern.

Da die Vergrößerung der Gegenstände für das Finden von Spuren wichtig ist und man umso mehr erkennt, je größer die Vergrößerung ist, sollen die Schüler selbst die Vergrößerung ihrer Lupe herausfinden, indem sie zwei gleiche Maßstäbe betrachten. Der eine wird durch eine Lupe und der andere gleichzeitig mit bloßem Auge betrachtet und die Schüler sollen abzählen, wie viele Striche beim Maßstab ohne Lupe denen mit Lupe entsprechen. Die Vergrößerung V_L der Lupe ergibt sich aus dem Verhältnis der Anzahl der Striche ohne Lupe zu der Anzahl der Striche mit Lupe.



Abb. 56 Bestimmung der Vergrößerung



Abb. 57 Vergleich der Striche

Da sie im zweiten Teil selbst ein Modell eines Mikroskops bauen sollen, bei dem die Brennweiten zweier Linsen bekannt sein müssen, werden diese vorher von den Schülern bestimmt. Dafür wird eine Linse auf die magnetische optische Bank gestellt und von einer Seite mit parallelem Licht bestrahlt. Auf der anderen Seite befindet sich eine Wand. Die Linse wird solange verschoben, bis auf der Wand nur noch ein heller Punkt zu sehen ist.

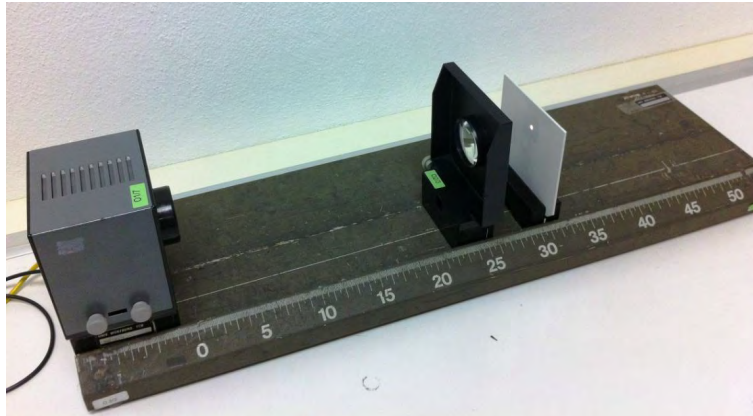


Abb. 58 Bestimmung des Brennpunkts

Die Schüler sollen nämlich eine Vorstellung davon erhalten, dass parallele Lichtstrahlen im Brennpunkt gebündelt werden. Man erhält paralleles Licht durch Verwendung einer Reuterlampe, bei der sich eine Linse im Abstand der Brennweite vor der Glühbirne befindet. Außerdem erfahren sie, dass die Strahlen, falls sich ein Gegenstand im Brennpunkt befindet, hinter der Linse parallel verlaufen und damit parallel ins Auge einfallen, was zur Entspannung des Auges führt. Nun kennen sie alle Begriffe, die für den Bau eines Mikroskops relevant sind. Damit sie eine Vorstellung vom genauen Aufbau haben, bekommen sie eine Skizze eines Mikroskops (Abb. 21), mit der Reihenfolge der Linsen.

Sie sollen nun selbst die Linsen auf der optischen Bank befestigen und herausfinden in welchem Abstand sie durch das Okular schauen müssen, um den Rand des Objektivs nicht mehr zu sehen. Erst jetzt kann die Apparatur als Mikroskop verwendet werden.



Abb. 59 Modell eines Mikroskops

Um einen Vergleich zwischen Mikroskop und Lupe herstellen zu können, sollen sie zusätzlich den Gegenstand mit der Lupe betrachten und festhalten, welche Unterschiede sie zwischen Lupe und Mikroskop erkennen können, um zu sehen, dass das Mikroskop eine Erweiterung der Lupe ist, da hierbei nun zwei Linsen verwendet werden. Außerdem dreht die Linse den Gegenstand um. Es wurden verschiedene Haare in Nähe der Figur verteilt. Diese sollen von

den Schülern gefunden und unter dem Mikroskop betrachtet werden, damit sie herausfinden, zu welchen Verdächtigen die Haare passen könnten.



Abb. 60 Utensilien zum Abnehmen von Fingerabdrücken

Als nächstes Lernen sie, wie man einen Fingerabdruck abnimmt. Dass Fingerabdrücke zurückbleiben und dass das Pulver am Fingerabdruck haften bleibt, ebenso wie am Klebeband kleben bleibt, liegt an Adhäsionskräften. Diese wurden bis zur neunten Klasse jedoch noch nicht eingeführt. Da aber die Abnahme eines Fingerabdrucks zu jeder Untersuchung eines Tatorts dazugehört, sollen die Schüler die Möglichkeit bekommen dies zu tun. Ziel dieser Aufgabe ist es somit, die Schüler zu motivieren und Interesse im Bezug auf das Lösen des Falls zu wecken und dazu braucht es nicht nur Physik, sondern „authentische“ Kriminaltechnik. Beim Puder handelt es sich um Russpulver der Kriminalpolizei und auch der Pinsel, welcher aus sehr feinen, weichen Haaren besteht, damit der Fingerabdruck nicht verwischt wird, wird vom Kriminalbeamten Rainer Schott zur Verfügung gestellt



Abb. 61 Puder und Pinsel zum Abnehmen Von Fingerabdrücke

Bei der Kriminalpolizei sind Fingerabdrücke in ganz bestimmte Kategorien eingeteilt, damit sie einfacher im System zu finden sind. Man unterscheidet Fingerabdrücke anhand der Muster in den Fingerabdrücken, denn jeder Mensch hat eine unterschiedliche Anzahl dieser Mustertypen. Das nachfolgende Bild zeigt Muster, wie sie im Allgemeinen bei Fingerabdrücken gefunden werden.



Abb. 62 Klassifikation von Fingerabdrücken⁸⁰

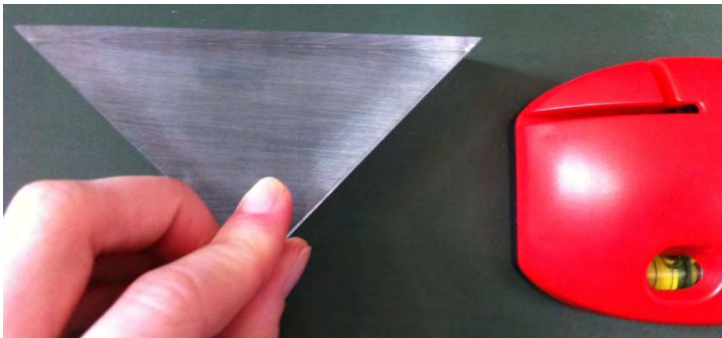
Sie sollen nun ihre eigenen Fingerabdrücke abnehmen und in obige Kategorien einordnen. Danach sollen sie sich auf den Weg machen und den Tatort nach Fingerabdrücken absuchen. Haben sie welche gefunden, werden diese abgenommen. Um im Bereich der Fallauflösung voranzuschreiten, stehen ihnen zusätzlich die Fingerabdrücke der Verdächtigen als Vergleiche zur Verfügung. Hierbei werden die Fingerabdrücke stets vom Betreuer auf die Figur gebracht, da dieser im Falle des Verwischens der Abdrücke neue auf die Figur bringen können. Damit gehören die Fingerabdrücke des Betreuers dem fiktiven Täter. Außerdem sollen auch die am Tatort gefundenen Patronen nach Fingerabdrücken untersucht werden.

Im letzten Teil der Station geht es um die Funktionsweise eines Vergleichsmikroskops. Hierfür führen die Schüler zunächst einige Versuche mit gleichseitigen, rechtwinkligen Prismen durch. Das Prisma wird in drei Stellungen mit dem Laser an der Tafel bestrahlt und der Strahlengang wird beobachtet und festgehalten. Der Laser ist magnetisch und bleibt an der Tafel haften. Die Prismen müssen jedoch festgehalten werden, da sie nicht magnetisch sind.

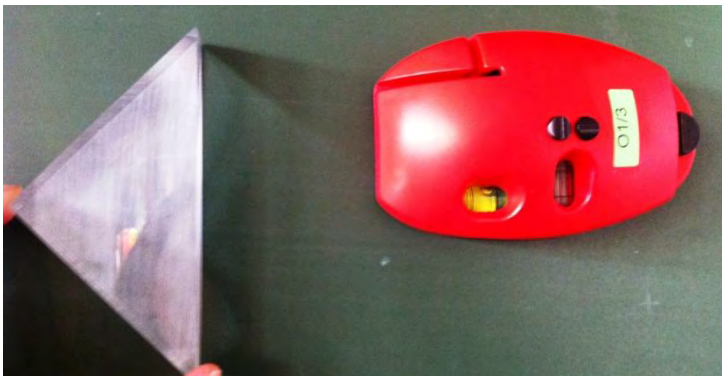
⁸⁰ CSI-Forensik für Dummies, D. P. Style, S.111



1. Abb. 63 Umlenkung um 90°



2. Abb. 64 Verlauf ohne Umlenkung nach dem Prisma



3. Abb. 65 Umlenkung um 180°

Fällt ein Strahl senkrecht auf die Oberfläche eines Glas- oder Plexiglas-Gegenstands auf, so läuft er gerade weiter. Trifft er jedoch unter einem anderen Winkel auf, wird er gebrochen. Außerdem wird der Strahl im inneren des Prismas reflektiert.

Dies sollen die Schüler anhand dieses Versuches selbst beobachten und damit bestimmen können, welche der drei Stellungen für den Bau eines Vergleichsmikroskops verwendet werden muss, um den Strahl um 90° umzulenken. Es geht hierbei nicht darum, ihnen verständlich zu machen, warum der Strahl gebrochen wird.

Dies ist nun für das Verständnis des Vergleichsmikroskops notwendig. Um zu überprüfen, ob sie die Umlenkung der Lichtstrahlen durch die erste Stellung verstanden haben, sollen sie selbst Prismen in das Vergleichsokular einzeichnen.

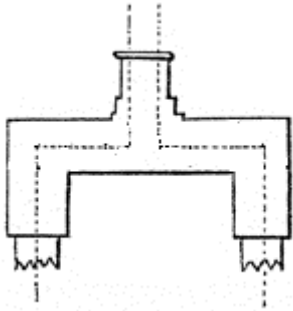


Abb. 66 Vergleichsokular⁸¹

So ein Modell eines Vergleichsokulars steht ihnen nun zum Gebrauch zur Verfügung.

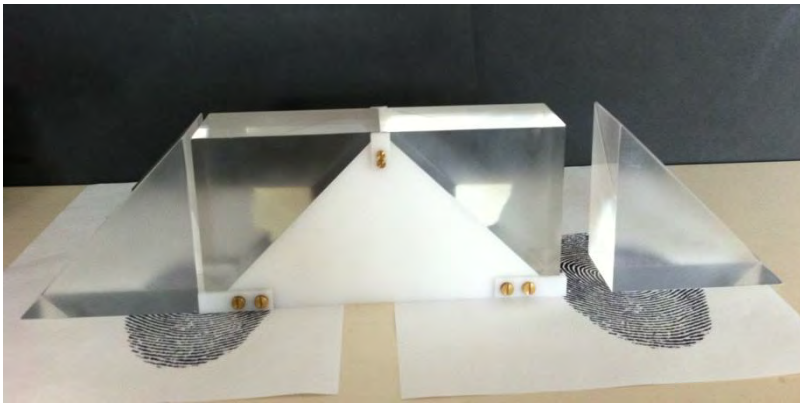


Abb. 67 Modell eines Vergleichsokulars

Als erstes sollen sie überprüfen, ob sie in Abb. 63 alle Prismen richtig eingezeichnet haben. Außerdem sollen sie die gefundenen mit den Fingerabdrücken der Verdächtigen vergleichen.



Abb. 68 Draufsicht auf das Vergleichsokular

⁸¹ http://www.musoptin.com/seibert_15368.html

5.3 Durchführung und Erfahrungen

Das Schülerlabor „Physik und Kriminalistik“ wurde von 23 Schülern einer neunten Klasse eines Gymnasiums besucht. Die Klasse bestand aus einem naturwissenschaftlichen und einem neusprachlichen Teil. Die Stationen wurden von allen Schülern mit großem Interesse durchgeführt. Das Leuchten des Blutflecks und das Abnehmen von Fingerabdrücken bereitete den Schülern besonders viel Spaß. Man konnte erkennen, dass ihr Interesse geweckt wurde und dass sie die Bearbeitung der Stationen nicht unbedingt als physikalische Aufgaben angesehen haben, aber trotzdem viele physikalische Begriffe bei der Beantwortung der Fragen benutzt haben.

Die Aufgaben wurden von allen Schülern bearbeitet. Im Folgenden wird festgehalten, ob die Schüler die Aufgabe so bearbeitet haben, wie es vorgesehen war.

5.3.1 Station 1

Die spektrale Zerlegung weißen Lichts wurde von allen beobachtet. Die Antworten waren dennoch recht unterschiedlich. Acht Schüler schrieben, dass sie einen Regenbogen sehen konnten und sieben benutzten den Begriff des kontinuierlichen Farbspektrums.

Im Analogieversuch zur Absorption und Emission wurde die Analogie nicht von allen Schülern erkannt. Sechs ließen die Felder zur Erklärung des gesamten Ablaufs mit den Begriffen der Absorption und Emission frei. Der Rest bearbeitete die Aufgabe wie vorgesehen, jedoch benutzten 5 davon den Begriff der Kraft, anstatt den der Energie.

Die Lumineszenz des Waschmittels wurde von allen Schülern beobachtet. Nur vier Schüler haben die Erklärung dazu weggelassen.



Bild 1 Lumineszenz

Der Blutnachweis mit Luminol hat funktioniert und wurde von den Schülern mit besonderer Begeisterung durchgeführt, da das Leuchten sehr intensiv war.

Zum Schluss füllten fast alle Schüler, bis auf sieben, den Ermittlungsbericht aus. Es scheint jedoch, dass sich darunter nur elf wirklich Gedanken über die Ziele und Vorgehensweisen

gemacht haben und diesen ernsthaft ausgefüllt haben. Nur einige wenige schlussfolgerten eine Verletzung des Opfers aufgrund des Blutflecks.

5.3.2 Station 2

Zu Beginn sollten die Schüler zunächst die drei Einschusslöcher in der Nähe des Blutflecks entdecken und dann herausfinden, dass sie die Laser zur Standortbestimmung des Täters benutzen sollen. Dies haben sie nicht sofort erkannt. Erst mit Hilfe und kleinen Hinweisen des Betreuers, wie „Betrachtet mal die Löcher in der Wand. Worum kann es sich hierbei handeln?“ und „Was könnte hier passiert sein?“, konnten sie die Aufgabe dennoch bewältigen. Neunzehn von ihnen benutzten sogar Begriffe wie „gebündelte Lichtstrahlen“ und „geradlinige Ausbreitung“ um die Fragen zu beantworten.



Bild 2 Laserversuch



Bild 3 Laserpunkte

Da die Laserstrahlen aber nie genau auf einen Punkt fixiert werden konnten, tippten die Schüler auf unterschiedliche Entfernungen (2 m bis 11 m). Auch die Begründung, warum Laserstrahlen bei Tageslicht nicht zu sehen sind, bei Nebel oder wie in diesem Fall, bei Benutzung von Kreidestaub, jedoch schon, war bei 14 Schülern richtig. Es musste leider Kreidestaub benutzt werden, da sonst die Nebelmaschine den Rauchmelder des M!ND-Centers aktiviert hätte.

Der zweite Teil der Station wurde von allen Schülern gut bearbeitet. Es wurde erkannt, dass die Kurve durch Vergrößern der Geschwindigkeit abflacht und deswegen ein Laser zur Standortbestimmung benutzt werden kann. Einige Schüler erkannten sogar, dass die Stoßweite von der Anfangsgeschwindigkeit abhängt.

Bei dieser Station wurde der Ermittlungsbericht nur von vier Schülern nicht bearbeitet, was darauf hinweist, dass sich der Rest mit den Ermittlungen und den Schlussfolgerungen auseinandergesetzt hat. Ihre Schlussfolgerungen waren, dass die Tatwaffe eine Pistole sein musste und der Täter aus geringer Entfernung geschossen hat. Ein Problem der Station war, dass einige Schüler folgerten, dass der Mörder klein sein musste, da die Laserstrahlen auf

einer Höhe von 1,50 m bis 1,60 m strahlten. Der vorgesehene Täter hat aber eine Größe von 1,85 m.

5.3.3 Station 3



Bild 4 Influenzversuch

Diese Station wurde von fast allen Schülern so bearbeitet, wie es vorgesehen war. Bei den Influenzversuchen haben die Schüler das Anziehen der Watte beobachtet und richtig interpretiert, ebenso wie den Ausschlag des Elektroskops. Dieser Teil der Station hat im Vergleich zu den andern beiden ziemlich lange gedauert, was man nicht erwartet hätte. Deshalb ist es wichtig hierfür mindestens 10 min einzuplanen.

Demnach haben fast alle Schüler den Grund des Fußabdrucks mittels elektrostatischer Matte richtig erklären können. Nur drei von ihnen haben diesen Teil nicht bearbeitet. Sie haben jeweils zwei Fußabdrücke abgenommen. Einen Sportschuh der Größe 46 und einen Stöckelschuh der Größe 36-38. Das Problem des Damenschuhs bestand darin, dass man aufgrund des Stöckels die Größe nur schwer erraten konnte.



Bild 5 Abnahme Fußabdruck



Bild 6 Fußabdruck

Auch der Bau der Alarmanlage hat gut funktioniert. Sie wurde stets richtig zusammengesteckt und es wurde erkannt, dass der Brummer ertönt sobald die Batterie angeschlossen, also der Stromkreis geschlossen ist. Sobald der Photowiderstand mit dem Laser bestrahlt wird, verstummt der Brummer und ertönt erst wieder, wenn der Strahl durchbrochen wird. Auch dies wurde beobachtet. Außerdem haben die Schüler die Spiegel richtig platziert und mit einem zweiten Laser bestrahlt, sodass sie den ersten Laserstrahl durchbrechen konnten, ohne dass die Alarmanlage losging.



Bild 7 Alarmanlage

Im Ermittlungsbericht haben alle bis auf sechs Schüler geschlussfolgert, dass die Spiegel zum Umgehen der Alarmanlage dienten und aufgrund der Schuhabdrücke vier Täter in Frage kommen: Paul Übel, Katja Willer, Sarah Peter und Anna Weit. Die Unterschiede der Ermittlungsberichte bestehen darin, dass einige Schüler in kurzen und knappen Sätzen, wohingegen andere in mehreren ausführlichen Sätzen berichten. Ein Beispiel einer Schlussfolgerung eines Schülers ist: „Der Täter besitzt Kenntnisse über das Museum und die Alarmanlage. Entweder Hans oder Paul. Zudem kommt auch die Noch-Ehefrau in Frage, die die Tat gemeinsam mit ihrem Freund begangen haben könnte.“ Dies zeigt, dass sich einige Schüler mit den Verdächtigen und dem Bericht über die Sachlage auseinandergesetzt haben.

5.3.4 Station 4

Diese Station war leider zu lang, um sie in der geplanten Zeit von 40 min durchzuführen. Deshalb wurden einige Teile nicht bearbeitet, je nachdem ob die Schüler mit den Fingerabdrücken oder mit der Lupe begonnen haben. Manche Schüler kamen, wenn sie bei den anderen Stationen früher fertig waren, zurück an die Station 4, um diese weiter durchzuführen.



Bild 8 Umgang mit Lupen

Die erste Teilaufgabe wurde sehr unterschiedlich beantwortet. Einige schrieben, dass die Lupe den Gegenstand vergrößert, andere gingen weiter ins Detail, indem sie zwischen nah und fern unterschieden: „Je weiter sich die Lupe vom Gegenstand entfernt befindet, umso stärker wird dieser vergrößert, jedoch sehr unscharf.“ Andere beobachteten, dass der Abstand zwischen Gegenstand und Lupe nicht zu groß sein darf oder dass der Gegenstand unscharf ist, wenn man die Lupe direkt vor dem Auge hält. Auch die Vergrößerung der Lupe wurde unterschiedlich bestimmt, da das Ablesen der Striche sehr schwierig war. Die Schüler waren in sieben Gruppen eingeteilt, weswegen auch sieben verschiedene Vergrößerungen festgestellt wurden: 3; 1,5; 110/90; 3/2; 6/5; 2; 2,5. Die Brennweiten der beiden zur optischen Bank gehörenden Linsen wurden von allen, bis auf sieben Schülern, richtig bestimmt.

Das Modell des Mikroskops wurde von zehn Schülern nicht gebaut. Vier davon und die restlichen dreizehn haben die Haare vom Tatort, mit denen von Paul Übel verglichen und damit identifizieren können.



Bild 9 Modell des Mikroskops



Bild 10 Umgang mit Mikroskop

Von den restlichen dreizehn Schülern, haben elf Unterschiede zwischen Lupe und Mikroskop erkennen können. Auch hier wurden wieder unterschiedliche Antworten gegeben: „Es wurden mehrere Linsen beim Mikroskop verwendet.“, „Das Mikroskop dreht das Bild um.“, „Das Mikroskop vergrößert noch mehr als die Lupe.“.

Jeder Schüler hat seine eigenen Fingerabdrücke abnehmen können, was allerdings sehr viel Zeit gekostet hat.



Bild 11 Abnahme von Fingerabdrücken

Deshalb wurden häufig nicht mehr die Fingerabdrücke von der Hand abgenommen. Wenn die Schüler diese abgenommen haben, ging das meistens nicht gut, da sie nicht geübt waren, Fingerabdrücke von abgerundeten Gegenständen abzunehmen.



Bild 12 Abnahme von Fingerabdrücken am Tatort

Da der Betreuer aber seine Fingerabdrücke auf der Hand hinterlassen hatte und damit der fiktive Täter war, konnte dieser seine Finger auf die vorhandene Glasscheibe drücken. Somit erhielten die Schüler trotzdem die Fingerabdrücke des Täters und konnten sie unter dem Vergleichsmikroskop betrachten. Die Kriterien der Fingerabdrücke des Täters wurden aus Zeitgründen nur von einer Gruppe bestimmt.

Im vierten Teil der Station sollte zunächst ein Prisma in verschiedenen Stellungen mit einem Laserstrahl bestrahlt werden. Sechzehn Schüler bearbeiteten diesen Teil und zeichneten den Verlauf des Strahls in die Prismen ein. Davon machten sich jedoch nur 9 Notizen zu den einzelnen Stellungen. Sie schrieben hierbei folgende Notizen nieder: „1. Reflektiert: Einfallswinkel=Ausfallswinkel; 2. Brechung→Reflexion→Brechung; 3. Zweimal wie bei 1“ Alle, die den Versuch durchgeführt haben, haben auch versucht die Prismen in das Vergleichsokular einzuzichnen. Man sieht häufig, dass diese ausgebessert wurden, was wohl geschehen ist, nachdem sie das Modell des Vergleichsmikroskops betrachtet haben. Das Vergleichsmikroskop wurde von allen, die diesen Teil der Station durchgeführt haben, benutzt, um die großen Fingerabdrücke vergleichen zu können.



Bild 13 Benutzung des Modells zum Vergleichsokular

Nur sieben haben die abgenommenen Fingerabdrücke mit denen der Verdächtigen verglichen und haben sie mit Paul Übel identifiziert. Zeitlich hat es nur eine Gruppe geschafft, zusätzlich noch die Patronenhülsen zu untersuchen. Sie konnte jedoch keine brauchbaren Fingerabdrücke davon abnehmen.



Bild 14 Fingerabdrücke auf den Hülsen

Aufgrund des Zeitdrucks, haben nur zwei Schüler den Ermittlungsbericht, wenn auch nur spärlich, ausgefüllt

5.4 Verbesserungsmöglichkeiten

5.4.1 Station 1

Da Station 1 reibungslos gelaufen ist, muss hier nicht viel verändert werden. Das einzige was anders durchgeführt werden kann, ist, dass die Schwarzlichtröhre von oben in den Karton geschoben wird, da die Flüssigkeit mit dem Waschpulver dann heller leuchtet.

5.4.2 Station 2

Wichtig bei dieser Station ist, dass sich die Laserstrahlen an einem Ort auf gleicher Höhe befinden. An diesem Ort muss der Täter gestanden haben, da sich die Schulter des Täters immer auf derselben Höhe befindet und man davon ausgeht, dass der Arm als Verlängerung des Waffenlaufs gesehen werden kann. Dies sollte in der Angabe mit einfließen.

5.4.3 Station 3

Da die Klasse auch aus einem neusprachlichen Teil bestand, welche das Elektroskop noch nicht kannten, wäre es zum Vorteil, wenn man zu Beginn der Station eine kurze Erklärung des Elektroskops mit einbringt.

Auch die Richtung des Fußabdrucks wurde von den Schülern betrachtet. Deshalb sollte man sich bei Erstellung des Schülerlabors auch darüber Gedanken machen, ob man den Schuhabdruck zur Tür oder in den Raum richtet. Außerdem sollte kein Stöckelschuh verwendet werden, da die Schuhgröße von der Absatzhöhe abhängt und damit nicht bestimmt werden kann.

5.4.4 Station 4

Diese Station sollte in zwei Teile aufgeteilt werden, damit alle Aufgaben von den Schülern in der vorgesehenen Zeit bearbeitet werden können. Es wäre von Vorteil Station 4 aus den Aufgabenteilen 1 und 2 und Station 5 aus den Aufgabengebieten 3 und 4 zu erstellen. Der Grund für diese Zusammenstellung liegt in der Zusammengehörigkeit der Aufgaben. Um das Mikroskop selber zu bauen, sollte man vorher die Brennweiten bestimmt haben. Da die abgenommenen Fingerabdrücke unter dem Modell des Vergleichsmikroskops verglichen werden sollen, sollten sich auch diese zwei Teilgebiete in einer Station befinden.

Um die Vergrößerung der Lupe genauer zu bestimmen, sollten genaue Angaben gemacht werden. Man müsste einen Abschnitt des Maßstabs, welcher ohne Lupe betrachtet wird, markieren und mittels Stiften den Bereich, welcher mit Lupe betrachtet wird, abgrenzen.



Abb.

Auch die Abnahme des Fingerabdrucks von der Figur und den Patronenhülsen bereitete den Schülern Probleme, weswegen kein abgerundeter, sondern ein flacher Gegenstand benutzt werden sollte.

6 FAZIT

Das Ziel des Schülerlabors „Physik und Kriminalistik“ war es den Schülern in erster Linie die Physik, die nötig ist, um das Lösen eines Kriminalfalls zu verstehen, nahe zu bringen. Sie sollten erfahren, wie ein Kriminalbeamter seine Ermittlungen durchführt und welche physikalischen Hintergründe hinter den einzelnen Methoden stecken. Da es zum Verständnis des Blutnachweises wichtig wäre, dass die Schüler vorher etwas über Absorption und Emission im Unterricht gehört haben, sollte dieses Schülerlabor erst am Ende der neunten Klasse durchgeführt werden. Die Versuche, wie sie im Schülerlabor durchgeführt wurden, können auch an passender Stelle im Unterricht mit einfließen. Man könnte zum Beispiel den Blutnachweis vorführen, bevor man das Prinzip der Energieerhaltung in der Atom- und Kernphysik einführt oder man schließt damit dieses Themengebiet ab, um den Schülern eine interessante Anwendung hierzu aufzuzeigen. Ebenso kann man die Schüler im Natur und Technik Unterricht der siebten Klasse einen Fußabdruck mit einer elektrostatischen Matte abnehmen lassen. Das Problem hierbei wird wohl sein, dass es zu zeitaufwendig ist, 30 Schüler diesen Versuch durchführen zu lassen. Deshalb sollte man als Lehrer diesen Versuch nur demonstrieren. Dies sollte, wie auch im Schülerlabor, direkt nach der Einführung der Influenz geschehen. Wenn die Schüler lernen, dass sich Licht geradlinig fortbewegt, könnte man erwähnen, dass Kriminalbeamten sich dies zum Vorteil machen, indem sie den Weg eines Projektils mit einem Laserstrahl aufzeigen. Hierbei reicht es aber, nur kurz ein Bild vom Vorgehen eines Polizisten zu zeigen. Auch die Verwendung von Lupen als Vergrößerungshilfe, um Hinweise auf den Täter zu finden, klingt interessanter, als von einer Lesehilfe zu erzählen. Ebenso wie, dass ein Mikroskop zum Vergleich von Gegenständen verwendet werden kann. Als Lehrer ist es wichtig, seine Schüler für sein Fach zu begeistern. Dafür sollten Dinge hinzugezogen werden, welche zum Alltag der Schüler gehören, wie z.B. die zahlreichen Krimiserien, welche zahlreich im Fernsehen zu sehen sind. Man kann den Schülern auch einen Ausschnitt aus einer Serie zeigen, um mit ihnen danach, über die darin vorkommende Physik zu sprechen.

Insgesamt kann man mit all diesen Versuchen das Interesse der Schüler im Bezug auf Physik wecken, indem man spannende Anwendungen der Physik, wie die der Lösung eines Kriminalfalls, in den Unterricht mit einfließen lässt.

7 VERZEICHNISSE

7.1 Literatur

verwendete Bücher:

Benecke M.; Dem Täter auf der Spur; 1. Auflage; Verlagsgruppe Lübbe GmbH & Co. KG, Bergisch Gladbach

Cooper C.; Kriminalistik, Techniken der Verbrechensaufklärung; 1. Auflage; Gerstenbergverlag, Hildesheim

Deger, H. ; Gleixner, C. ; Heckmann, G. ; Pippig, R. ; Worg, R.: Galileo 9, Das anschauliche Physikbuch; Oldenbourg Verlag, Schulbuchverlag GmbH, München, Düsseldorf, Stuttgart

Eckert, B.; Stetzenbach W. ; Jodl H.-J.: Low Cost – High Tech, Freihandversuche Physik; Aulis Verlag Deubner & CO KG, Köln, 2000

Fösel, A.: Reinhard, B. ; Sander, P. ; Schweitzer, S. ; Thanner, A. ; FOKUS Physik 9, Gymnasium Bayer; Cornelsen Verlag, Berlin

Dr. Hopf M., Prof. Dr. Kuhn W., Prof. Dr. Lotze K.-H., Prof. Dr. Müller R., Prof. Dr. Nordmeier V., StD Pientka H., StD Dr. Schwarze H., Prof. Dr. Dr. Wiesner H.; Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule, Physik und Kriminalistik, Aulis Verlag Deubner, Köln, Leipzig

Innes B.; Spuren am Tatort, Fingerabdrücke, Fußspuren und Reifenabdrücke; bei Tosa im Verlag Carl Ueberreuter Ges. m. b. H., Wien

Kneubühl F.: Repetitorium der Physik; Teubner Studienbücher Stuttgart

Lyle D. P.; CSI-Forensik für Dummies; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Meschede D.; Gerthsen Physik, 22. Auflage; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Tipler P. A.: Physik, 3. Auflage; Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford

Voss-de Haan P.; Physik auf der Spur, Kriminaltechnik heute; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Wright J. D.; Dem Täter auf der Spur; 1. Auflage; Parragon Books Ltd, UK

Zinth U., Zinth W.; Optik Lichtstrahlen-Wellen-Photonen; 3. Auflage; Oldenburg Wissenschaftsverlag, München

Verwendete Internetseiten:

<http://www.experimentalchemie.de/versuch-042.htm>
<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26172>
http://www.kotalla.de/german/download_g/uni-erlangen3dct+tl.pdf
<http://www.leifiphysik.de/>
<https://lp.uni-goettingen.de/get/text/5308>
<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Photolumineszenz>
http://www.musoptin.com/seibert_15368.html
<http://nbg-web01.opitec.com/img/downloads/technikdownloads/ElektronikSolar/12-14-Jahre/105107bd.pdf>
<http://olypedia.de/Bildfeldw%C3%B6bung>
<http://www.techniklexikon.net/d/astigmatismus/astigmatismus.htm>
<http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Nebelmaschine.pdf>
<http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/expstationen.htm>
<http://www.uni-tuebingen.de/straehle/kristallstrukturanalyse/pdf/farbstoff3.pdf>
http://web.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/web-hu-lectures/hu-lectures/www-eep.physik.hu-berlin.de/_hebbeker/lectures/dem948.gif
http://de.wikipedia.org/wiki/9_x_19_mm
<http://de.wikipedia.org/wiki/Spiegel>
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Principle-of-Magnifying-Glass.png&filetimestamp=20071111135330>
<http://de.wikipedia.org/wiki/Abbildungsfehler>

7.2 Abbildungen

Abb. 1 Computer-Darstellung eines DNA-Stranges mit verschiedenen Atomen.....	S.4
Abb. 2 Sprosse.....	S.5
Abb. 3 Wellenfronten (weiß) und Strahlen (schwarz) einer Kreiswelle von einer Punktquelle und einer ebenen Welle (Parallelbündel)	S.7
Abb. 4 Der ebene Spiegel erzeugt ein virtuelles unverzerrtes Bild.....	S.8
Abb. 5 Lichtstrahlen (blau) mit Einfallswinkel α_1 und nach der Brechung einen Winkel von α_2 gegen das Lot	S.9

Abb.6 Totalreflexion ab einem bestimmten Winkel	S.10
Abb. 7 Lichtbrechung an einem dreiseitigen Prisma	S.10
Abb.8 180°- Umlenkung durch ein gleichseitig-rechtwinkliges Glasprisma.....	S.11
Abb. 9 Glasfaser als Lichtleiter.....	S.11
Abb. 10 Das menschliche Auge	S.12
Abb. 11 Eine Lupe der Brennweite f spreizt den Sehwinkel des unbewaffneten Auges um $\frac{s_0}{f}$	S.13
Abb. 12 Brechung an der kugelförmigen Grenze zweier Medien mit verschiedenen Brechzahlen.....	S.14
Abb. 13 Sphärische Aberration und ihre Verringerung durch eine Blende	S.15
Abb. 14 Astigmatismus	S.15
Abb. 15 Die Änderungen des Bildpunktes beim Astigmatismus.....	S.16
Abb. 16 Abbildungen eines Sterns als Schweif (links ohne Fehler zum Vergleich)	S.16
Abb. 17 Positive und negative Koma.....	S.17
Abb. 18 Bildfeldwölbung.....	S.17
Abb. 19 Scharfes Zentrum bei der Bildfeldwölbung	S.18
Abb. 20 Scharfer Außenbereich bei der Bildfeldwölbung.....	S.18
Abb. 21 Verzeichnung.....	S.18
Abb. 22 Chromatische Aberration	S.19
Abb. 23 Der Strahlengang im Mikroskop	S.20
Abb. 24 Das Huygens-Okular	S.20
Abb. 25 Vergleichsokular	S.22
Abb. 26 Vergleichsmikroskop mit Bildschirm beim Vergleich zweier Patronen.....	S.22
Abb. 27 Energiezufuhr und Energieabgabe eines Atoms	S.23
Abb. 28 Photonenenergie und Farbe des Lichts.....	S.23
Abb. 29 Profil einer Spektrallinie als Fourier-Spektrum eines gedämpften Wellenzuges....	S.24
Abb. 30 Jablonski Schema	S.25
Abb. 31 Einheitsvektor und Kraftvektor zweier Ladungen Q und Q'	S.27
Abb. 32 Eine positive Punktladung.....	S.27
Abb. 33 Zwei positive Punktladungen	S.27
Abb. 34 Eine positive, eine negative Punktladung.....	S.27
Abb. 35 Der Betrag der positiven Ladung ist doppelt so groß, wie der, der negativen Ladung.....	S.27
Abb. 36 Rechts befindet sich die positive Ladung, links die negative Spiegelladung.....	S.28
Abb. 37 t - $y(t)$ -Diagramm.....	S.30
Abb. 38 t - $v(t)$ -Diagramm.....	S.30
Abb. 39 Spektrale Zerlegung weißen Lichts mit einem Prisma.....	S.38
Abb. 40 Analogieversuch zur Absorption und Emission.....	S.38
Abb. 41 Reaktionsgleichungen zum Blutnachweis mit Luminol.....	S.40
Abb. 42 Farbfleck (links), Blutfleck (mitte), Ketchupfleck (rechts).....	S.41
Abb. 43 Fixierung des Lasers.....	S.44
Abb. 44 Vorüberlegung zum Bohren	S.44

Abb. 45 Waagerechter Wurf	S.45
Abb. 46 Diagramm zum waagerechten Wurf.....	S.45
Abb. 47 Newton-II, waagerechter Wurf.....	S.47
Abb. 48 Utensilien für den Influenzversuch	S.48
Abb. 49 Influenz.....	S.49
Abb. 50 Influenz bei Watte	S.49
Abb. 51 Influenz mit Elektroskop, $U= 0$ kV	S.49
Abb. 52 Influenz mit Elektroskop, $U= 20$ kV	S.49
Abb. 53 Schaltskizze Alarmanlage	S.50
Abb. 54 Alarmanlage	S.51
Abb. 55 Alarmanlage mit Spiegel	S.52
Abb. 56 Bestimmung der Vergrößerung	S.53
Abb. 57 Vergleich der Striche.....	S.53
Abb. 58 Bestimmung des Brennpunkts.....	S.54
Abb. 59 Modell eines Mikroskops	S.54
Abb. 60 Utensilien zum Abnehmen von Fingerabdrücken	S.55
Abb. 61 Puder und Pinsel zum Abnehmen von Fingerabdrücken	S.55
Abb. 62 Klassifikation von Fingerabdrücken	S.56
Abb. 63 Umlenkung um 90°	S.57
Abb. 64 Verlauf ohne Umlenkung nach dem Prisma.....	S.57
Abb. 65 Umlenkung um 180°	S.57
Abb. 66 Vergleichsokular	S.58
Abb. 67 Modell eines Vergleichsokulars	S.58
Abb. 68 Draufsicht auf das Vergleichsokular	S.58

7.3 Tabellen

Tabelle 1 Ablaufplan.....	S.36
Tabelle 2 Zeitplan der Gruppen 1 und 2.....	S.37
Tabelle 3 Schema Durchführung Station 3	S.48
Tabelle 4 Schema Durchführung Station 4	S.53

7.4 Bilder der Durchführung

Bild 1 Lumineszenz.....	S.59
Bild 2 Laserversuch.....	S.60
Bild 3 Laserpunkte	S.60
Bild 4 Influenzversuch	S.61
Bild 5 Abnahme Fußabdruck	S.61
Bild 6 Fußabdruck.....	S.61
Bild 7 Alarmanlage	S.62
Bild 8 Umgang mit Lupen.....	S.63

Bild 9 Modell des Mikroskops	S.63
Bild 10 Umgang mit dem Mikroskop	S.63
Bild 11 Abnahme von Fingerabdrücke	S.64
Bild 12 Abnahme von Fingerabdrücken am Tatort.....	S.64
Bild 13 Benutzung des Modells zum Vergleichsokular.....	S.65
Bild 14 Fingerabdrücke auf den Hülsen.....	S.66

8. ANHANG

Alle Aufgabenblätter des Schülerlabors und die zugehörigen Angaben für die Betreuer befinden sich gesammelt auf den folgenden Seiten. Sämtliche Dokumente, bis auf den Teil der spektralen Zerlegung weißen Lichts, wurden vom Autor selbst erstellt.

Anhangsverzeichnis:

Deckblatt	S.76
Bericht über die Sachlage.....	S.77
Station 1.....	S.78
Station 2.....	S.86
Station 3.....	S.94
Station 4.....	S.103
Station 1 für Betreuer	S.115
Station 2 für Betreuer	S.121
Station 3 für Betreuer	S.124
Station 4 für Betreuer	S.128
Großer Fingerabdruck für das Model des Vergleichsmikroskops	S.133
Fingerabdrücke aller Verdächtigen	S.134

Schülerlabor

Physik und Kriminalistik



Bericht über die Sachlage

Museumswächter Peter Willer ist nach seiner Schicht nicht nach Hause gekehrt. Zu Beginn hat es den Anschein, als wurde nichts aus dem Museum entwendet. Auf dem Boden vor dem Museum ist eine hellbraune Spur zu sehen. Es wurden Spiegel an der Wand zum Kunstraum befestigt. Der wertvollste Gegenstand in diesem Raum ist eine Terrakotta-Figur. Bei genauer Untersuchung der Terrakotta-Figur wurde mittels Thermolumineszenz festgestellt, dass es sich hierbei um eine Fälschung handelt.

Im Museum arbeiten ein weiterer Wächter namens Hans Weit, 2 Verkäufer, Sarah Peter und Anna Weit und ein Elektriker namens Paul Übel.

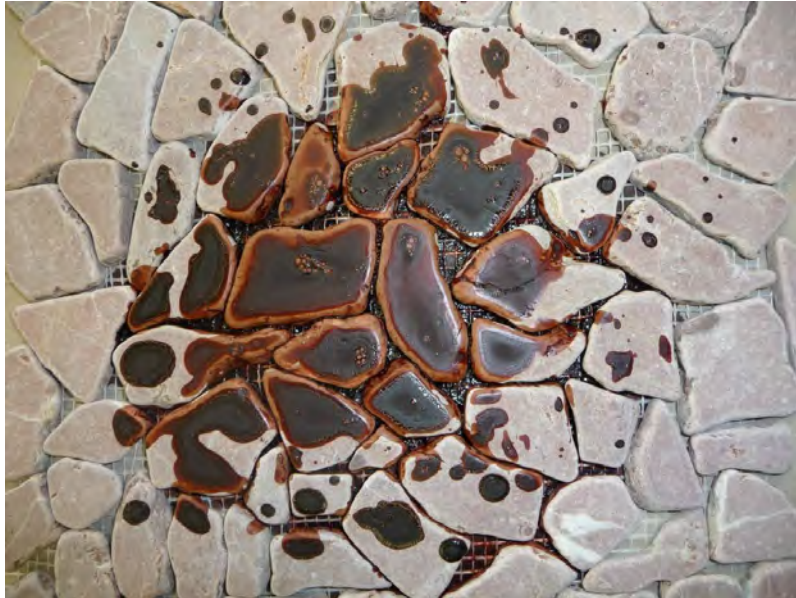
Zusätzlich stehen die Noch-Ehefrau des verschwundenen Wächters Katja Willer und deren neuer Freund Jan Mut unter Verdacht, da Frau Willer im Falle des Todes ihres Mannes das Haus erben würde.

Informationen zu den einzelnen Verdächtigen:

- Jan Mut
40 Jahre, 1,75 m groß, Schuhgröße 45, Glatze, braune Augen
- Sarah Peter
47 Jahre, 1,55 m groß, Schuhgröße 36, mittelblonde lange Haare, grüne Augen
- Paul Übel
45 Jahre, 1,85 m groß, Schuhgröße 46, braune kurze Haare, braune Augen
- Anna Weit
24 Jahre, 1,60 m groß, Schuhgröße 39, rote lange Haare
- Hans Weit
20 Jahre, 1,75 m groß, Schuhgröße 42, schwarze kurze Haare, blaue Augen
- Katja Willer
38 Jahre, 1,58 m groß, Schuhgröße 38, hellblonde lange Haare, blaue Augen

Station 1: Platz vor dem Museum 1

An dieser Station müsst ihr nun nachweisen, ob es sich bei folgendem Fleck wirklich um Blut handelt. Wenn dies der Fall ist, ist es nötig die Ursache der Blutlache herauszufinden.

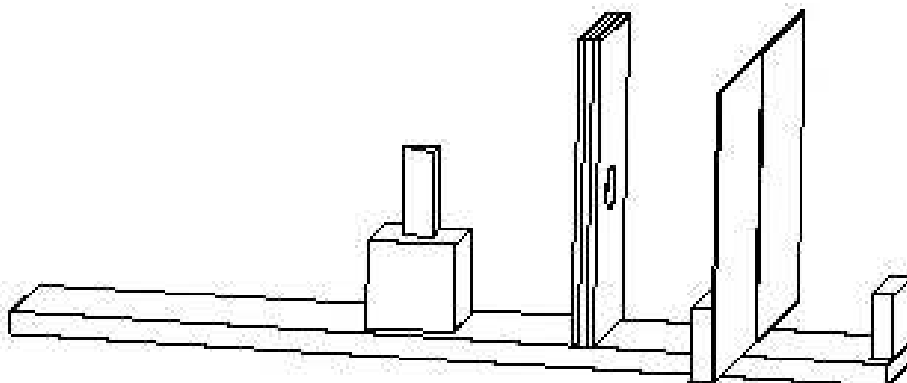


WICHTIG: Verrücke keine der am Tatort stehenden Gegenstände!

1. Spektrale Zerlegung weißen Lichts

Wie du ja schon weißt, ist weißes Licht spektral zerlegbar. Jede Farbe entspricht einer Welle mit einer bestimmten Energieportion.

Dies kannst du nun selbst beobachten, in dem du folgenden Versuch durchführst:



↻ Drehe langsam das Prisma und beobachte dabei, was auf der Wand passiert. Was siehst du?

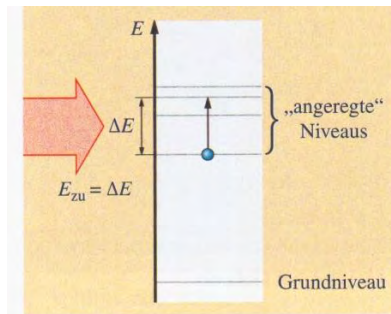
↻ Halte nun den weißen Schirm so hinter das Prisma, dass die Spektralfarben darauf abgebildet werden. Male die Farben in der richtigen Reihenfolge ab.

Wie ihr schon wisst, könnt ihr nun alle Farben nebeneinander sehen, da der Brechungsindex von der Wellenlänge abhängt und damit die verschiedenen Farben unterschiedlich stark gebrochen werden. Diese **Abhängigkeit von der Wellenlänge** nennt man **Dispersion**.

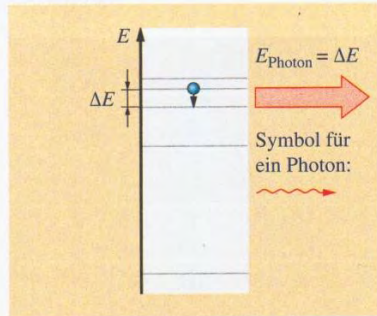
2. Absorption und Emission

Bei Beleuchtung verschiedener Materialien, also durch Energiezufuhr, senden diese verschiedene Farben, also verschiedene Spektren aus. Diese Spektren geben an, welche Photonen vom Atom **absorbiert**, also aufgenommen werden können (*nachfolgende obere Bild*) und dieses damit anregen. Dazu müssen die Photonen genau die Energie besitzen, welche nötig ist um Elektronen **anzuregen**, also auf ein **höheres Energieniveau** zu bringen. Analog kann ein angeregtes Atom Energie in Form eines Photons der entsprechenden Wellenlänge λ abgeben, wodurch das Elektron wieder auf ein **niedrigeres Niveau** zurückfällt. In diesem Fall spricht man von **Emission**.

8. ANHANG



3 Niveauwechsel durch Energiezufuhr



4 Niveauwechsel durch Energieabgabe

Um den Nachweis von Blut mit Luminol besser zu verstehen, führst du zunächst einen Analogieversuch zur Absorption und Emission durch.

Dafür musst du als erstes die Feder der Figur zusammen drücken.



Dies ist eine Analogie zur Absorption.

Was kannst du Beobachten? Was passiert wenn du die Feder zusammendrückst?

8. ANHANG

Nun halte die Unterseite der Figur vor eine lose Kugel und warte ab.



Dies ist eine Analogie zur Emission.

Was passiert nun? Erkläre genau was du sehen kannst.

Versuche nun den gesamten Ablauf des Versuchs den Vorgängen der Absorption und Emission gegenüber zu stellen.

3. Lumineszenz

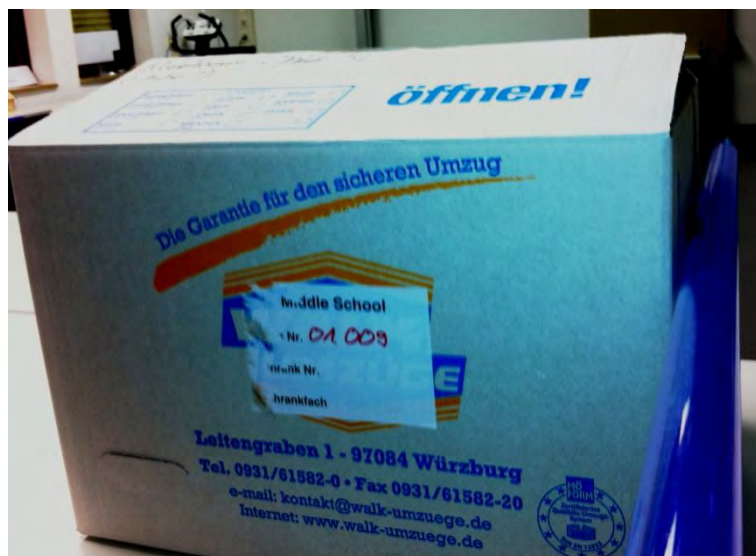
Unter **Lumineszenz** versteht man die Absorption von Energie in Materie und ihre Wiederaussendung in Form von elektromagnetischer Strahlung des sichtbaren Spektralbereiches oder in dessen Nähe.

Nicht jeder Körper absorbiert bzw. emittiert die gleiche Menge an Energie.

Im jetzigen Versuch müsst ihr drei Behälter mit Wasser füllen. Einer wird mit etwas Biowaschmittel, der zweite mit normalem Waschmittel und der letzte mit normaler Flüssigseife gemischt.



Stellt alle drei Behälter in den Karton leuchtet mit der Schwarzlichtlampe in eine der Öffnungen. Das Schwarzlicht strahlt auch im UV-Bereich.



Was kannst du beim Durchschauen durch die andere Öffnung beobachten? Welche Unterschiede gibt es zwischen den drei Flüssigkeiten?

↻ Versuche mit den Begriffen der Absorption und Emission zu erklären, was du sehen kannst.

4. Blutnachweis mit Luminol

Dieses Phänomen wird nun für die Sichtbarmachung von für das Auge unsichtbaren Blutspuren bzw. für den Nachweis von sichtbaren Blutspuren genutzt. Hierfür muss man zunächst Luminol auf die verdächtige Stelle sprühen.

VORSICHT: Das Luminol soll nur auf den Fleck gesprüht werden. Falls ihr etwas auf die Haut bekommt, wäscht es gründlich ab.

Luminol ist eine Chemikalie, die mit Hämoglobin im Blut zu einer komplexen Substanz reagiert, die Licht emittiert, also wie oben schon erklärt, luminesziert.

↻ Untersuche alle Steine mit verdächtigen Flecken auf Blut.

Damit ihr die Lichterscheinung sehen könnt, muss der Raum während dieses Versuches **abgedunkelt** sein. Alle Steine befanden sich vor dem Museum.

↻ Was konntest du beobachten? Bei welchem Stein konntest du Blut nachweisen?

Wissenswertes:

- Da häufig Bleichmittel verwendet werden um Blutspuren verschwinden zu lassen, welche ebenfalls mit Luminol reagieren und dann lumineszieren, ist es zum Vorteil anstatt Luminol, Fluoreszein zu verwenden. Ein weiterer Vorteil von Fluoreszein besteht darin, dass es weniger tropft und besser an Wänden, Türen und anderen senkrechten Oberflächen haftet.
- Das Phänomen der Lumineszenz kann zusätzlich noch verwendet werden, um die Echtheit von Terrakotta Figuren zu überprüfen. Je älter die Figur ist, umso heller leuchtet sie, wenn sie erhitzt wird. Wird die Wiederabgabe der Energie **durch Wärmezufuhr ausgelöst**, wie zum Beispiel durch einen Ofen, so spricht man von **Thermolumineszenz**. Je länger es her ist, seitdem der Ton gebrannt wurde, umso mehr war der Ton radioaktiver Strahlung ausgesetzt und umso mehr Elektronen wurden damit auf ein höheres Niveau gebracht. Gelangen die Elektronen in „Fallen“, aus denen sie ohne Energiezufuhr nicht wieder herauskommen, spricht man davon, dass Energie gespeichert wurde. Diese Fallen sind meistens tief genug, um die an ihnen haftenden Elektronen dort bis zu höheren Temperaturen halten zu können. Erst durch Erhitzen steht wieder genügend Energie zur Verfügung um diese Elektronen aus ihren „Fallen“ zu heben und erst jetzt kann wieder Energie in Form von Licht abgegeben werden



WICHTIG für den Fall:

Die **Terrakotta-Figur** aus dem Kunstraum wurde nach diesem Verfahren untersucht und als **Fälschung** entlarvt.

Ermittlungsbericht

Ermittlungen über: _____

~ Ziel der heutigen Ermittlungen:

~ Eure Vorgehensweise:

~ Ergebnisse eurer Arbeit:

~ Schlussfolgerungen für unseren Fall:

Station 2: Platz vor dem Museum 2

Findet heraus **wie** sich die Tat abgespielt haben muss und denkt dabei auch an die unzähligen Krimiserien und an die Vorgehensweise der Kriminalbeamten.

VORSICHT: Da es sich bei Laser-Licht um gebündeltes Licht handelt, leuchtet euch damit **nicht** in die Augen!

5. Tathergang

Um herauszufinden wie sich die Tat abgespielt haben muss, sucht den Tatort nach Hinweisen auf die Tatwaffe ab. Betrachtet alle Gegenstände in Nähe des Blutflecks auf Auffälligkeiten.

Um den Standort des Täters herauszufinden, benutzt die Laser, schaltet das Licht aus und die Nebelmaschine ein. Denkt dabei an die Vorgehensweise der Kriminalbeamten in Filmen.

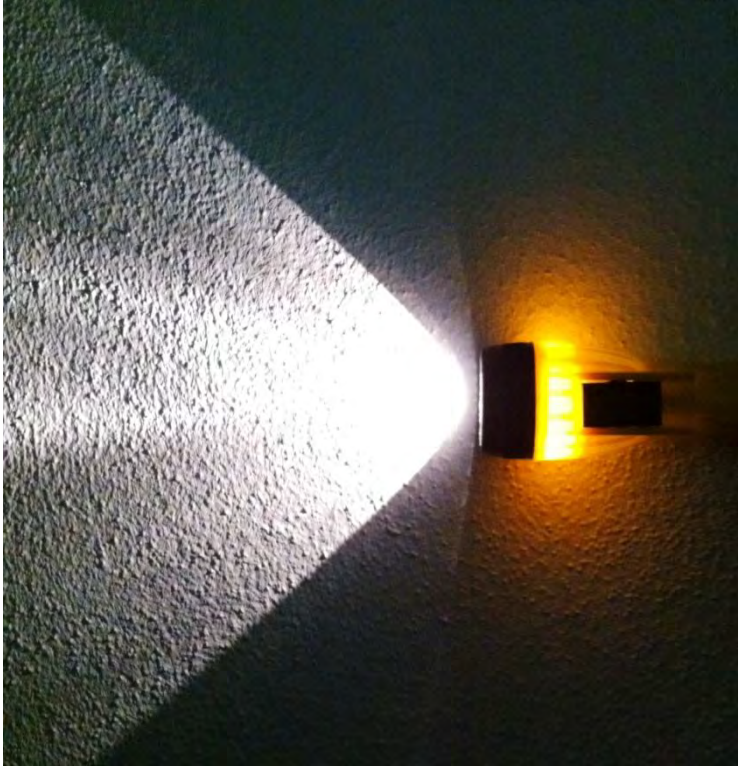
👉 Wofür wird der Laser benötigt? Falls ihr die Antwort nicht wisst, richtet euch an euren Betreuer. Wo stand also der Täter?

Schaltet nun die Nebelmaschine wieder aus.

Euch stehen zusätzlich noch Taschenlampen zur Verfügung.

Haltet diese direkt an die Wand und beobachtet den Verlauf der Lichtstrahlen.

8. ANHANG



☞ Wie verlaufen die Lichtstrahlen? Welchen Unterschied kannst du im Vergleich zum Laser erkennen?

☞ Funktioniert die Standortsuche mit Taschenlampen genauso gut, wie mit Lasern? Probiere es aus und begründe deine Antwort.

8. ANHANG

↻ Begründe die Benutzung des Lasers. Warum wurde keine andere Lichtquelle, wie zum Beispiel eine einfache Glühbirne oder eine Taschenlampe, verwendet?

Ist es möglich den Laserstrahl bei Tageslicht und klarer Luft zu sehen, wie es oft auch in den Krimiserien zu sehen ist? Schaltet das Licht hierfür wieder ein.



↻ Probiere es aus und begründe deine Antwort

6. Abweichung des Schusses vom Weg des Laserstrahls

Wir haben im vorherigen Versuch angenommen, dass sich die Patrone annähernd geradlinig fortbewegt. Sonst hätten wir den Weg nicht mit einem Laserstrahl verfolgen können. Nun handelt es sich bei einem Schuss aber um eine Art waagrechten Wurf. Wieso ist die Methode mit dem Laser trotzdem nicht völlig falsch?

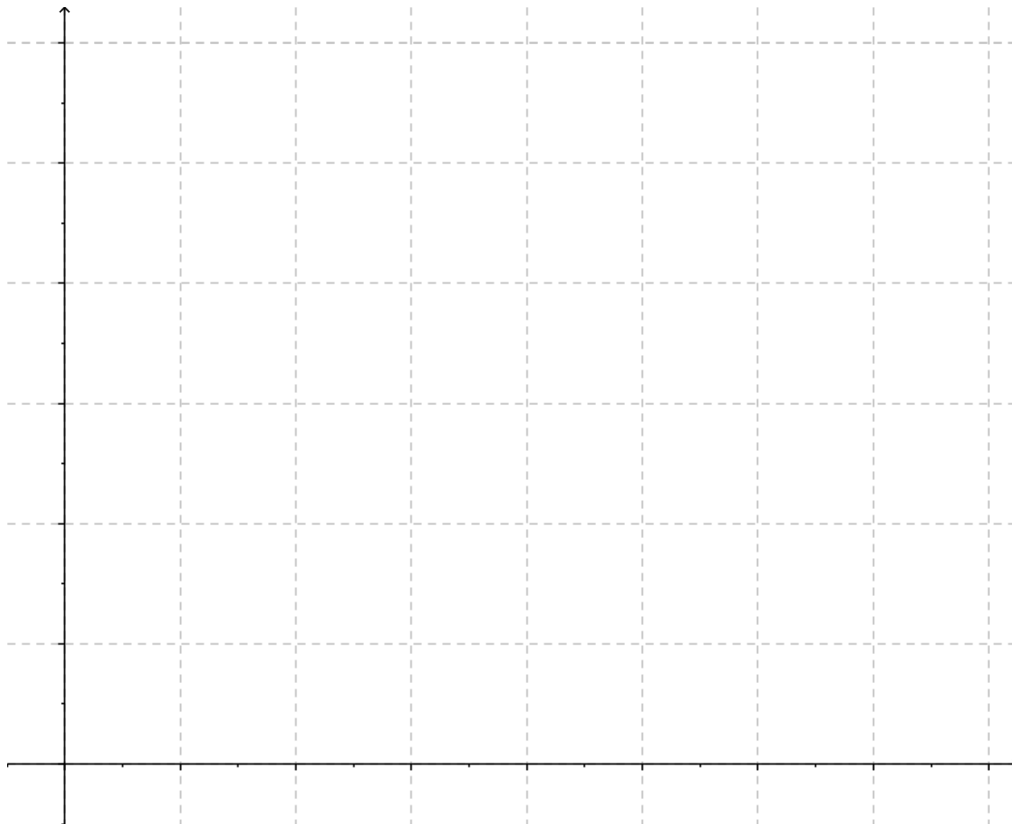
Ihr werdet zunächst selbst einen waagrechten Wurf durchführen. Dazu stoßt einen Ball waagrecht von euch weg und beobachtet den Weg des Balls, bis er auf dem Boden aufkommt.



Stellt einen Maßstab neben den Stoßer, um die Anfangshöhe des Stoßes zu bestimmen und misst zusätzlich den Abstand Stoßer und Ball beim Aufkommen auf den Boden.

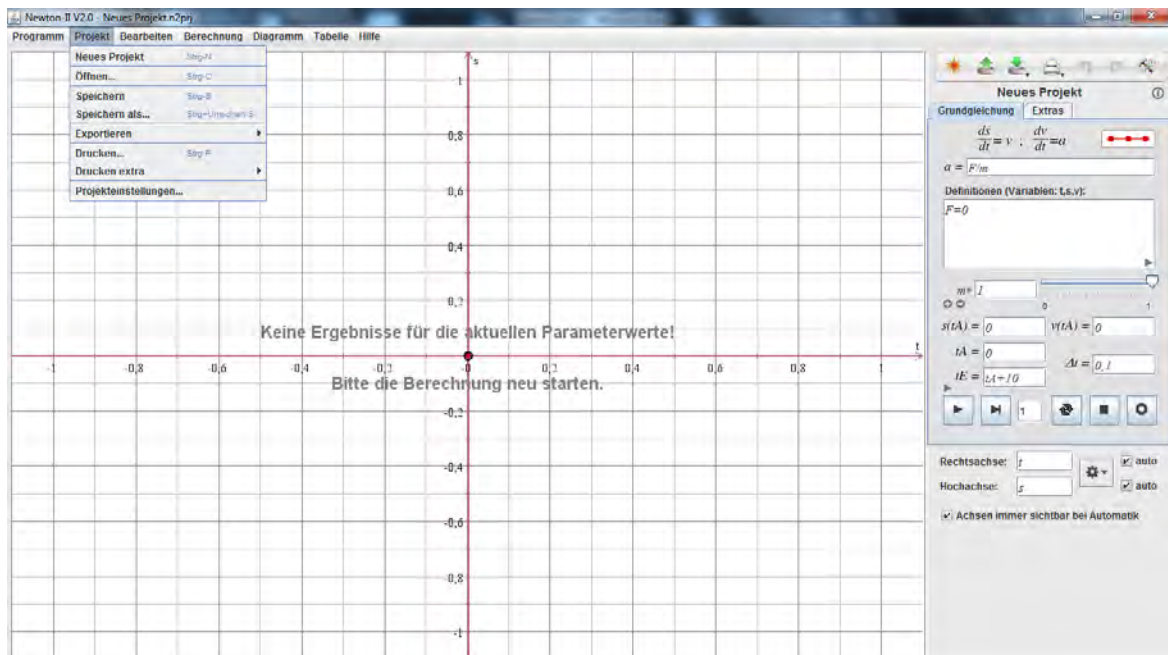
8. ANHANG

 Zeichne den Weg des Balls in das Diagramm ein und beschrifte die Achsen



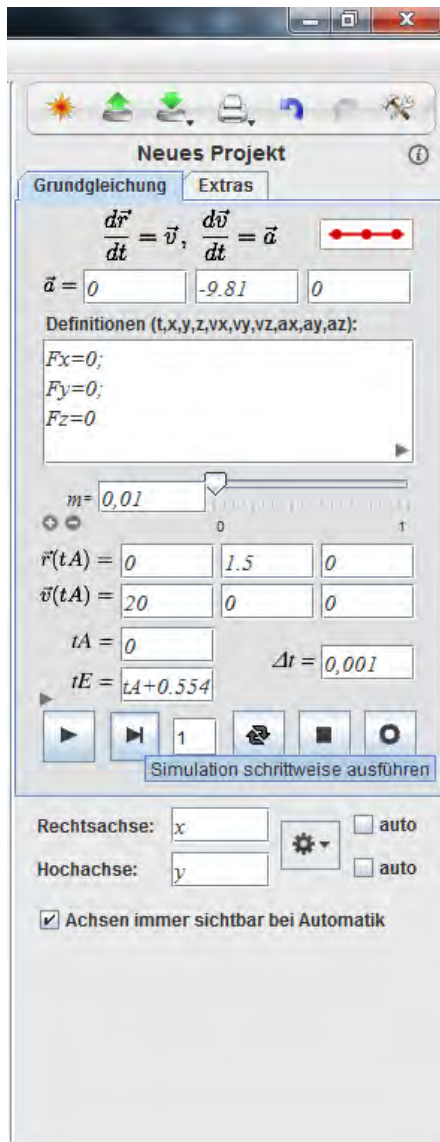
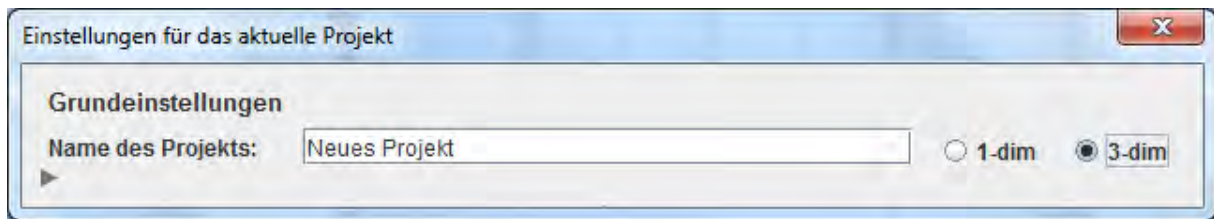
DIAGRAMM

Startet nun das Programm **Newton II** am Computer, klickt in der oberen Leiste zunächst **Projekt** und dann **neues Projekt** an.



8. ANHANG

Da es sich beim waagrechten Wurf um eine zweidimensionale Bewegung handelt, stellen wir unser Projekt auf **3-dim** und schließen das Einstellungen-Feld wieder.



Als nächstes befassen wir uns mit dem Feld der Grundgleichungen rechts im Bild. Da der waagrechte Wurf nur aus zwei Dimensionen besteht, wird $\mathbf{az} = 0$ gesetzt. Die Beschleunigung in y-Richtung ist $\mathbf{ay} = -9.81 \frac{m}{s^2}$ und die Beschleunigung in x-Richtung $\mathbf{ax} = 0$. Die Masse der Patrone beträgt **0,01kg**. Der Schuss wird in einer Höhe von **1,50 m** abgefeuert. Diese müsst ihr im zweiten Feld von $\vec{r}(t_A)$ eingeben. Der Anfangszeitpunkt wird mit $\mathbf{tA} = 0$ und der Endzeitpunkt des Schusses mit $\mathbf{tE} = \mathbf{tA} + \mathbf{0.554}$ festgelegt. Wichtig ist, dass die Zeitschritte $\Delta t = 0.001s$ betragen. Damit ihr ein x-y-Diagramm erhaltet, müsst ihr für die **Rechtsachse x** und die **Hochachse y** angeben.

Da die Kugel in die waagrechte geschossen wird, hat sie zu Beginn nur eine Anfangsgeschwindigkeit in x-Richtung. Tragt also in das erste Feld von $\vec{v}(t_A)$ eine Geschwindigkeit von $20 \frac{m}{s}$ ein und bestätigt mit der **Entertaste**.

Alle oben angegebenen Werte müssen **ohne Einheiten** in die Felder eingegeben werden.

Klickt nun unten rechts die auto Felder an, sodass die Häkchen verschwinden.

Nun vergrößerst du die Anfangsgeschwindigkeiten in **Zehnerschritten**, bestätigst jeweils mit der Entertaste und beobachtest, was mit dem Grafen passiert.

8. ANHANG

↻ Wie verändert sich der Graf mit höherer Geschwindigkeit?

↻ Ein 9mm Geschoss kann eine Geschwindigkeit zwischen $300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $580 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ haben. Gib diese Geschwindigkeiten ein und bestätige durch Drücken der Entertaste. Was kannst du beobachten?

↻ Wieso kann also die Schussbahn einer Patrone mit einem Laser aufgezeigt werden?

Ermittlungsbericht

Ermittlungen über: _____

↯ Ziel der heutigen Ermittlungen:

↯ Eure Vorgehensweise:

↯ Ergebnisse eurer Arbeit:

↯ Schlussfolgerungen für unseren Fall:

Station 3: Tür zur Kunsthalle

Jeder Mensch hinterlässt Spuren von sich, ob in Form von Haaren, Fingerabdrücken oder Schuhspuren. Dieses Phänomen wurde als Erstes vom Polizisten Dr. Edmond Locard beobachtet und wurde zur Basis der modernen forensischen Untersuchung. Nur unter dieser Annahme ist es möglich den Tatort nach Beweisen abzusuchen, um den Tathergang zu rekonstruieren und herauszufinden, was sich wirklich dort abgespielt hat, obwohl man selbst nicht dabei gewesen ist.

Man unterscheidet nun zwischen sichtbaren, plastischen und latenten Abdrücken. Sichtbare Abdrücke liegen dann vor, wenn eine Substanz wie Blut, Tinte, Farbe, Schmutz oder Fett an den Fingern einen leicht sichtbaren Abdruck hinterlässt. Plastische Abdrücke haben eine dreidimensionale Gestalt und latente Abdrücke sind für das bloße Auge unsichtbar und können ohne spezielle Beleuchtung oder spezielle Weiterverarbeitung nicht gesehen werden.



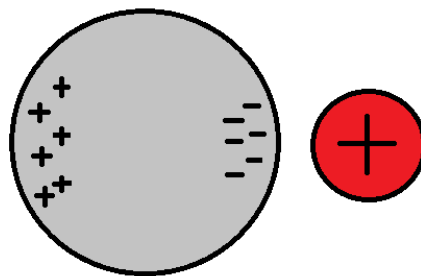
Untersucht nun selbstständig den abgegrenzten Bereich auf Spuren. Passt darauf auf, dass ihr **keine Beweise vernichtet**. Hierfür stehen euch Lupen zur Verfügung.

Hast du Hinweise auf den Täter entdeckt? Wenn ja welche?

1. Influenz

Um den nachfolgenden Versuch mit der elektrostatischen Matte besser zu verstehen, werdet ihr zunächst einige einfache Versuche zur Influenz durchführen.

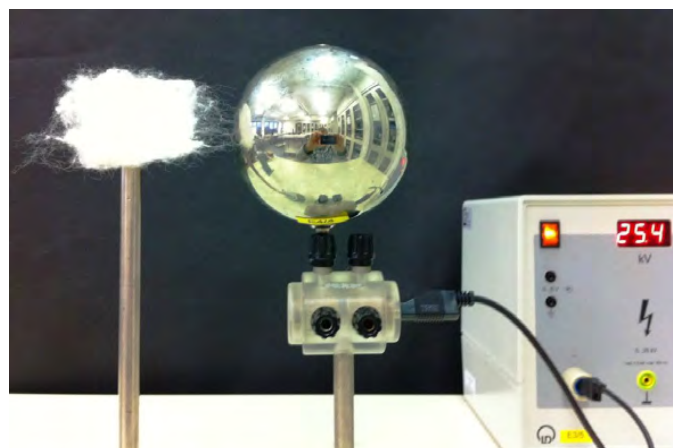
Influenz bedeutet, dass durch Annähern einer Ladung an einen ladungsneutralen Körper, eine Ladungstrennung auf diesem erzwungen wird.



- Zu Beginn schließt die Kugel, wie im nachfolgenden Bild zu sehen ist, an die Spannungsquelle an.

WICHTIG: Die **Spannungsquelle** bleibt solange **ausgeschalten**, bis ihr mit dem Versuch beginnt!

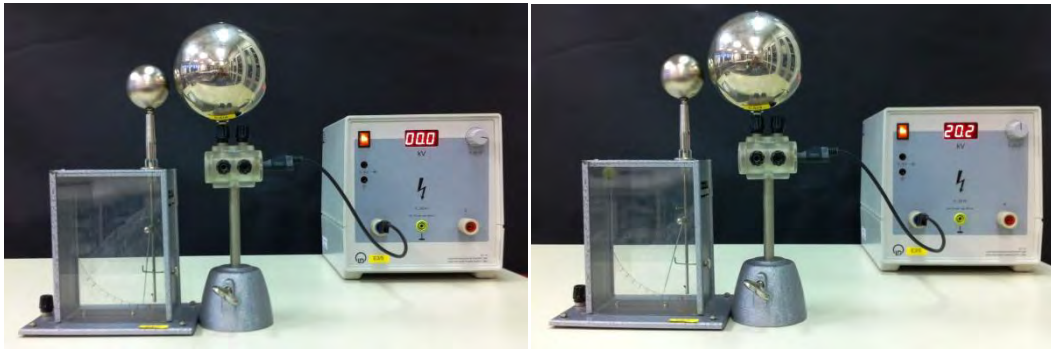
Falls ihr einen **Stromschlag** bekommt, ist es **nicht schlimm**, da die Stromstärke zu gering ist, um Schäden zu verursachen.



8. ANHANG

Was beobachtest du, nachdem die Spannung angeschaltet wurde? Versuche es zu erklären:

- Die Kugel wird an den Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen und sehr nahe an die Kugel des Elektroskops geschoben. Erst jetzt wird die Spannung hochgedreht auf ca. 20 kV. Dadurch wird die große Kugel negativ aufgeladen.



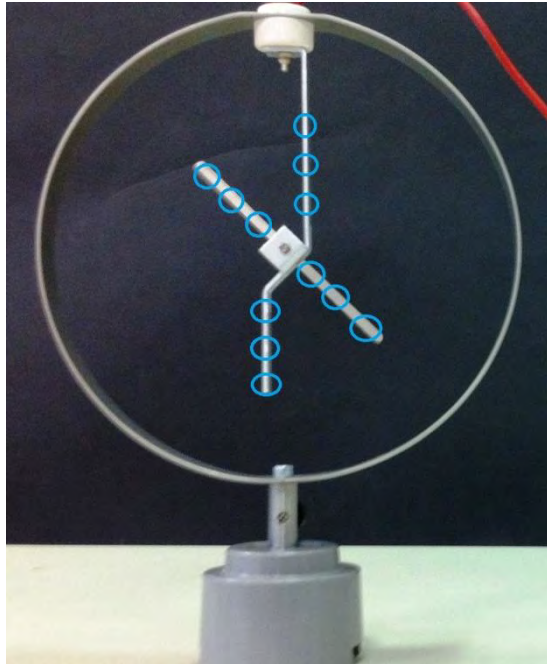
Was beobachtest du beim Hochdrehen der Spannung?

Nun wird die Spannung wieder herunter gedreht.

Was siehst du und wie ist das möglich?

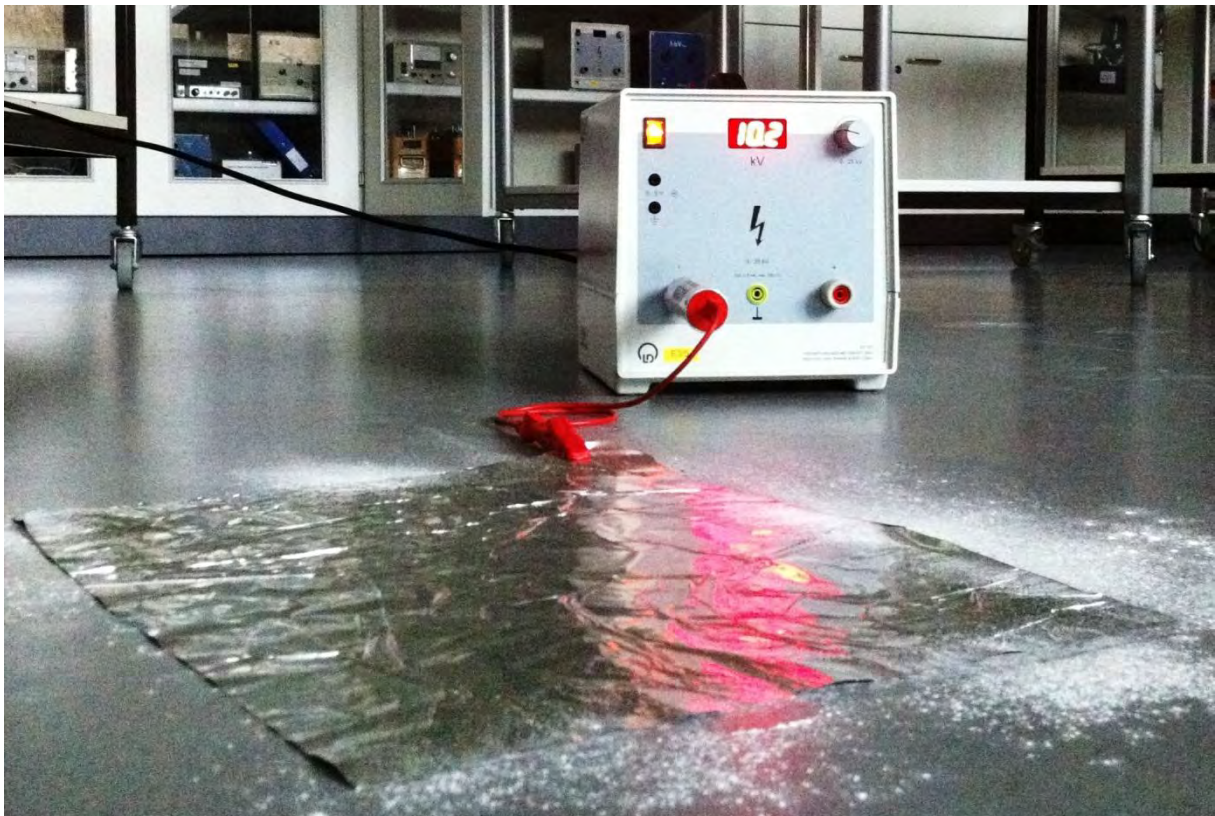
8. ANHANG

Zeichne die Ladungsverteilung in die Kreise des nachfolgenden Bildes ein, welches durch obigen Versuch entstanden ist.



2. *Elektrostatische Matte*

Habt ihr den schwachen Schuhabdruck entdeckt? Verwendet nun die elektrostatische Matte um diesen abzunehmen. Diese funktioniert folgendermaßen:



8. ANHANG

Schließt den Vorwiderstand an den Minuspol an und befestigt die Klemme an der Matte. Die Matte wird **vorsichtig** mit der schwarzen Seite nach unten auf den Fußabdruck gelegt. Dreht die Spannung langsam auf 10 kV und schaltet sie erst nach einer Minute wieder ab. Wartet nun einige Sekunden bevor ihr die Matte über dem Fußabdruck löst, damit ihr keinen Stromschlag bekommt, auch wenn dieser harmlos wäre. Nun habt ihr einen sichtbaren Schuhabdruck und könnt ihn mit der Schuhgröße der Verdächtigen vergleichen.

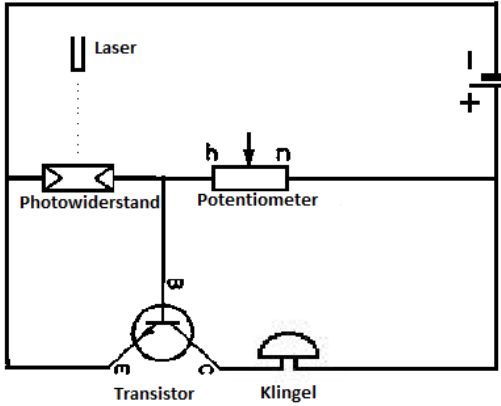
WICHTIG: Versucht die Matte beim Anheben **nicht zu verrutschen!**

☞ Welchen Grund kann es haben, dass Staub von der Matte angezogen wird?

Erklärung: Die Hochspannung schafft ein elektrostatisches Feld, dass.....

3. Alarmanlage

Als nächstes findet heraus, was es mit den Spiegeln an der Tür in Nähe der Alarmanlage auf sich hat. Versucht die Handlung des Täters zu rekonstruieren und nachzuspielen. Baut zunächst selbst eine Alarmanlage, um ihre Funktionsweise zu verstehen. Hierfür steht euch die Anleitung der lichtempfindlichen Alarmanlage zur Verfügung:

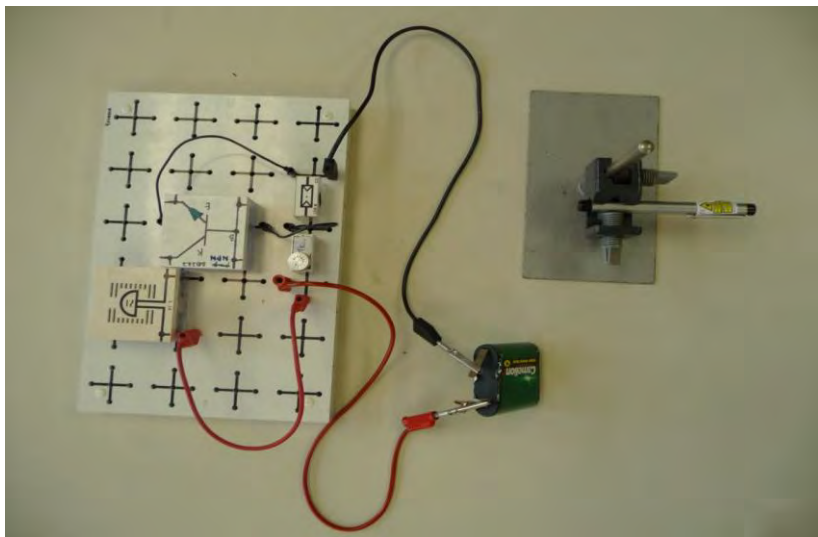
<ul style="list-style-type: none">- 1 4,5 V Batterie- 5 Elektrokabel- 1 Brummer- 1 Photowiderstand (LDR 03)- 1 Potentiometer- 1 Transistor (BD 135)- 1 Schaltbrett- 1 Laser (rot)	
--	--

8. ANHANG

So führst du den Versuch durch:

Schließe Transistor, Photowiderstand, Widerstand und Brummer laut Zeichnung an. Wenn du jetzt die Enden der Kabel auf die Batteriepole klemmst sollte der Brummer ertönen. Ertönt er nicht, kontrolliere, ob du die Komponenten richtig angeschlossen hast.

Schraube nun den Laser in die dafür vorgesehene Halterung, wie im nachfolgenden Bild zu sehen ist. Achte hierbei darauf, dass die Schraube direkt auf den Knopf des Lasers drückt, sodass dieser zu leuchten beginnt.



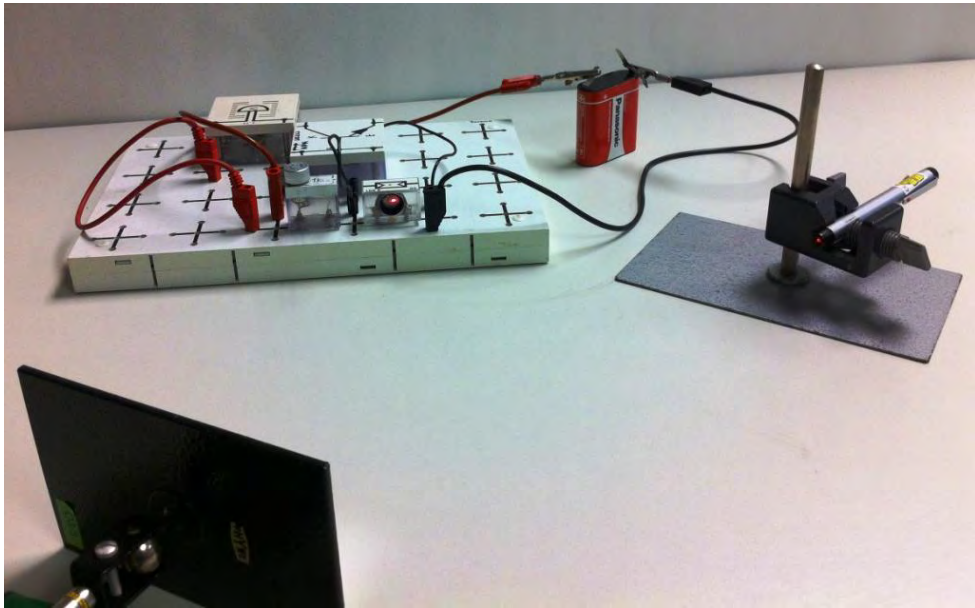
WICHTIG: Dreht nicht am Rädchen des Potentiometers!

☞ Wann ertönt der Brummer? Probiere es aus.

☞ Was passiert, wenn man den Laserstrahl durchbricht?

8. ANHANG

Ihr seht, dass der Täter Spiegel an der Wand befestigt hat und wisst, dass Spiegel Lichtstrahlen umlenken können.



Wofür hat der Täter die Spiegel befestigt? Stellt ebenfalls erst einen und dann zwei Spiegel in einiger Entfernung von eurer Alarmanlage so auf, dass es möglich ist durch Benutzung eines eigenen Laserpointers die Alarmanlage ruhig zu halten, obwohl der andere Laserstrahl durchbrochen wird.

Wissenswertes zur elektrostatischen Platte:

Auch nicht zu erkennende Schriftspuren auf Papier lassen sich mit elektrischer Aufladung sichtbar machen. Hierfür muss man das zu untersuchende Blatt Papier auf eine Metallplatte legen und darüber eine Folie so befestigen, dass sich keine Luft zwischen Papier und Folie befindet. Dies ist möglich, indem man eine Metallplatte mit Löchern verwendet und über

8. ANHANG

diese die Luft im Zwischenraum absaugt. Befindet sich nun die Folie fest auf dem Papier, beginnt man mit der elektrischen Aufladung.



Man führt nun eine Hochspannungselektrode über die Folie und lädt sie elektrisch auf (ähnlich wie statische Aufladung im Haar). Wo durch Eindrücke kleine Lücken zwischen Folie und Papier sind, ist die Aufladung besonders stark. Zum Schluss wird ein tonerähnliches Pulver darüber gestreut, welches sich besonders an Stellen größter Aufladung ablagert. Das Prinzip ist ähnlich dem eines Fotokopiergerätes. Somit ist die Schrift wieder sichtbar. Der Grund dafür, dass sich die Lücken besonders stark aufladen, ist dass die Dicke des Isolators Papier an diesen Stellen geringer ist, und somit das Feld der elektrisch aufgeladenen Platte stärker. Wenn wir davon ausgehen, dass die Platte negativ geladen ist, muss positiv geladenes Pulver verwendet werden, welches von der negativen Platte angezogen wird. Da die Lücken eine größere Kraft auf die positiven Pulverkörner auswirken, werden diese an diesen Stellen besonders stark angezogen, was eine dickere Schicht Toner zur Folge hat.

Dieses Verfahren wird verwendet um eine Telefonnummer, eine Adresse oder andere Hinweise, die der Täter sich notiert hat, herauszufinden. Der Täter geht nämlich davon aus, dass er keine Spuren hinterlassen hat, wenn er das beschriebene Blatt Papier vernichtet hat.

Ermittlungsbericht

Ermittlungen über: _____

↯ Ziel der heutigen Ermittlungen:

↯ Eure Vorgehensweise:

↯ Ergebnisse eurer Arbeit:

↯ Schlussfolgerungen für unseren Fall:

Station 4: Kunstraum

Da gewisse Gegenstände mit dem bloßen Auge schwer zu erkennen sind, werden optische Hilfsmittel verwendet. Dazu gehören Lupen, Mikroskope und Vergleichsmikroskope.

1. Lupe

Zunächst soll jede/r Schüler/in verschiedene Gegenstände im Raum mit der Lupe betrachten. Zum einen soll sich die Lupe direkt vor dem Auge befinden und zum anderen wird die Lupe direkt vor den Gegenstand gehalten.

Was fällt euch dabei auf? Was macht die Lupe mit den Gegenständen?

Nun sollt ihr die Vergrößerung eurer Lupe bestimmen. Dafür betrachtet man zwei Maßstäbe. Der eine Maßstab wird mit einem Auge durch eine Lupe und gleichzeitig der andere Maßstab direkt mit dem anderen Auge in einem Abstand von 25 cm betrachtet.

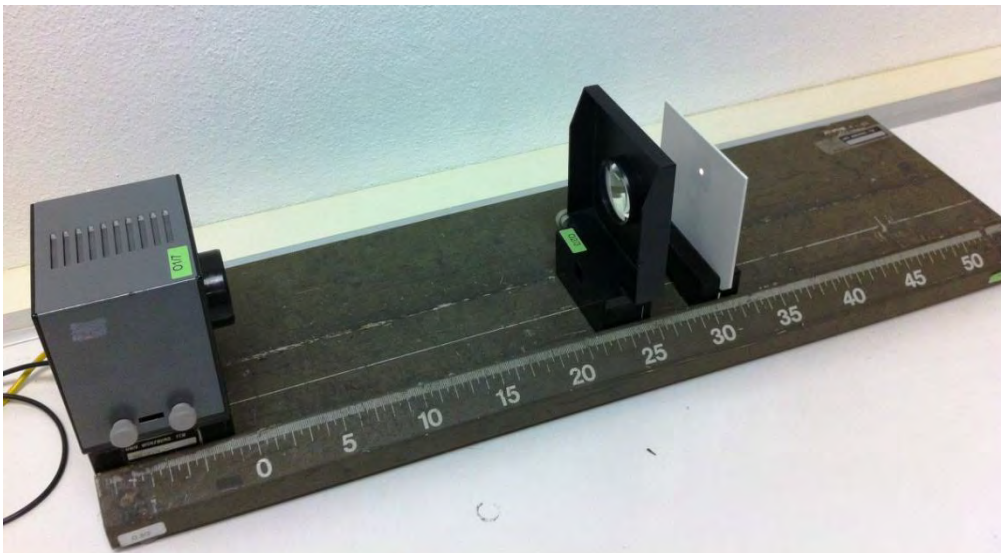


8. ANHANG

↻ Zählt ab wie viele Striche beim Maßstab ohne Lupe denen mit Lupe entsprechen.

Die Vergrößerung V_L der Lupe ergibt sich aus dem Verhältnis der Anzahl der Striche ohne Lupe zu der Anzahl der Striche mit Lupe. Berechnet V_L :

Als nächstes sollt ihr die Brennweiten der beiden am Platz befindlichen Linsen, welche zur magnetischen optischen Bank gehören, herausfinden. Stellt die Linse auf die dafür vorgesehene Halterung (vgl. Bild) und schaltet die Lampe, welche parallele Strahlen aussendet und die Linse bestrahlt, ein.



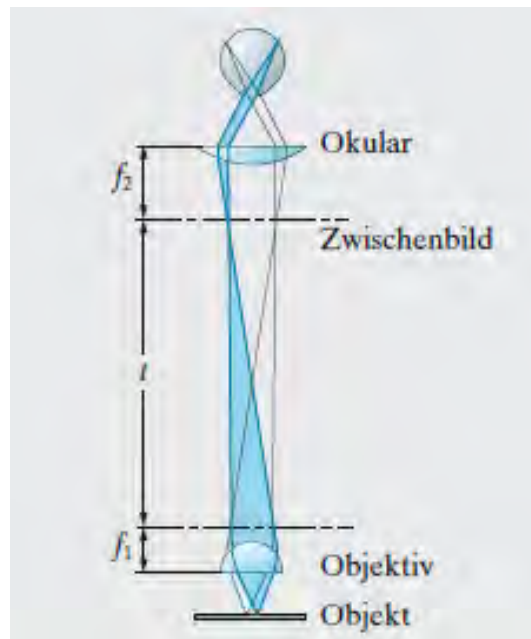
Verschiebt die Halterung nun so lange, bis der helle Kreis auf der Wand nur noch als Punkt zu sehen ist. Der Abstand zwischen Linse und Wand wird als Brennweite f bezeichnet

↻ Messt diese ab und notiert sie euch:

Die Linse des Auges ist entspannt, wenn sie auf Unendlich eingestellt ist. Dies erreicht man, wenn man den Gegenstand im Brennpunkt der Lupe platziert, denn dann verlaufen die Strahlen hinter der Linse parallel und fallen so auch ins Auge ein, was zur Entspannung des Auges führt. Dies wird für den Bau des Modells eines Mikroskops benötigt.

2. Mikroskop

An dieser Station werdet ihr euch selbst ein Modell eines Mikroskops bauen. Dafür stehen euch eine optische Bank, zwei Linsen, ein kleiner Gegenstand und eine Wand zur Verfügung. Die Linse, welche näher am Gegenstand liegt, wird **Objektiv** und die andere **Okular** genannt. Richtet euch nach nachfolgendem Versuchsaufbau:



Die Brennweite des Objektivs ist kleiner als die des Okulars. Ihr solltet die Brennweiten beider schon im vorherigen Teil bestimmen.

Wie lauten damit die Brennweiten von Okular und Objektiv?

$$f_1 = \text{_____} \text{ mm} \quad \text{und} \quad f_2 = \text{_____} \text{ mm}$$

Wichtig hierbei ist, dass der Abstand zwischen Okular und Objektiv größer als die Summe beider Brennweiten ist. Ihr müsst so weit von der Linse entfernt sein, bis ihr beim Blick durchs Okular den Rand des Objektivs nicht mehr sehen könnt. Steckt nun einen beliebigen Gegenstand, wie z.B. einen Schlüssel in die Halterung und betrachtet ihn durch euer Mikroskop.

In welcher Entfernung vom Okular befindet ihr euch? Messt diese ab.

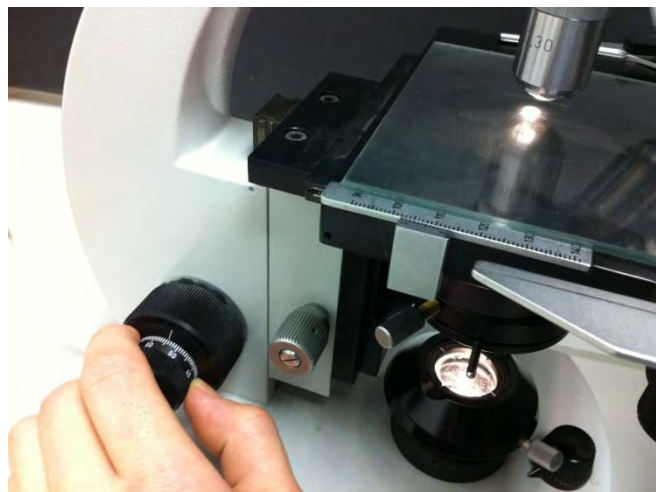
8. ANHANG



Betrachtet zusätzlich den Gegenstand mit der Lupe.

☞ Welche Unterschiede zwischen Lupe und Mikroskop könnt ihr erkennen?

Habt ihr Haare am Tatort, in Nähe der Figur gefunden? Legt diese zwischen zwei Glasplättchen und dann unter das Mikroskop und betrachtet sie ganz genau. Welche Haare der Verdächtigen ähneln den gefundenen Haaren? Legt nun zum Vergleich auch die Haare der Verdächtigen mit zwischen die Glasplättchen und zwar so, dass sich die Haare überkreuzen. Versucht nun den Überlapp der Haare mit dem Mikroskop anzuschauen. Um die Haare scharf zu sehen, müsst ihr die Rädchen des Mikroskops drehen, bis ihr ein scharfes Bild erkennen könnt.



↯ Mit welchen Verdächtigen stimmen die Haare überein?

3. Abnahme eines Fingerabdrucks

Um die Methode des Fingerabdruckabnehmens richtig zu beherrschen, werdet ihr zunächst euren eigenen Fingerabdruck abnehmen. Dafür müsst ihr den Finger auf eine Glasscheibe drücken. Um den Abdruck bestmöglich abzunehmen, haltet euch an die nachfolgende Anleitung und klebt vorsichtig den Klebestreifen auf ein Blatt Papier:



8. ANHANG

Bei der Kriminalpolizei sind Fingerabdrücke in ganz bestimmte Kategorien eingeteilt, damit sie einfacher im System zu finden sind. Man unterscheidet Fingerabdrücke anhand der Muster in den Fingerabdrücken, denn jeder Mensch hat eine unterschiedliche Anzahl dieser Mustertypen. Das nachfolgende Bild zeigt Muster, wie sie allgemein bei Fingerabdrücken gefunden werden.



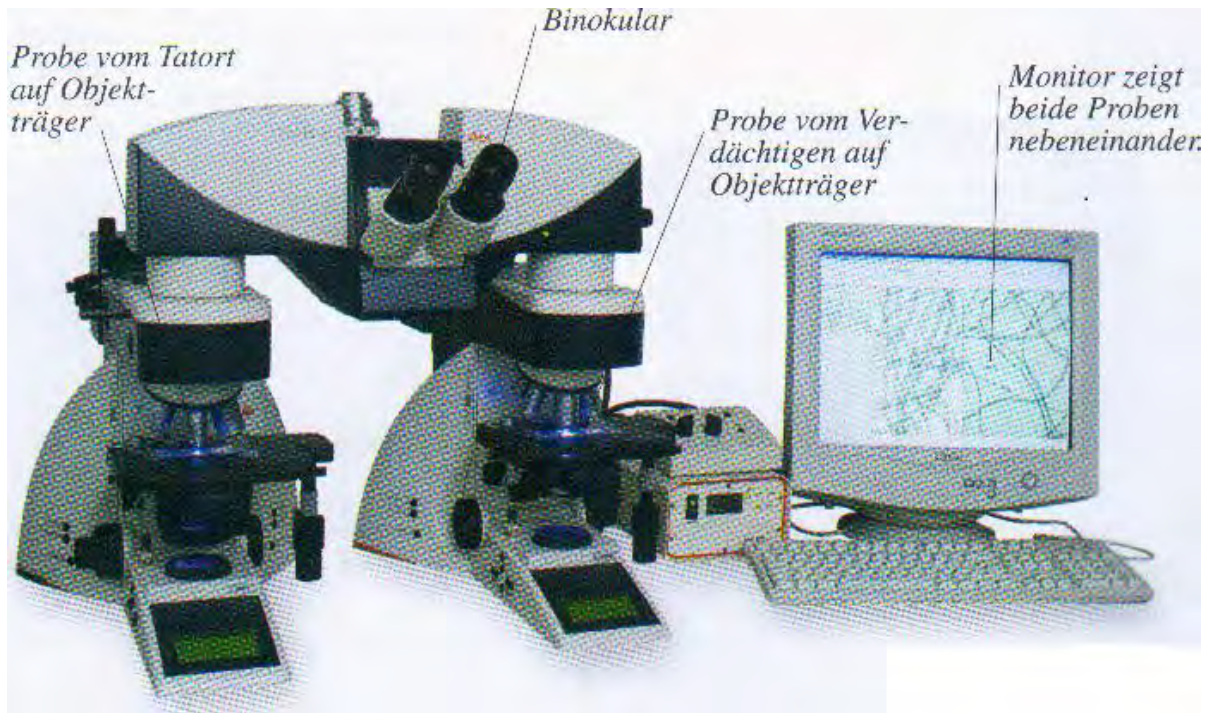
Welches Muster könnt ihr in euren eigenen Fingerabdrücken erkennen?

Macht euch jetzt mit einer Lupe auf die Suche nach Fingerabdrücken und anderen Hinweisen auf den Verdächtigen. Hinweise auf den Täter werden in Nähe und auf der Terrakotta-Figur vermutet. Deshalb **pudert** die Figur ein und **fotografiert** die gefundenen Fingerabdrücke zunächst ab, bevor ihr sie nach obiger Methode **abnehmt**. Druckt die fotografierten Fingerabdrücke aus.

Notiert euch die Kriterien der gefundenen Fingerabdrücke (z.B. Spiralwirbel)

4. Vergleichsmikroskop

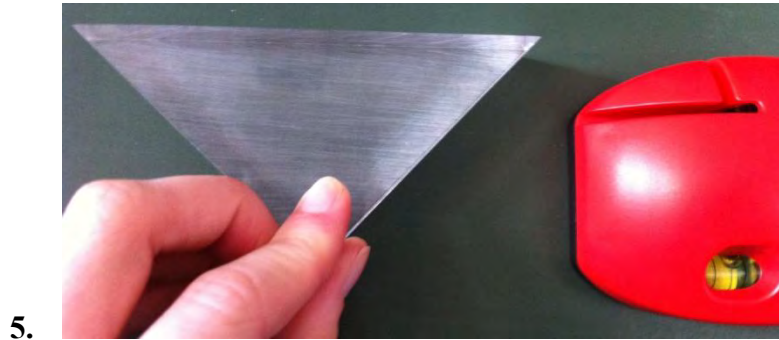
Kriminalisten verwenden zusätzlich ein Vergleichsmikroskop um Beweise direkt vergleichen zu können. Man kann zum Beispiel gleichzeitig eine Patrone vom Tatort und eine Patrone der verdächtigen Waffe unter diesem Mikroskop betrachten. Dies ist möglich, weil wir im Gegensatz zum Mikroskop zwei Okulare haben, welche die Bilder der Gegenstände getrennt abbilden.



Zunächst werdet ihr einen Versuch mit Prismen durchführen, um den Aufbau des Vergleichsmikroskops besser zu verstehen. Fällt ein Strahl senkrecht auf die Oberfläche eines Glas- oder Plexiglas-Gegenstands auf, so läuft er gerade weiter. Trifft er jedoch unter einem anderen Winkel auf, wird er gebrochen.

Bestrahlt nun die Prismen mit dem Laser, der einer Computermouse gleicht, auf drei verschiedene Arten.

8. ANHANG



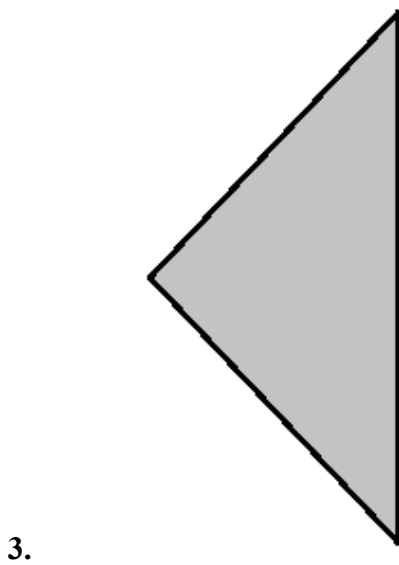
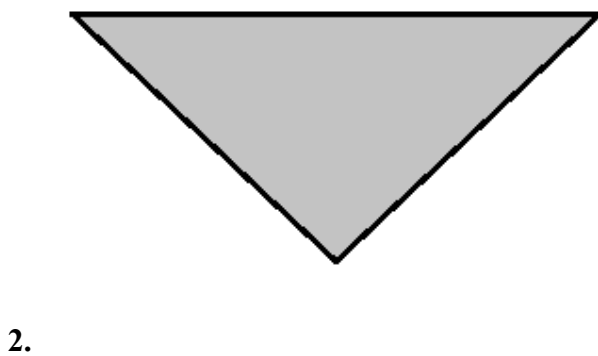
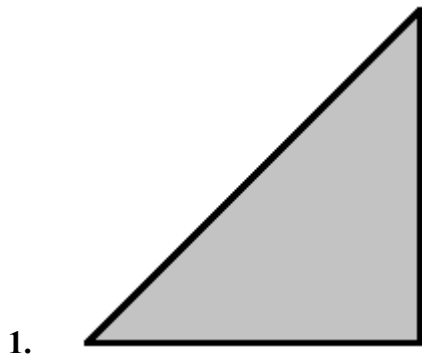
Was fällt euch auf? Macht euch Notizen zu den einzelnen Stellungen:

1. _____

2. _____

3. _____

✎ Zeichnet den Verlauf der Strahlen in die Prismen ein.

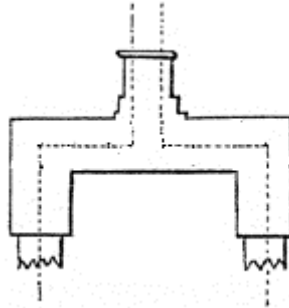


✎ Welche Stellung kann genutzt werden um einen Lichtstrahl um 90° umzulenken?

8. ANHANG

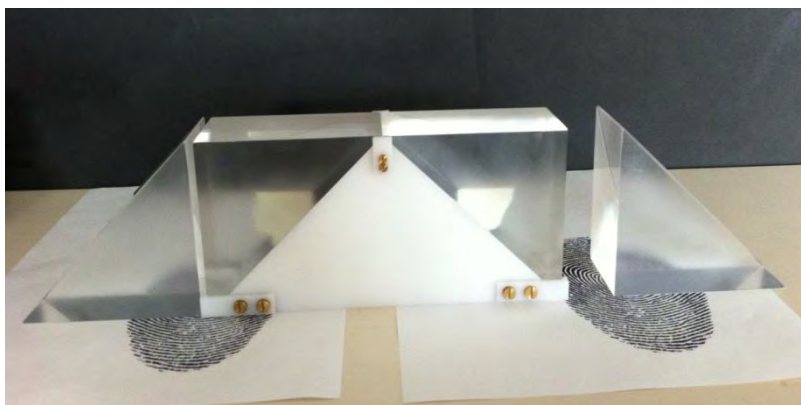
Betrachtet den Aufbau des Vergleichsokkulars eines Vergleichsmikroskop (ohne die Prismen). In dieser Skizze fehlen die Prismen, um die Strahlen, wie unten zu sehen ist, umzulenken. Die gestrichelten Linien zeigen den Weg des Lichtstrahls.

Zeichnet die Prismen in die Skizze ein.



Nun steht euch ein Modell eines Vergleichsmikroskops zur Verfügung. Betrachtet es genau und vergleicht, ob im obigen Bild die Prismen richtig eingezeichnet wurden.

Bevor ihr die Fingerabdrücke mit dem Modell vergleicht, betrachtet zunächst die Fingerabdrücke der Verdächtigen, um zu sehen welche mit den abgenommenen übereinstimmen können. Legt nun die vorhin gefundenen Fingerabdrücke so unter das linke Prisma, dass ihr beim Durchschauen von oben genau die Hälfte des Fingerabdrucks am rechten Rand sehen könnt. Nun werden die Fingerabdrücke der Verdächtigen unter das rechte Prisma gelegt. Verschiebt das rechte Prisma soweit, bis auch dieser Fingerabdruck nur noch zur Hälfte zu sehen ist.



Nun könnt ihr diese direkt miteinander vergleichen und schauen, ob die Rillen übereinstimmen.

8. ANHANG



☞ Welche Verdächtigen haben ihre Fingerabdrücke hinterlassen?

Vor dem Museum wurde eine Patronenhülse gefunden. Überprüft auch diese auf Fingerabdrücke und vergleicht sie mit denen der Verdächtigen.

☞ *Hat der Täter Fingerabdrücke hinterlassen? Um wessen Fingerabdrücke handelt es sich?*

Ermittlungsbericht

Ermittlungen über: _____

↯ Ziel der heutigen Ermittlungen:

↯ Eure Vorgehensweise:

↯ Ergebnisse eurer Arbeit:

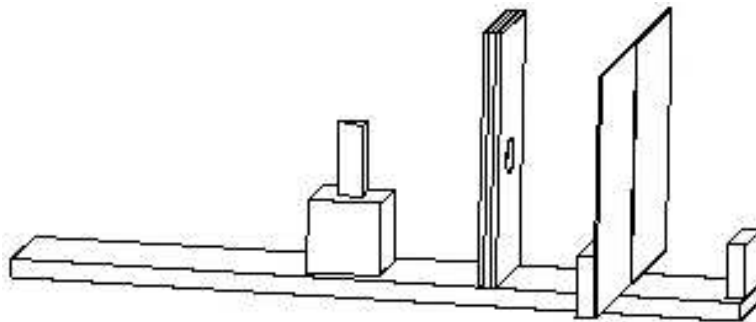
↯ Schlussfolgerungen für unseren Fall:

Station 1 für Betreuer

Die Hauptaufgabe dieser Station besteht darin, nachzuweisen, ob es sich bei dem vorhandenen Fleck wirklich um Blut handelt. Der Blutnachweis wird mittels einer Luminol-H₂O₂-Natriumcarbonat-Lösung durchgeführt, welche Blut zum lumineszieren bringt. Der Grund des Leuchtens liegt in der Reaktion des Hämoglobins im Blut mit der Lösung.

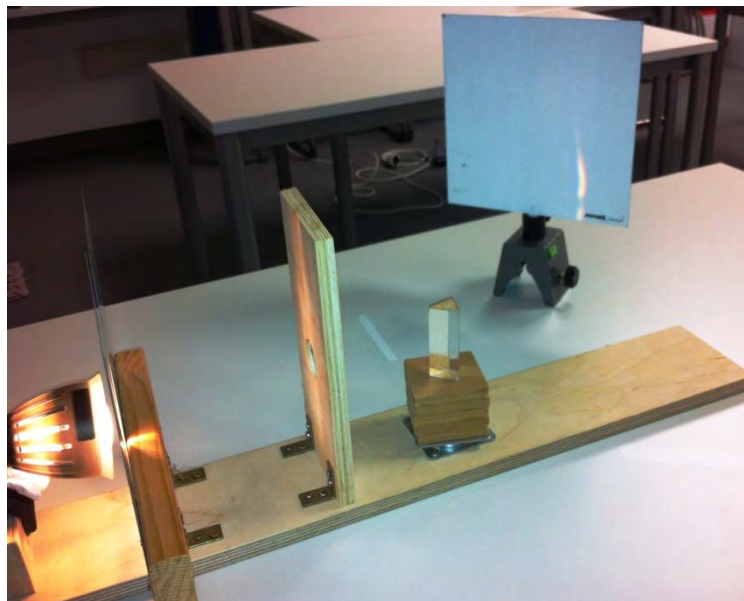
1. Spektrale Zerlegung weißen Lichts

Zu Beginn der Station wird die spektrale Zerlegung weißen Lichts wiederholt. Hierfür führen die Schüler folgenden Versuch durch.



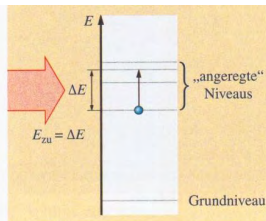
Rechts befindet sich eine Lampe, die den Spalt beleuchtet. Die dahinter befindliche Linse bildet den ausgeleuchteten Spalt scharf ab. Sie sollen das Prisma langsam drehen. Danach trifft das Licht auf das Prisma und wird je nach Stellung des Prismas zweimal an den Grenzflächen gebrochen. Da der Brechungsindex von der Wellenlänge abhängt, werden die verschiedenen Farben unterschiedlich stark gebrochen. Hierbei spricht man von Dispersion und somit erhält man die Spektralfarben weißen Lichts.

Wichtig hierbei ist es, die Schüler darauf aufmerksam zu machen, den Schirm auch zur Seite zu verschieben, da die Spektralfarben nicht direkt hinter dem Prisma zu sehen sind (vgl. nachfolgende Bild)

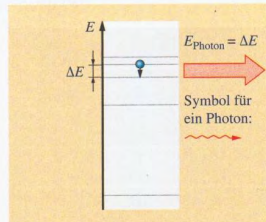


2. Absorption und Emission

Als nächstes werden die Begriffe Absorption und Emission erläutert.



3 Niveauwechsel durch Energiezufuhr



4 Niveauwechsel durch Energieabgabe

Zusätzlich führen die Schüler einen Analogieversuch dazu durch. Hierbei wird das Stauchen einer Feder als Analogie zur Absorption gesehen, da hierbei Energie in die Feder hineingesteckt wird.



Diese Energie wird dann wieder an den, vor der Feder befindlichen, Ball abgegeben. Dies entspricht der Energieabgabe in Form eines Photons.



3. Lumineszenz

Danach wird der Begriff der Lumineszenz erklärt. „Lumineszenz ist der Sammelbegriff für alle Arten von Leuchterscheinungen eines Systems unter Energieeinwirkung jeglicher Art. Unter dem Oberbegriff Lumineszenz verbirgt sich die Emission von Strahlung. Die emittierte Strahlung beruht auf der Rückkehr angeregter Elektronen von einem angeregten Elektronenzustand in einen tiefer gelegenen Elektronenzustand bzw. den Elektronengrundzustand.“⁸² Um den Schülern zu veranschaulichen, dass nicht jeder Körper die gleiche Energiedifferenz absorbiert bzw. emittiert, bestrahlen sie sowohl Biowaschmittel, als auch normales Waschmittel und Flüssigseife, in Wasser gelöst, mit einer Schwarzlichtlampe, welche einen geringen UV-Anteil besitzt. Hierbei absorbiert nur das normale Waschmittel im UV-Bereich und emittiert Strahlung im sichtbaren Bereich, wohingegen beim Biowaschmittel und bei der Seife kein Leuchten entsteht.

Da der Raum trotz Abdunkeln ziemlich hell ist, werden die Flüssigkeiten in einen Karton gestellt und durch eine Öffnung mit Schwarzlicht beleuchtet. Die zweite Öffnung wird zum Hineinschauen verwendet.

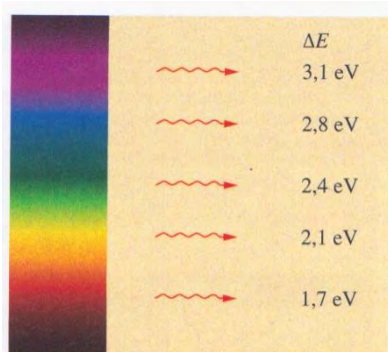


⁸² <http://www.uni-tuebingen.de/straehle/kristallstrukturanalyse/pdf/farbstoff3.pdf>

4. Blutnachweis mit Luminol

Da die Schüler im Unterricht der siebten Klasse erfahren haben, dass weißes Licht spektral zerlegt ist und dass verschiedene Stoffe unterschiedliche Spektren aufweisen, können sie auch den Versuch des Blutnachweises nachvollziehen. Außerdem können sie zwischen kontinuierlichem Spektrum und Linienspektrum unterscheiden.⁸³

Diese Spektren geben an, welche Photonen vom Atom absorbiert werden können und dieses damit anregen. Dazu müssen die Photonen genau die Energie besitzen, welche nötig ist um Elektronen aus dem Valenzband anzuregen, also auf ein höheres Energieniveau zu bringen. Analog kann ein angeregtes Atom Energie in Form eines Photons der entsprechenden Wellenlänge λ abgeben, wodurch das Elektron wieder auf ein niedrigeres Niveau zurückfällt. Hierbei gilt $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$, mit h als Planckschem Wirkungsquantum und c als Lichtgeschwindigkeit.



5 Photonenergie und Farbe des Lichts

Entspricht diese Energieportion einer Energie zwischen 1,7eV und 3,1eV, so wird sichtbares Licht emittiert.

Dieses Phänomen wird nun für die Sichtbarmachung von latenten Blutspuren genutzt. Hierfür muss man zunächst Luminol auf die vermutete Stelle sprühen. „Luminol ist eine Chemikalie, die mit Hämoglobin im Blut zu einer komplexen Substanz reagiert, die luminesziert.“⁸⁴

Hierbei dient das Hämoglobin im Blut als Katalysator der Oxidation. „Luminol wird unter Einwirkung von Wasserstoffperoxid in alkalischer Lösung zum Diazachinon oxidiert (Schritt 1). Im weiteren Verlauf kommt es zur Oxidation zu einem Peroxodianion (Schritt 2). Nach Abspaltung eines Stickstoff-Moleküls aufgrund der katalysierenden Wirkung des im Blut enthaltenen Protohäms bildet sich das Aminophthalsäuredianion in einem angeregten Zustand. Durch Abgabe von Lichtenergie wird der energetische Grundzustand wieder erreicht.“⁸⁵

⁸³ Vgl. FOKUS Physik 9, Dr. Fösel A., Dr. Reinhard B., Sander P., Schweitzer S., Thanner A., S.104

⁸⁴ CSI-Forensik für Dummies, D.P.Lyle, S.321

⁸⁵ <http://www.experimentalchemie.de/versuch-042.htm>

8. ANHANG

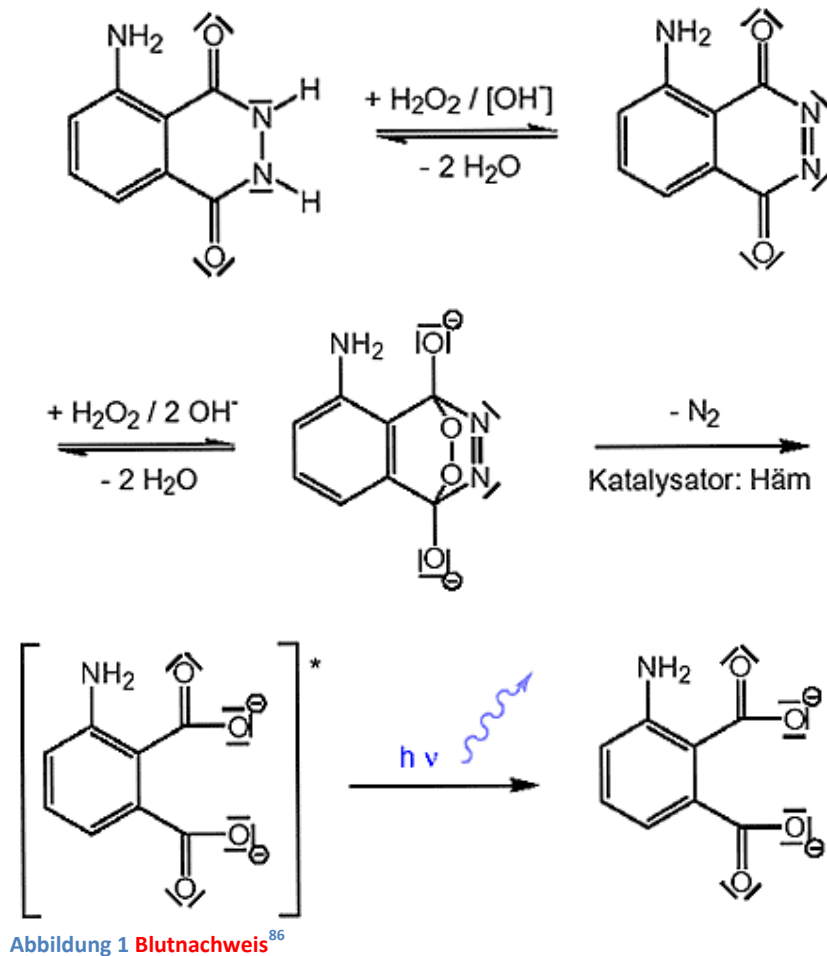


Abbildung 1 Blutnachweis⁸⁶

Da aber häufig Bleichmittel verwendet werden um Blutspuren verschwinden zu lassen, welche ebenfalls mit Luminol reagieren und dann lumineszieren, ist es zum Vorteil anstatt Luminol, Fluoreszein zu verwenden. „Fluoreszein (...) ist (...) besser geeignet, um Blutspuren sichtbar zu machen, die mithilfe von Produkten gereinigt wurden, die Bleichmittel enthalten. Ein weiterer Vorteil (...) ist, dass (...) es weniger tropft, und (...) besser an Wänden, Türen und anderen senkrechten Oberflächen haftet.“⁸⁷

Falls während des Versuchs die Luminollösung leer werden sollte, müsst ihr sie nach folgender Anleitung⁸⁸ selbst anrühren:

Für den Versuch werden benötigt:

- 2 Becherglas 50 ml
- 1 Becherglas 200 ml
- 1 Messzylinder
- 1 Sprühflasche

⁸⁶ <http://www.experimentalchemie.de/versuch-042.htm>

⁸⁷ CSI-Forensik für Dummies, D.P.Lyle, S.265

⁸⁸ Vgl. Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule, Physik und Kriminalistik, Aulis Verlag Deubner, S.45

8. ANHANG

- 1 Spatel
- 1 Rührstäbchen
- 1 Trichter
- 1 Laborwaage
- 100 ml destilliertes Wasser
- 5 g Natriumcarbonat (.....)
- 0,1 g Luminol (.....)
- 15 ml Wasserstoffperoxid (30 %) (.....)

Vorbereitungen:

6. Natriumcarbonat und Luminol werden in den kleinen Bechergläsern ausgewogen.
7. Es wird eine Lösung aus destilliertem Wasser, Natriumcarbonat und Luminol hergestellt.
8. Das Wasserstoffperoxid wird im Messzylinder abgemessen.
9. Die Hälfte der Luminol-Lösung wird in die Sprühflasche gegossen.
10. Die Hälfte des Wasserstoffperoxids wird dazugegeben. (Die Mischung zersetzt sich relativ schnell! Deswegen sollte das Wasserstoffperoxid *immer erst kurz vor* der Anwendung zur Luminol-Lösung gegeben werden)

Station 2 für Betreuer

1. Anleitung des Laserversuchs zur Standortbestimmung des Täters:

In der Optik lernen die Schüler, dass Licht sich geradlinig ausbreitet. Sie erfahren, dass man die Lichtausbreitung mittels Lichtstrahlen und Lichtbündeln darstellen kann. Anders als bei einer gewöhnlichen Glühbirne, kann man mit einem Laser Lichtstrahlen nur in eine Richtung aussenden.

Deshalb werden Laser auch in der Kriminalistik eingesetzt, um den zurückgelegten Weg einer Pistolenkugel zurückzuverfolgen. Wurde mehrmals geschossen und dabei verschiedene Gegenstände getroffen, ist es möglich durch Einsetzen eines Lasers in den jeweiligen Einschusslöchern, den Standpunkt des Täters herauszufinden.

Versuchsdurchführung: Zu Beginn sollen sich die Schüler selbst Gedanken machen, wie sie herausfinden, wo der Täter gestanden haben muss. Einige unter ihnen haben bestimmt schon eine der vielen Krimiserien gesehen und werden die Möglichkeit mit dem Laser schnell erraten. Hierfür sollen nun die Laser in die „Einschusslöcher“ gesteckt werden. Dann stellt sich ein Schüler an den Ort, an dem er den „Täter“ vermutet hat. Falls er nun von allen Laserstrahlen getroffen wird, steht er richtig. Für den Fall, dass die Schüler nicht auf die Idee kommen die Laser zur Standortbestimmung des Täters zu benutzen kann man Ihnen den Tipp Geben das nachfolgende Bild zu betrachten und darauf aufmerksam machen, dass man durch die Einschusslöcher leuchten kann.



VORSICHT:

Da es sich bei Laserlicht um stark gebündeltes Licht handelt, sollten sich die Einschusslöcher nicht so platziert worden sein, dass die Laser auf Augenhöhe strahlen. Sollte dennoch jemand versehentlich einen Laserstrahl ins Auge bekommen, ist es gut zu wissen, dass dies völlig harmlos ist. Bei den verwendeten Lasern der Laserschutzklasse 2 (< 1mW) reicht der Lidschlussreflex (ca. 0,25s) völlig aus.

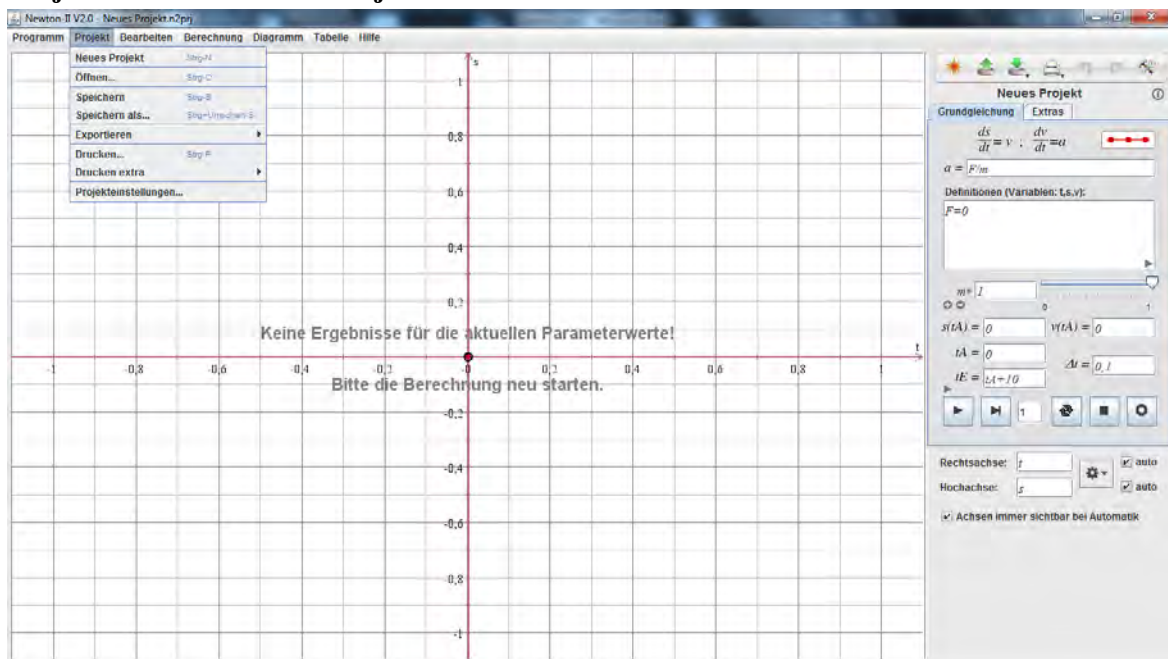
Es ist als Betreuer wichtig, die Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam zu machen, keine der am Tatort befindlichen Gegenstände zu verrutschen, da sonst die Schussbahn verfälscht wird. Außerdem wäre eine kurze Diskussion über den Wahrheitsgehalt in Krimiserien angebracht, da in unzähligen Serien der Laserstrahl bei klarer Luft durchgehend sichtbar ist, obwohl dies in Wirklichkeit nicht möglich ist. Dafür muss es neblig. Deshalb sollte eine Nebelmaschine verwendet werden.

2. Abweichung des Schusses vom Weg des Laserstrahls

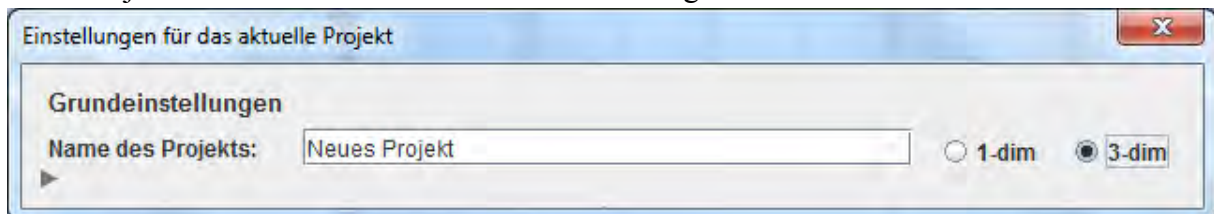
Als nächstes müssen die Schüler Newton-II verwenden um herauszufinden, warum es möglich ist die Schussbahn mit einem Laser aufzuzeigen, obwohl es sich hierbei um einen waagrechten Wurf handelt.

Sie erhalten dafür folgende Anleitung:

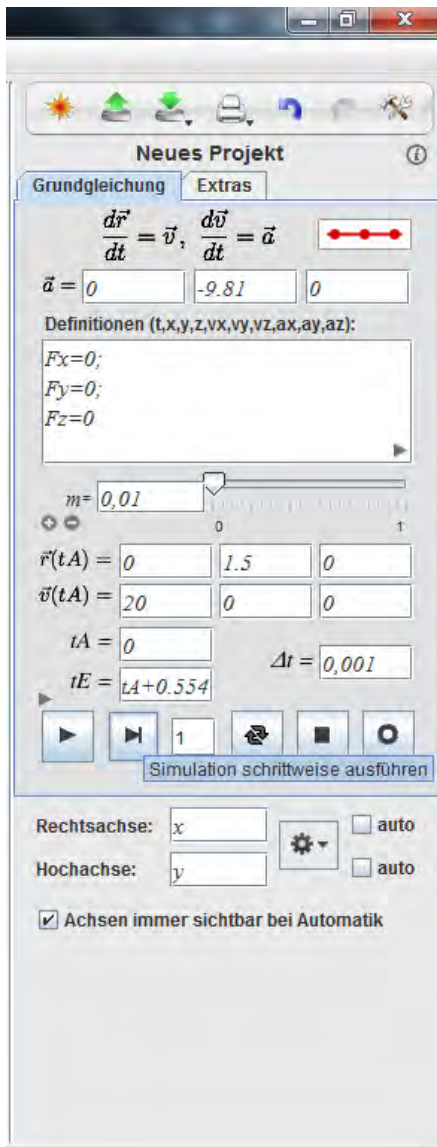
Startet nun das Programm **Newton II** am Computer, klickt in der oberen Leiste zunächst **Projekt** und dann **neues Projekt** an.



Da es sich beim waagrechten Wurf um eine zweidimensionale Bewegung handelt, stellen wir unser Projekt auf **3-dim** und schließen das Einstellungen-Feld wieder.



8. ANHANG



Als nächstes befassen wir uns mit dem Feld der Grundgleichungen rechts im Bild. Da der waagrechte Wurf nur aus zwei Dimensionen besteht, wird $\mathbf{a}_z = \mathbf{0}$ gesetzt. Die Beschleunigung in y-Richtung ist $\mathbf{a}_y = -9.81 \frac{m}{s^2}$ und die Beschleunigung in x-Richtung $\mathbf{a}_x = \mathbf{0}$. Die Masse der Patrone beträgt **0,01kg**. Der Schuss wird in einer Höhe von **1,50** m abgefeuert. Diese müsst ihr im zweiten Feld von $\vec{r}(t_A)$ eingeben. Der Anfangszeitpunkt wird mit $t_A = \mathbf{0}$ und der Endzeitpunkt des Schusses mit $t_E = t_A + \mathbf{0.554}$ festgelegt. Wichtig ist, dass die Zeitschritte $\Delta t = 0.001s$ betragen. Damit ihr ein x-y-Diagramm erhaltet, müsst ihr für die **Rechtsachse** x und die **Hochachse** y angeben.

Da die Kugel in die waagrechte geschossen wird, hat sie zu Beginn nur eine Anfangsgeschwindigkeit in x-Richtung. Tragt also in das erste Feld von $\vec{v}(t_A)$ eine Geschwindigkeit von $20 \frac{m}{s}$ ein und bestätigt mit der **Entertaste**.

Alle oben angegebenen Werte müssen **ohne Einheiten** in die Felder eingegeben werden.

Klickt nun unten rechts die auto Felder an, sodass die Häkchen verschwinden.

Nun vergrößert du die Anfangsgeschwindigkeiten in **Zehnerschritten**, bestätigst jeweils mit der Entertaste und beobachtest, was mit dem Grafen passiert.

Hierbei ist es **wichtig** darauf zu achten, dass die Schüler bei einer Geschwindigkeit von $20 \frac{m}{s}$ beginnen und hierbei die Auto-Felder mit Häkchen versehen sind. Erst nach drücken der Entertaste sollen die Auto-Felder angeklickt werden, sodass die Häkchen verschwinden, denn nur so bleiben die Koordinaten-Achsen bei Veränderung der Geschwindigkeit unverändert.

Station 3 für Betreuer

Da es in dieser Station nur einen Brummer gibt, welchen man für den Bau der Alarmanlage benötigt, müssen die Schüler die Aufgaben in folgender Reihenfolge bearbeiten.

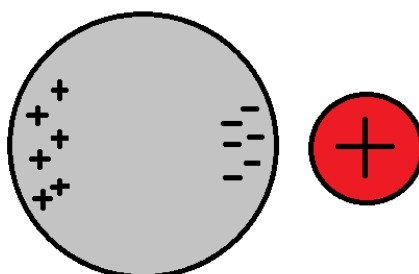
Gruppe 1	1. Influenz → 2. Elektrostatische Matte → 3. Alarmanlage
Gruppe 2	3. Alarmanlage → 1. Influenz → 2. Elektrostatische Matte

Jeder Mensch hinterlässt Spuren von sich, ob in Form von Haaren, Fingerabdrücken oder Schuhspuren. Dieses Phänomen wurde als Erstes vom Polizisten Dr. Edmond Locard beobachtet und wurde zur Basis der modernen forensischen Untersuchung.⁸⁹ Nur unter dieser Annahme ist es möglich den Tatort nach Beweisen abzusuchen, um den Tathergang zu rekonstruieren und herauszufinden, was sich wirklich dort abgespielt hat, obwohl man selbst nicht dabei gewesen ist. Man unterscheidet nun zwischen sichtbaren, plastischen und latenten Abdrücken. „[Erstere] liegen dann vor, wenn eine Substanz wie Blut, Tinte, Farbe, Schmutz oder Fett an den Fingern (...) einen leicht sichtbaren Abdruck hinterlässt. Plastische [Abdrücke] haben eine dreidimensionale Gestalt (...) [und letztere] sind für das bloße Auge unsichtbar und können ohne spezielle Beleuchtung oder spezielle Weiterverarbeitung nicht gesehen werden.“⁹⁰

Um den nachfolgenden Versuch mit der elektrostatischen Matte besser zu verstehen, führen die Schüler zunächst einige einfache Versuche zur Influenz durch.

1. Influenz

Influenz bedeutet, dass durch Annähern einer Ladung an einen ladungsneutralen Körper, eine Ladungstrennung auf diesem erzwungen wird.

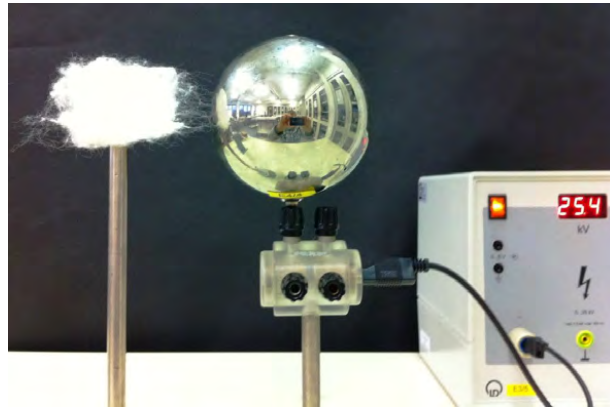


⁸⁹ vgl. CSI-Forensik für Dummies, D.P.Lyle, S.40

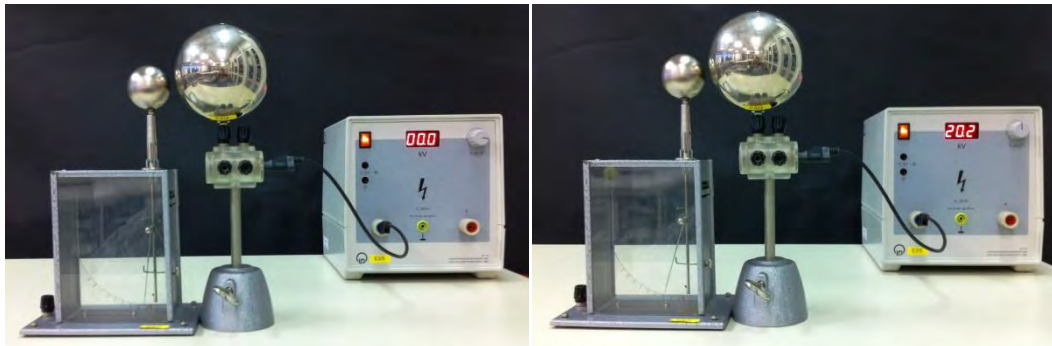
⁹⁰ CSI-Forensik für Dummies, D.P.Lyle, S.115

8. ANHANG

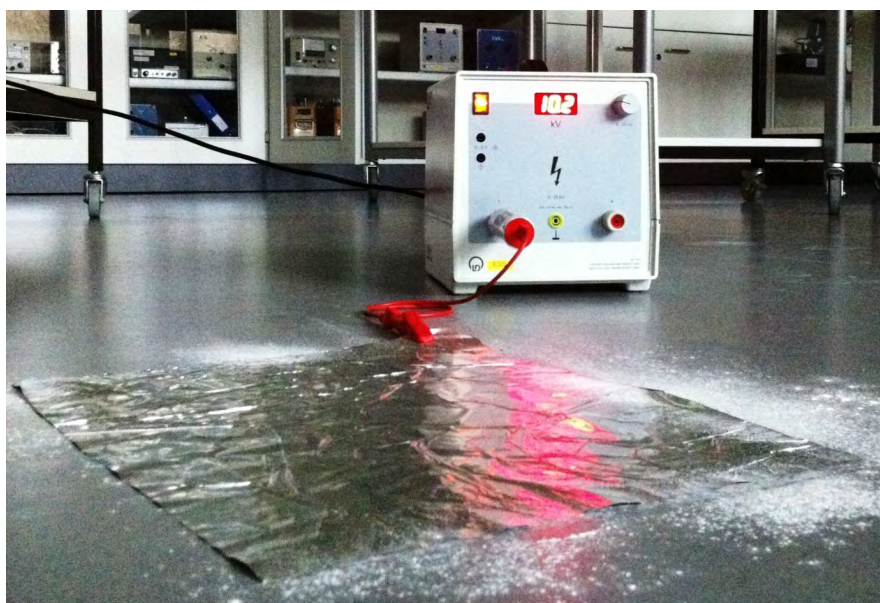
Die Versuche sehen folgendermaßen aus:



Hierbei kommt es bei Watte zu Influenz aufgrund der an die Kugel angeschlossenen Spannung. Bringt man nun ein Elektroskop in Nähe der aufgeladenen Kugel und dreht die Spannung nach oben, kann man einen Ausschlag beobachten.



2. Die elektrostatische Matte



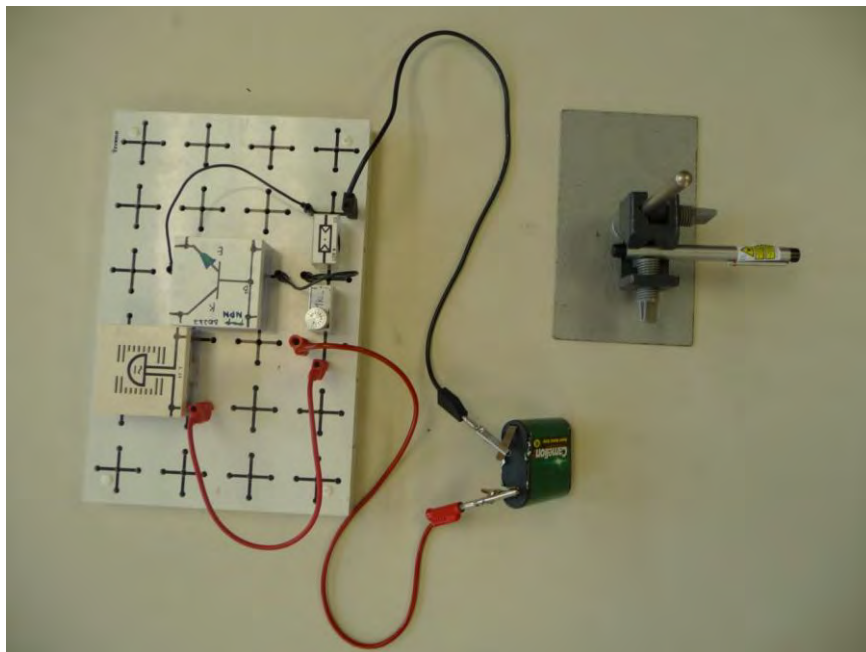
Zu so einer speziellen Weiterverarbeitung, wie sie zu Beginn erwähnt wurde, zählt auch die elektrostatische Matte, welche für sehr schwache Schuhabdrücke verwendet wird. „Die Matte besteht aus einem dünnen Blech, das auf einer Seite mit einer schwarzen Selbstklebefolie beschichtet ist. Hier wird eine schwache Hochspannung angelegt, die ein elektrostatisches Feld schafft, das den Staub anzieht. [Danach wird dieser nun übertragene und sichtbare Abdruck beleuchtet und abfotografiert. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin,] dass nur ein Teil des Staubs angezogen wird [und deshalb] kann die Prozedur an derselben Spur mehrfach wiederholt werden.“⁹¹ Staub wird von einer Hochspannung angezogen, weil es durch Influenz in den Staubkörner zu einer Ladungstrennung kommt und da Staubkörner so leicht sind, werden die jeweiligen Pole von der Hochspannung angezogen und bleiben dann daran haften. Damit die Schüler die Funktionsweise der elektrostatischen Matte verstehen können, führen sie zunächst zwei Versuche zur Influenz durch.

3. Alarmanlage

Als nächstes sollen die Schüler selbst eine lichtempfindliche Alarmanlage bauen, die bei Durchbrechen des Laserstrahls zu brummen beginnt.

Versuchsdurchführung Alarmanlage:

Transistor, Photowiderstand und Brummer sollen laut Zeichnung angeschlossen werden. Werden nun die Klemmen an die Batteriepole geklemmt, sollte der Brummer ertönen, solange der Laser nicht strahlt.



⁹¹ Spuren am Tatort, Brian Innes, S.67

8. ANHANG

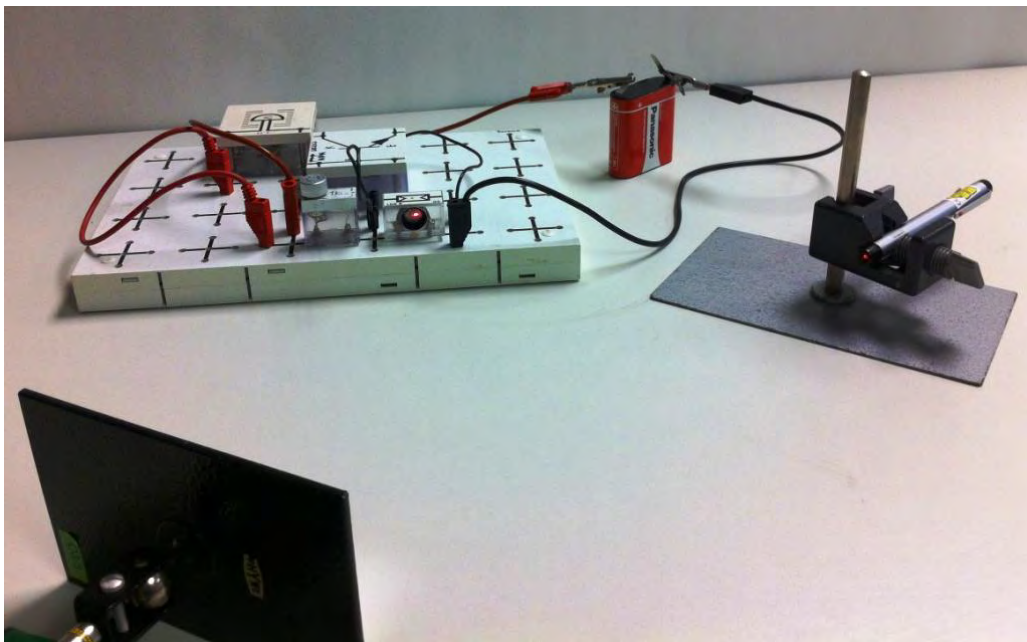
Als nächstes sollen die Schüler den Laser so in die Halterung schrauben, dass die Schraube genau auf den Knopf des Lasers drückt, sodass dieser zu strahlen beginnt.

Sollten die Schüler das **Potentiometer** verstellen, muss dieses wieder **neu justiert** werden. Das bedeutet, dass der Brummer gerade so nicht mehr brummt, wenn der Photowiderstand mit dem Laser beleuchtet wird.

Was steckt da bloß dahinter?

Wenn der Photowiderstand kein Licht empfängt, ist sein Widerstand so groß, dass kein Strom im Basis-Emitter-Kreis fließt. Kommt der Photowiderstand ans Licht, nimmt sein Widerstand ab. Schwacher Strom fließt im Basis-Emitter-Kreis, den der Transmitter verstärkt, d.h. im Kollektor-Emitter-Kreis fließt ein größerer Strom: Der Brummer ertönt.

Im nächsten Teil sollen sie nun Spiegel so vor der Alarmanlage platzieren, dass es ihnen möglich ist, einen zweiten Laserstrahl so umzulenken, dass der Brummer nicht ertönt, obwohl der dazugehörige Laserstrahl durchbrochen wird. Dies dient dem Verständnis, der an der Tür befestigten Spiegel.



Station 4 für Betreuer: Kunstgemälde- und Figurenraum

1. Lupe

Da es an dieser Station nur ein Mikroskop und nur ein Modell eines Vergleichsmikroskops gibt, können die zwei Schülergruppen die Aufgaben nicht parallel, sondern nach folgender Reihenfolge, bearbeiten:

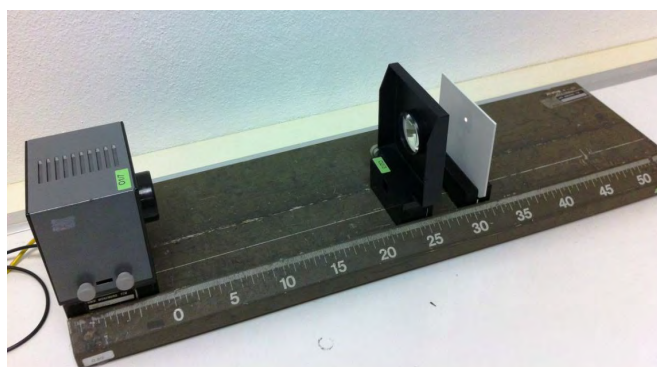
Gruppe 1	1. Lupe → 2. Mikroskop → 3. Abnahme eines Fingerabdruckes → 4. Vergleichsmikroskop
Gruppe 2	3. Abnahme eines Fingerabdruckes → 4. Vergleichsmikroskop → 1. Lupe → 2. Mikroskop

Die Schüler müssen an dieser Station verschiedene Versuche mit optischen Geräten durchführen. Der Umgang mit einer Lupe sollte hierbei kein Problem sein, doch die Bestimmung der Vergrößerung dieser ist schon etwas schwieriger, denn zu Beginn sollen sie zunächst einmal verschieden Gegenstände mit der Lupe betrachten und danach die Vergrößerung dieser bestimmen. Hierbei betrachten wie einen Maßstab mit und einen ohne Lupe im Abstand 25 cm und bilden das Verhältnis aus den Strichen ohne Lupe zu denen mit Lupe.



Macht die Schüler darauf aufmerksam, einen Stift als Markierung zu benutzen, um die Anzahl der Striche mit Lupe, mit denen ohne Lupe zu vergleichen.

Da sie im zweiten Teil selbst ein Modell eines Mikroskops bauen sollen, bei dem die Brennweiten zweier Linsen bekannt sein müssen, werden diese vorher von den Schülern bestimmt. Dafür wird eine Linse auf die magnetische optische Bank gestellt und von einer Seite mit parallelem Licht bestrahlt. Auf der anderen Seite befindet sich eine Wand. Die Linse wird solange verschoben, bis auf der Wand nur noch ein heller Punkt zu sehen ist.



Die Schüler sollten eine Brennweite von 50 mm und eine von 300 mm messen.

2. Mikroskop

Beim Bau des Modells eines Mikroskops ist es wichtig, dass die Schüler die Linsen in der richtigen Reihenfolge platzieren, also dass sich die Linse mit Brennweite $f_2 = +300\text{mm}$ vor dem Auge befindet und die Linse mit Brennweite $f_1 = +50\text{mm}$ vor dem Gegenstand.



Wichtig hierbei ist, dass der Abstand zwischen Okular und Objektiv größer als die Summe beider Brennweiten ist. Die Schüler müssen so weit von der Linse entfernt sein, bis sie beim Blick durchs Okular den Rand des Objektivs nicht mehr sehen können. Um das Mikroskop zu testen, sollen sie einen beliebigen Gegenstand, wie z.B. einen Schlüssel, in der dafür vorgesehenen Halterung befestigen.

Macht die Schüler darauf aufmerksam, ob sie beim Ausprobieren der Lupe Haare gefunden haben. Wenn nicht, schickt sie nochmals in Nähe der Terrakotta- Figur um welche zu finden. Diese werden dann unter das Mikroskop gelegt und mit Haaren der Verdächtigen, die den gefundenen Haaren ähneln, verglichen.



3. *Abnahme eines Fingerabdrucks*

Als nächstes sollen sie die Terrakotta-Figur auf Fingerabdrücke untersuchen. Hierfür stehen ihnen Puder, Pinsel und Klebeband zur Verfügung. Die Abnahme wird nach folgendem Schema durchgeführt:



Um die Methode des Fingerabdruckabnehmens richtig zu beherrschen, werden die Schüler zunächst ihre eigenen Fingerabdruck abnehmen. Dafür müssen sie den Finger auf eine Glasscheibe drücken. Diese sollen sie nun nach nachfolgendem Fingerabdrucksystem einordnen.



Als nächstes soll die Figur auf Fingerabdrücke untersucht werden und deshalb mit dem Rußpulver eingepudert werden. Die Fingerabdrücke werden sofort schon auf der Figur sichtbar.

Da es jeder Gruppe möglich sein soll, Fingerabdrücke abzunehmen, muss für jede Gruppe eine eigene Figur zur Verfügung stehen. Es ist somit wichtig, dass der Betreuer darauf achtet, am Ende jeder Durchführung **die Figuren auszutauschen**.

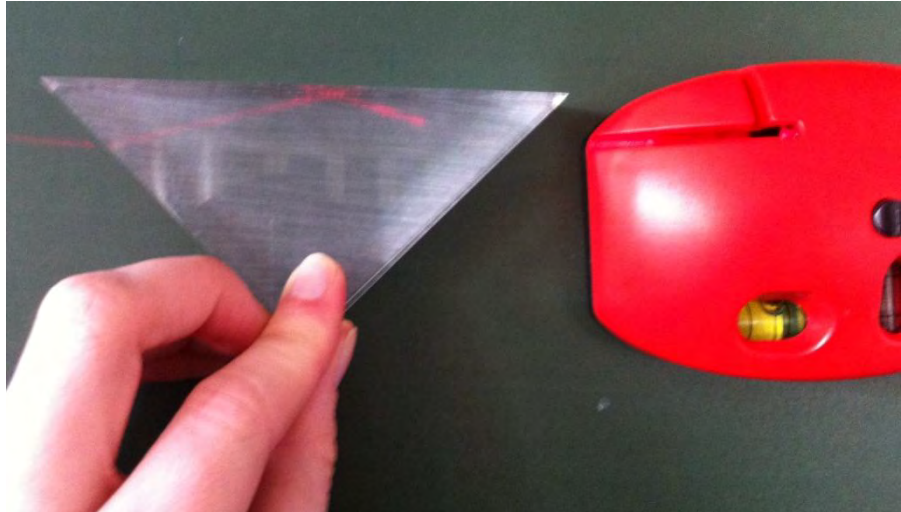
4. Vergleichsmikroskop

Zuletzt führen sie Versuche mit Prismen durch, bei dem sie diese mit einem Laser bestrahlen und beobachten, wie der Strahl umgelenkt wird.



1.

8. ANHANG

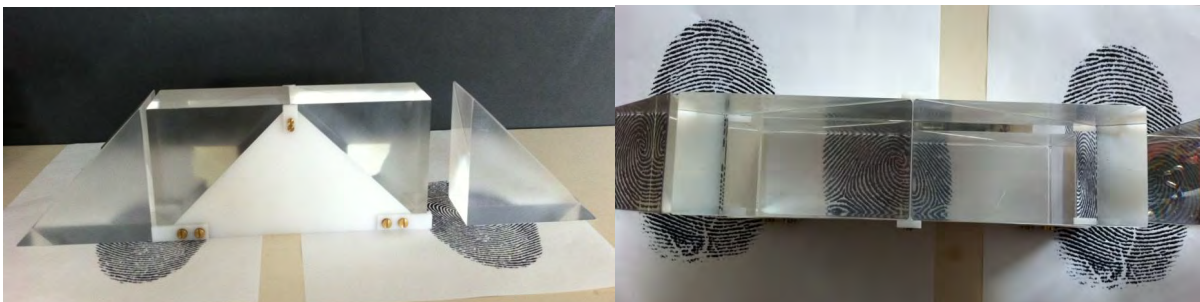


2.



3.

Mittels Stellung 1 kann das Modell des Vergleichsokulars nun verstanden und angewandt werden. Sie können nun selbst Fingerabdrücke, welche sie zuvor abgenommen haben mit denen der Verdächtigen unter dem Modell des Vergleichsmikroskops vergleichen.

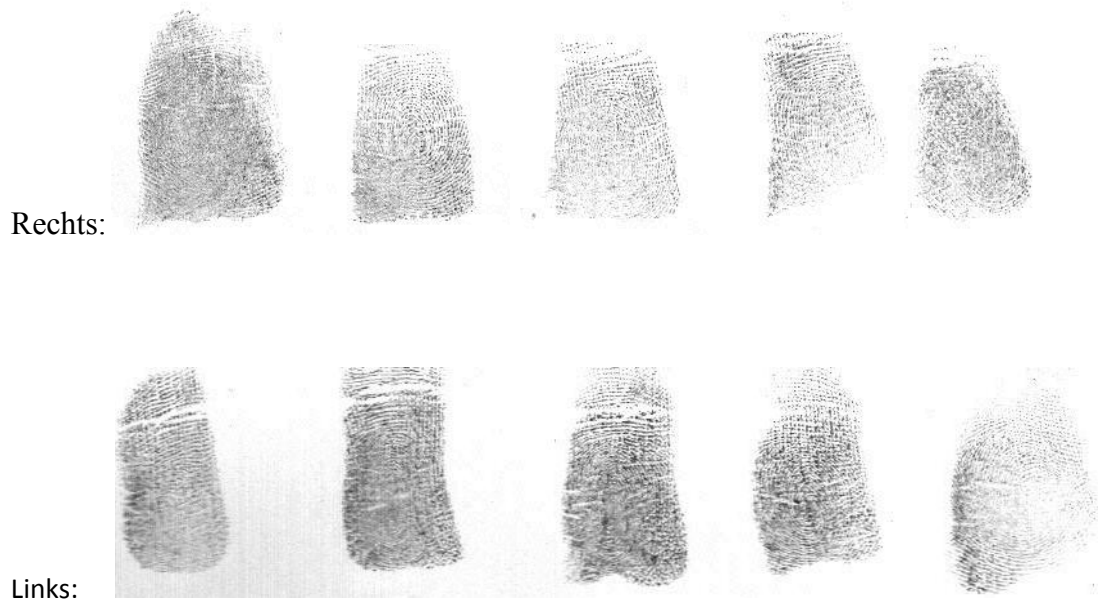


Hierbei ist es wichtig, dass die Schüler zuerst die Fingerabdrücke der Verdächtigen betrachten und überlegen zu welchem Verdächtigen sie passen könnten, bevor sie sie unter dem Mikroskop vergleichen. Haben sie in den vorherigen Stationen schon Indizien auf einige Verdächtige gehabt? Macht sie darauf aufmerksam, dass sie **besonders diese Fingerabdrücke** als Vergleich benutzen.



Fingerabdrücke

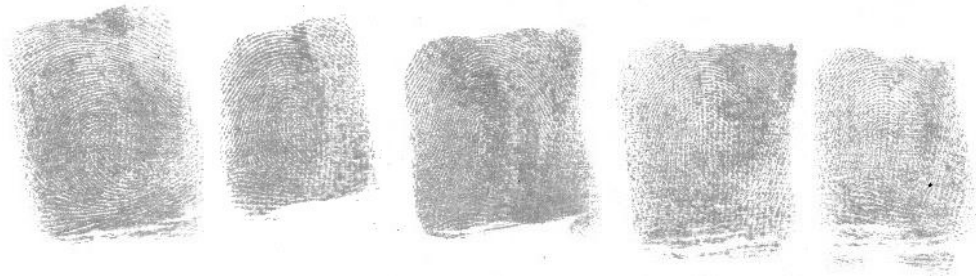
- **Jan Mut**



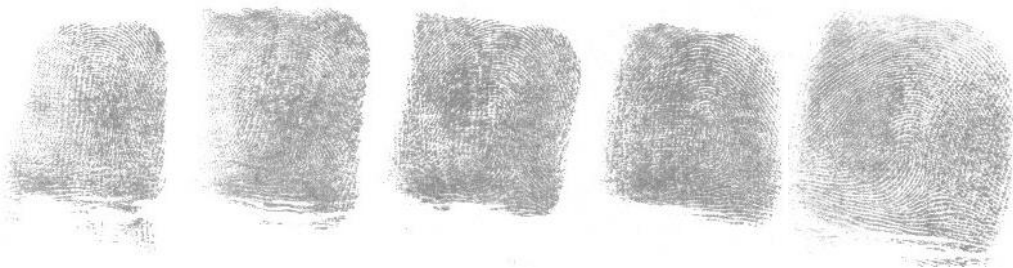
- **Sarah Peter**



- **Paul Übel**



Rechts:

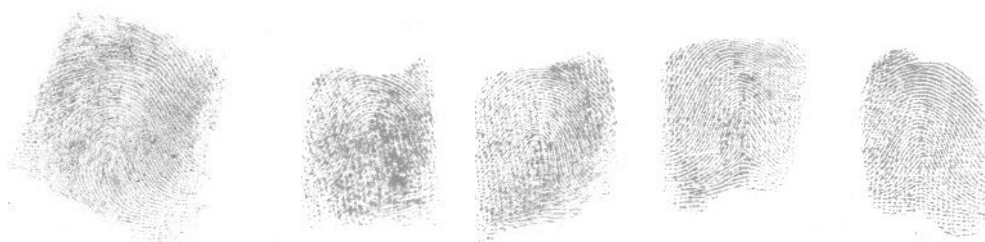


Links:

- **Anna Weit**



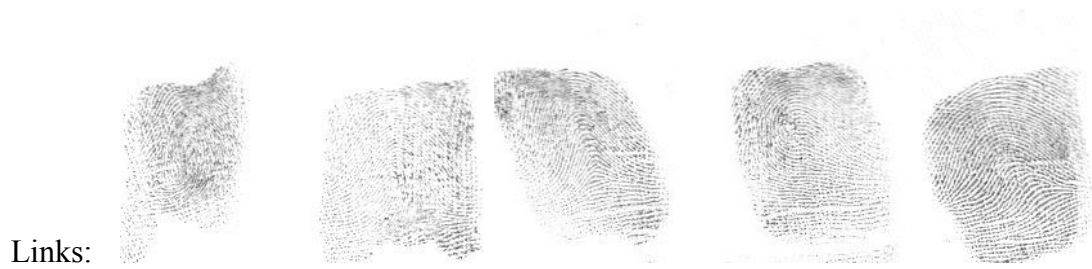
Rechts:



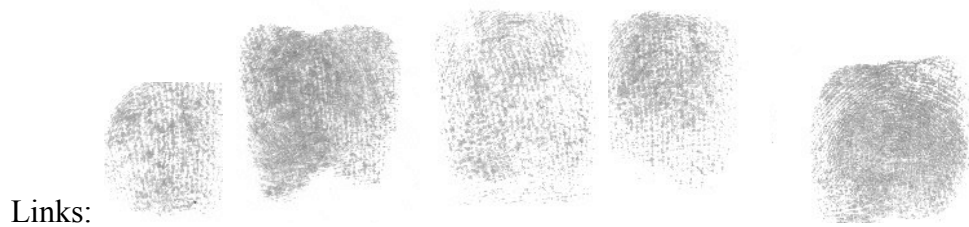
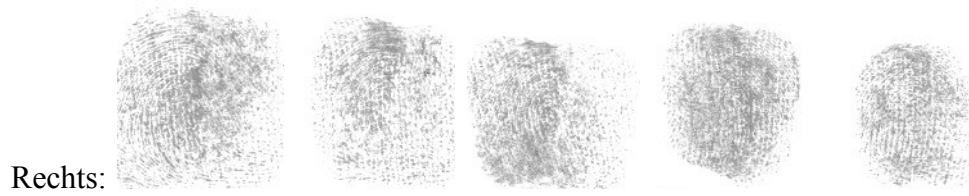
Links:

8. ANHANG

• **Hans Weit**



• **Katja Willer**



9. DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Menschen bedanken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Zunächst gilt mein besonderer Dank meinem Betreuer Dr. Thomas Wilhelm, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und mit vielen Anregungen das Schülerlabor Physik und Kriminalistik unterstützt hat.

Auch möchte ich mich bei der Lehrkraft Herr Raum und seiner neunten Klasse bedanken, welche das Schülerlabor besuchten und mir das Auswerten, durch Einsammeln der ausgefüllten Bögen, erleichterten.

Mein Dank gilt auch den studentischen Betreuern Markus Sauer, Patrick Frank, Wolfgang Lutz, Frank Bauermees, Gabi Kubacki sowie Tina Stripp für die Betreuung des Schülerlabors. Ohne sie wäre die Durchführung des Schülerlabors nicht möglich gewesen!

Weiterhin möchte ich dem Lehrstuhlmitarbeiter Markus Elsholz danken, der mir die Benutzung der Räume des M!ND-Centers ermöglichte.

Außerdem möchte ich mich zusätzlich noch bei Kathrin Löffler für die Unterstützung und für zahlreiche Tipps während der Erstellung der Stationen bedanken.

Auch der Werkstatt, die mir das Modell des Vergleichsokulars gebaut hat, ist zu danken.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Rainer Schott von der Polizeiinspektion Würzburg-Ost für die Bereitstellung der Utensilien zur Abnahme von Fingerabdrücken und für die Patronenhülsen.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Mutter Rita Ottenthal für die zahlreichen Stunden bedanken, die sie damit verbracht hat, etliche Rechtschreib-, Satz- und Grammatikfehler zu finden, und auch all denen die ihre Fingerabdrücke und Haare zur Verfügung gestellt haben ist zu danken.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Freund Manuel Lopez. Ohne seine Unterstützung wäre die Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen. Danke für deine konstruktiven Ideen, deine Hilfe beim Aufbau, dein Verständnis, deine Geduld und deine Unterstützung während der gesamten Zeit!

Schließlich möchte ich noch meinen Eltern für die Unterstützung während meines kompletten Studiums danken

Vielen Dank

10. SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Zeichnungen, Kartenskizzen und bildliche Darstellungen habe ich, soweit nicht anders angegeben, selbst angefertigt.

Würzburg, den 24.02.2012

(Ines-Maria Ottohal)