



Technische Universität München
TUM School of Education

TUM Science Labs

Gefördert durch die

Deutsche Telekom Stiftung



Beugung und Brechung (BUB)

Versuch im Physikalischen Anfängerpraktikum



Bearbeitet von:

Andrea Bugl und Christian Clemens

Stand: 9. März 2012

Zielgruppe Dieses Angebot eignet sich besonders für Schüler/-innen der gymnasialen Oberstufe und der Berufsschule, die Physik als naturwissenschaftliches Fach gewählt haben.

Gruppenstärke Dieser Versuch ist für eine Gruppenstärke von sechs bis neun Personen ausgelegt und sollte mit einer Führung am „Max-Planck-Institut für Quantenoptik“ kombiniert werden. Es können jedoch auch zwölf bis 18 Personen teilnehmen, da diese dann auf zwei unterschiedliche Versuche aufgeteilt werden. Größere Gruppen mit bis zu 36 Personen sind auch möglich, und werden dementsprechend auf zwei unterschiedliche Führungen sowie Versuche aufgeteilt.

Zeitplan Der Tagesablauf eines Science Labs besteht aus einer Versuchsdurchführung (90 min) und einer Führung an einem Forschungsinstitut (90 min) am Vormittag, sowie der Auswertung des Versuchs (2,5 h) im Mathematik-Rechnerraum am Nachmittag. Das Programm beginnt somit üblicherweise um 9 Uhr und endet um 16 Uhr, wobei eine halbstündige Mittagspause vorgesehen ist. Der detaillierte Zeitplan hängt jedoch stark von der Gruppengröße ab und muß daher individuell festgelegt werden.

Erforderliche Grundlagen Die vorliegende Anleitung beschreibt einen Versuch, der Bezug auf den Abschnitt: „Elektromagnetische Schwingungen und Wellen“ des bayerischen Lehrplans nimmt. Sie folgt den Ausführungen des Schulbuchs *Metzler Physik* und setzt die dort erarbeiteten Grundlagen als geläufig voraus. Insofern sind die Science Labs ein weiterführendes Angebot, welches auf dem Schulstoff aufbaut und somit über diesen in einem gewissen Rahmen auch hinausgeht. So sind die angebotenen Versuche zum Teil durchaus anspruchsvoll, da durch eigenständiges Experimentieren und themenbezogene Besichtigungen an die moderne Forschung herangeführt werden soll. Die Schüler/-innen sollen sich jedoch nicht durch kompliziertere Formeln und Zusammenhänge abschrecken lassen, da sie während der Versuchsdurchführung und -auswertung umfassend von Studierenden betreut werden.

Lernziele Die Schüler/-innen lernen

- den Aufbau eines Versuchs im Physikalischen Anfängerpraktikum,
- das eigenständige Experimentieren,
- das Protokollieren ihres Versuchs und
- die Auswertung eines eigenständig durchgeführten Versuchs.

Arbeitsunterlagen und -mittel Die Bearbeitung der gestellten Aufgaben erfordert die folgenden Arbeitsunterlagen und -mittel, die die Schüler/-innen am Besuchstag bitte selbst mitbringen: diese Versuchsanleitung, einen Schreibblock sowie Stifte, einen Taschenrechner und ggf. eine Digitalkamera oder ein Mobiltelefon mit Photofunktion zur Illustration der gemeinsamen Ausarbeitung. (USB-Kabel und ein Kartenlesegerät stehen zur Verfügung.)

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	4
1.1. Vorwissen	4
1.2. Grundlagen	5
1.2.1. Beugung	5
1.2.1.1. Huygens-Prinzip	5
1.2.1.2. Beugung am Gitter	5
1.2.1.3. Beugung am Spalt	6
1.2.1.4. Beugung am realen Gitter	8
1.2.1.5. Auflösungsvermögen optischer Instrumente	8
1.2.2. Brechung	9
1.2.2.1. Snellius'schen Brechungsgesetz und Brechungsindex	9
1.2.2.2. Winkel der minimalen Ablenkung eines Prismenspektroskops	9
2. Versuchsaufbau	10
2.1. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Spalt	10
2.2. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Gitter	11
2.3. Bestimmung des Brechungsindex mit einem Prismenspektroskop	11
3. Versuchsdurchführung	12
3.1. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Spalt	12
3.2. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Gitter	13
3.3. Bestimmung des Brechungsindex mit einem Prismenspektroskop	13
3.3.1. Bestimmung des Prismenwinkels	13
3.3.2. Bestimmung des Winkels der minimalen Ablenkung	14
4. Versuchsauswertung	15
4.1. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Spalt	15
4.2. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Gitter	16
4.3. Bestimmung des Brechungsindex mit einem Prismenspektroskop	16
5. Forschungspräsentation	17

1. Einführung

1.1. Vorwissen

Folgende Begriffe sollten Ihnen für diesen Versuch geläufig sein:

- Gangunterschied
- Huygens-Prinzip
- Fraunhofer-Beugung
- Kohärenz und Interferenz

Sie sollten folgende Fragen beantworten können:

- Unter welchen Bedingungen sind Beugungsphänomene beobachtbar?
- Was versteht man in diesem Zusammenhang unter den Begriffen: Hauptmaximum, Nebenmaximum und Minimum?
- Wie setzt sich das Beugungsbild eines realen Gitters aus dem Beugungsbild eines idealen Gitters und eines Spalts zusammen? Warum ist das so?
- Was versteht man unter dem spektralen Auflösungsvermögen $U = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$?
- Was versteht man unter Dispersion?
- Welches physikalische Gesetz beschreibt die unten stehende Gleichung? Welche physikalische Größen werden hier in einen Zusammenhang gebracht?

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$$

- Was versteht man bei einem Prismenspektroskop unter dem Winkel der minimalen Ablenkung?

Zusatzfragen:

- Mit welcher Lichtquelle lassen sich Interferenzerscheinungen am besten demonstrieren und warum?
- Wodurch kann das Auflösungsvermögen eines Prismenspektrometers in der Praxis begrenzt sein?
- Ist der Verlauf der Funktion $n(\lambda)$ linear?

Recherchieren Sie vor dem Praktikum:

- Wie groß ist die Geschwindigkeit von Licht im Glas?
- Nimmt der Brechungsindex von Flintglas vom roten zum blauen Spektralbereich zu oder ab?

1.2. Grundlagen

In diesem Versuch werden die Beugung und die Brechung von Licht untersucht. Beide Phänomene lassen sich zur räumlichen Trennung unterschiedlicher Wellenlängen in einem Lichtbündel verwenden. Für die Beschreibung der Beugung ist die Wellennatur des Lichts wichtige Voraussetzung. Dagegen ist für die Behandlung der Brechung die Annahme unterschiedlicher Brechungsindexe in unterschiedlichen Medien und somit die geometrische Optik ausreichend.

1.2.1. Beugung

Im ersten Teil des Versuchs wird die Beugungseigenschaft von Licht am Spalt und am Gitter untersucht.

1.2.1.1. Huygens-Prinzip

Liegt die lineare Ausdehnung von Körpern oder Öffnungen in der Größenordnung der Lichtwellenlänge λ , sind Beugungsphänomene beobachtbar. Die geometrische Optik, die für $\lambda \rightarrow 0$ den Grenzfall der Wellenoptik bildet, ist dann nicht mehr anwendbar. Das Huygens-Prinzip dient als Grundlage für die mathematische Behandlung der Beugung: Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle. Diese Elementarwellen interferieren.

Im vorliegenden Experiment werden einfallende und beobachtete Lichtbündel als parallel angenommen. D.h. man betrachtet die Beugungserscheinung in großer Entfernung vom beugenden Objekt (Fernfeld), man spricht in diesem Fall von Fraunhofer-Beugung.

1.2.1.2. Beugung am Gitter

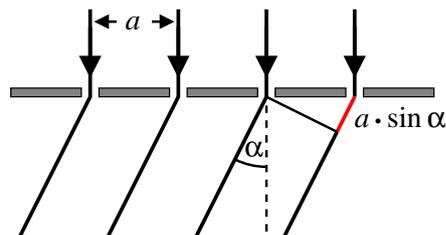


Abb. 1: Beugung am Gitter

Auf ein Gitter mit N Spalten, die den Abstand a voneinander haben, trifft paralleles, monochromatisches Licht mit der Wellenlänge λ (vgl. Abb. 1). Von jedem Spalt des Gitters breitet sich nun eine Elementarwelle in den Raum hinter dem Gitter aus. Betrachtet man das Gitter unter dem Winkel α so besteht zwischen zwei Wellen, die von benachbarten Spalten ausgehen, ein Gangunterschied Δs gemäß:

$$\Delta s = a \cdot \sin \alpha , \quad (1.1)$$

und damit eine Phasendifferenz δ gemäß:

$$\delta = 2\pi \frac{a}{\lambda} \sin \alpha . \quad (1.2)$$

Addiert man die Amplituden der Einzelwellen mit dem Betrag A' auf¹, so erhält man für die Amplitudenverteilung $A(\alpha)$:

$$A(\alpha) = A' \cdot \frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)} = A' \cdot \frac{\sin(\pi N \frac{a}{\lambda} \sin \alpha)}{\sin(\pi \frac{a}{\lambda} \sin \alpha)} . \quad (1.3)$$

Die Intensitätsverteilung $J(\alpha)$ des Lichts ist proportional zum Quadrat der Amplitudenverteilung $A(\alpha)$:

$$J(\alpha) \propto A'^2 \cdot \frac{\sin^2(N\delta/2)}{\sin^2(\delta/2)} = A'^2 \cdot \frac{\sin^2(\pi N \frac{a}{\lambda} \sin \alpha)}{\sin^2(\pi \frac{a}{\lambda} \sin \alpha)} . \quad (1.4)$$

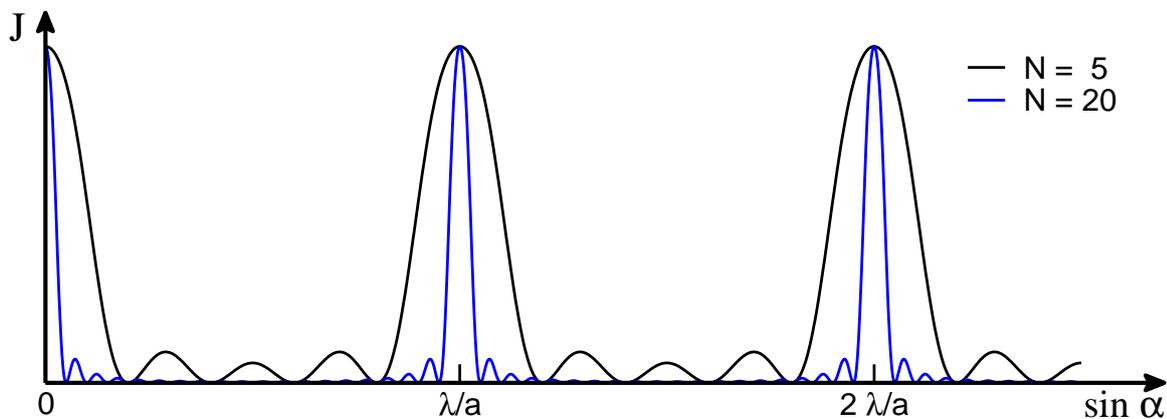


Abb. 2: Beugungsbild eines Gitters für unterschiedliche Anzahl N der Spalte

In Abb. 2 ist das Beugungsbild für zwei verschiedene Anzahlen $N = 5$ und $N = 20$ von Gitterspalten dargestellt. Hier werden die Hauptmaxima mit steigender Anzahl N der Gitterspalte schärfer.

Ist der Gangunterschied Δs zweier benachbarter Teilwellen gerade ein ganzzahliges Vielfaches n der Wellenlänge λ , d.h. $\Delta s = n \cdot \lambda$, so ergibt sich konstruktive Interferenz und man erhält an diesen Winkeln α die Hauptmaxima der Intensitätsverteilung $J(\alpha)$. Zwischen zwei Hauptmaxima gibt es $N - 1$ Minima. Man nummeriert die Maxima und Minima beginnend mit $n = 0$ für den ungebeugten Strahl durch, wobei n auch als Ordnung bezeichnet wird.

$$\text{(Hauptmaxima)} \quad n \cdot \lambda = a \cdot \sin \alpha \quad (1.5)$$

$$\text{(Minima)} \quad n \cdot \lambda = N \cdot a \cdot \sin \alpha \quad (1.6)$$

1.2.1.3. Beugung am Spalt

Ein Spalt der Breite d , der durch ein Parallelbündel beleuchtet wird, kann man als ein Gitter aus unendlich vielen und unendlich dichten Spalten auffassen (vgl. Abb. 3). Für den Spaltabstand a dieses Gitters und die Anzahl n der Gitterspalte muss dabei $n \cdot a = d$ gelten. Die Intensitätsverteilung $J(\alpha)$ berechnet sich in diesem Fall analog zu Gl. 1.4 wie folgt:

¹Dies ist eine längere Rechnung, die hier nicht vorgeführt werden soll.

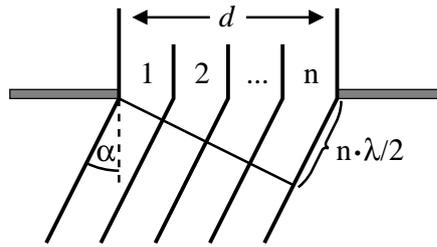


Abb. 3: Beugung am Spalt

$$J(\alpha) \propto \left(A' \cdot \frac{\sin(\pi \frac{d}{\lambda} \cdot \sin \alpha)}{\pi \frac{d}{\lambda} \cdot \sin \alpha} \right)^2 . \quad (1.7)$$

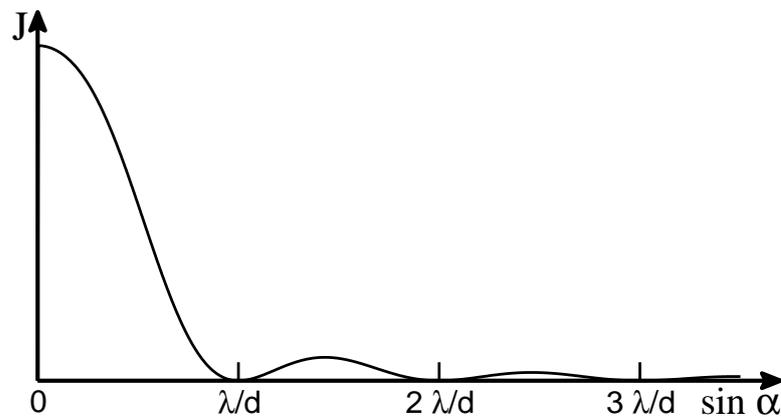


Abb. 4: Beugungsbild eines Spalts

Im Gegensatz zum Gitter nehmen die Beugungsmaxima sehr schnell an Höhe ab (vgl. Abb. 4). So hat das erste Nebenmaximum nur noch etwa 5% der Intensität des Hauptmaximums.

Als qualitative, anschauliche Erklärung für die Entstehung der Minima und Maxima kann man sich Folgendes überlegen: Man betrachtet den Spalt aus einer Richtung, in der der Gangunterschied Δs der beiden Randstrahlen ein Vielfaches n der halben Wellenlänge, d.h. $\Delta s = n \cdot \lambda/2$, aufweist. Hier kann man sich das Lichtbündel in n Gitterspalte zerlegt vorstellen, von denen jeder auf den vorangehenden Gitterspalt einen Gangunterschied Δs von $\lambda/2$ hat (vgl. Abb. 3). Es löschen sich dann der erste und der zweite Gitterspalt gegenseitig aus, ebenso der dritte und der vierte, ... Bei einer geraden Anzahl n der Gitterspalte erhält man folglich ein Minimum. Bleibt ein Gitterspalt übrig, so erhält man dagegen ein Helligkeitsmaximum. Diese Maxima liegen näherungsweise in der Mitte zwischen den Minima. (In den beiden folgenden Formeln bezeichnet n die Ordnung der Maxima und Minima und nicht die Anzahl der Gitterspalte.)

$$\left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \simeq d \cdot \sin \alpha \quad (\text{Maxima}) \quad (1.8)$$

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha \quad (\text{Minima}) \quad (1.9)$$

1.2.1.4. Beugung am realen Gitter

Bei der Betrachtung des Gitters in Kap. 1.2.1.2. wurde angenommen, dass von den Spalten „einzelne“ Kugelwellen ausgehen. Für ein reales Gitter muss jedoch die endliche Ausdehnung d der Gitterspalte berücksichtigt werden. Dadurch ist das Beugungsbild eines realen Gitters die Überlagerung der Beugungsbilder des idealen Gitters (vgl. Gl. 1.4) und des Spalts (vgl. Gl. 1.7). Für die Intensitätsverteilung $J(\alpha)$ ergibt sich demnach:

$$J(\alpha) \propto \underbrace{\left(A' \cdot \frac{\sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin \alpha)}{\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin \alpha} \right)^2}_{\text{Spalteinfluss}} \cdot \underbrace{A'^2 \cdot \frac{\sin^2(\pi N \frac{a}{\lambda} \sin \alpha)}{\sin^2(\pi \frac{a}{\lambda} \sin \alpha)}}_{\text{Gittereinfluss}}. \quad (1.10)$$

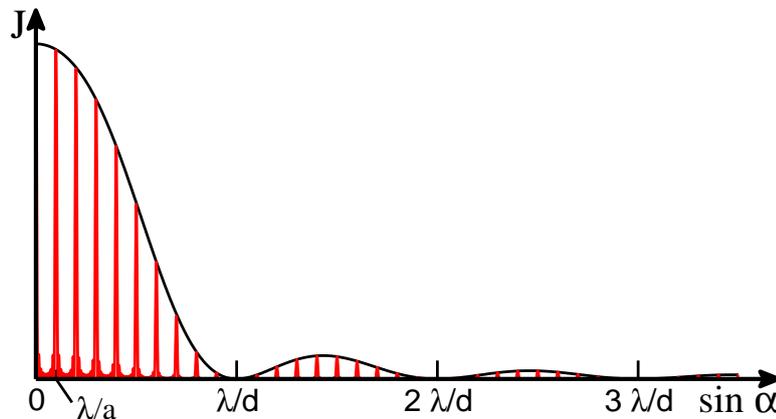


Abb. 5: Beugungsbild eines realen Gitters

Das resultierende Beugungsbild eines realen Gitters ist in Abb. 5 dargestellt.

1.2.1.5. Auflösungsvermögen optischer Instrumente

Spektrale Auflösung: Wegen der Abhängigkeit der Beugungsrichtung von der Wellenlänge λ eignet sich das Gitter zur Spektralanalyse des Lichts (Gitterspektrometer). Unter dem spektralen Auflösungsvermögen $U = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ eines Gitterspektrometers versteht man dessen Fähigkeit, zwei benachbarte Wellenlängen, λ und $\lambda + \Delta\lambda$, noch erkenntlich zu trennen. Dies ist erreicht, wenn das Beugungsmaximum der Wellenlänge λ in das Minimum der Wellenlänge $\lambda + \Delta\lambda$ fällt. Für das Gitterspektrometer ergibt sich dann:

$$U = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = n \cdot N. \quad (1.11)$$

Das spektrale Auflösungsvermögen U steigt also mit der Ordnung n und der Anzahl N der vom Licht durchsetzten Gitterspalte.

Ortsauflösung: Jedes optische Instrument (Fernrohr, Mikroskop usw.) besitzt ein Ortsauflösungsvermögen A . Es beschreibt, welchen minimalen Abstand zwei Punkte, die Licht der Wellenlänge λ aussenden, voneinander haben müssen, damit sie getrennt beobachtet werden können. Die Beugung ist für einen endlichen Wert dieses Ortsauflösungsvermögens verantwortlich. An vielen Stellen des Instruments, z.B. an der Linsenfassung eines Fernrohrs,

wird das einfallende Licht gebeugt. Ein Lichtpunkt wird dadurch in ein „Beugungsscheibchen“ abgebildet und somit unscharf. Durch Vergrößern des Objektivdurchmessers kann man diese „Randeffekte“ reduzieren. Außerdem nimmt die Größe des „Beugungsscheibchens“ mit kleiner werdender Wellenlänge λ ab. Das Ortsauflösungsvermögen A eines optischen Geräts ist daher proportional $A \propto D/\lambda$, wobei D für den Durchmesser der jeweiligen Objektivlinse steht.

1.2.2. Brechung

Um die Lichtbrechung zu erklären, ist die Welleneigenschaft des Lichts nicht erforderlich. Hier genügt es anzunehmen, dass sich Licht in verschiedenen Medien mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausbreitet. Diese Ausbreitungsgeschwindigkeit kann je nach Material von der Wellenlänge des Lichts abhängen (Dispersion).

1.2.2.1. Snellius'schen Brechungsgesetz und Brechungsindex

Licht breitet sich in einem Medium mit der Geschwindigkeit c_m aus. Der Brechungsindex n gibt das Verhältnis dieser Geschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit c_0 im Vakuum an:

$$n = \frac{c_0}{c_m} . \quad (1.12)$$

Der Brechungsindex n hängt von der Wellenlänge λ und dem jeweiligen Material ab. Beim Übergang von einem Medium 1 mit dem Brechungsindex n_1 in ein Medium 2 mit dem Brechungsindex n_2 tritt Brechung auf, d.h. die Ausbreitungsrichtung des Lichts ändert sich. Nach dem Snellius'schen Brechungsgesetz gilt:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2} . \quad (1.13)$$

Darin ist α_1 der Einfallswinkel (gegen das Lot) eines Lichtstrahls im Medium 1 und α_2 der Austrittswinkel des Lichtstrahls im Medium 2. $c_{1,2}$ sind die Lichtgeschwindigkeiten in den entsprechenden Medien.

1.2.2.2. Winkel der minimalen Ablenkung eines Prismenspektroskops

Eine Möglichkeit, den Brechungsindex $n(\lambda)$ für eine bestimmte Wellenlänge λ und für ein bestimmtes Material zu ermitteln, ergibt sich aus dem Winkel δ_{\min} der minimalen Ablenkung eines Lichtstrahls durch ein Prisma. Wir betrachten hierfür den Strahlengang durch ein gerades Dreiecksprisma nach Abb. 6. Der Winkel δ_{\min} der minimalen Ablenkung stellt sich ein, wenn der Strahlengang durch das Prisma symmetrisch ist, also: $\alpha_1 = \beta_1$ und $\alpha_2 = \beta_2$. Zudem gilt aufgrund der Eigenschaften von Nebenwinkeln und der Winkelsumme im Dreieck gemäß dem Ansatz $180^\circ - 90^\circ - \alpha_2 = (180^\circ - \epsilon)/2$ folgende Beziehung:

$$\alpha_2 = \epsilon/2 . \quad (1.14)$$

Gemäß den Symmetriebeziehungen und nach Gl. 1.14 folgt aus dem Ansatz $\delta_{\min} = (\alpha_1 - \alpha_2) + (\beta_1 - \beta_2)$ für den Winkel δ_{\min} der minimalen Ablenkung:

$$\delta_{\min} = 2\alpha_1 - \epsilon . \quad (1.15)$$

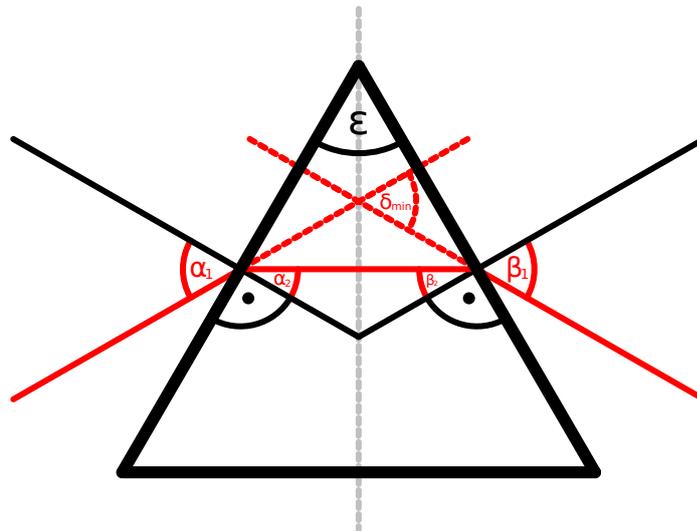


Abb. 6: Strahlengang durch ein Prisma. Wichtige Größen sind der Prismenwinkel ϵ , der Einfallswinkel α_1 , der Austrittswinkel β_1 und der Winkel δ_{\min} der minimalen Ablenkung.

Das Snellius'schen Brechungsgesetz (vgl. Gl. 1.13) lautet für den dargestellten Fall mit $n_1 = 1$ für Luft und $n_2 = n$ für das Prismenmaterial:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n . \quad (1.16)$$

Daraus folgt mit Gl. 1.14 und Gl. 1.15:

$$n = \frac{\sin \left(\frac{\delta_{\min} + \epsilon}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\epsilon}{2} \right)} . \quad (1.17)$$

Durch Messung des Winkels δ_{\min} der minimalen Ablenkung und des Prismenwinkels ϵ lässt sich so bei bekannter Wellenlänge λ der Brechungsindex $n(\lambda)$ des Prismenmaterials ermitteln.

2. Versuchsaufbau

2.1. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Spalt

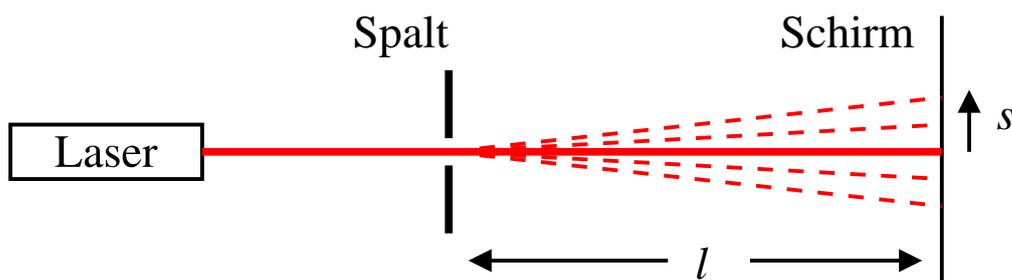


Abb. 7: Versuchsaufbau am Spalt

Ein Laser erzeugt ein paralleles Lichtbündel und leuchtet einen Spalt möglichst gleichmäßig aus. Das vom Spalt erzeugte Beugungsbild wird im Abstand l hinter dem Spalt auf einem Schirm betrachtet. Als Schirm dient ein transparenter Papierstreifen, der an einer Halterung befestigt wird. Als Abstand s wird die Entfernung zwischen dem ungebeugten Strahl und den jeweiligen Beugungsmaxima und -minima bezeichnet (vgl. Abb. 7).

2.2. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Gitter

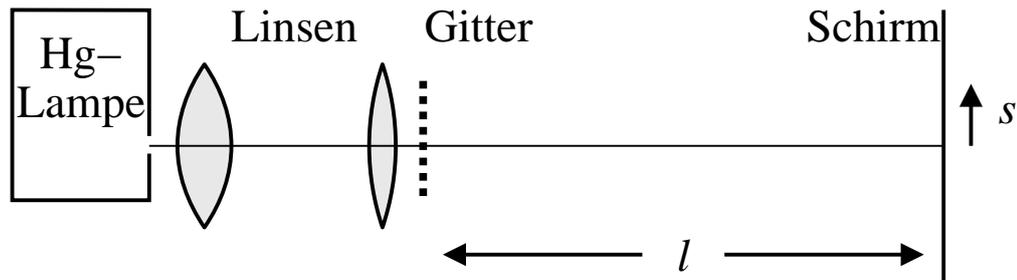


Abb. 8: Versuchsaufbau am Gitter

Eine Hg-Dampflampe emittiert einen Lichtkegel, aus dem durch einen 0,5 mm breiten Spalt ein annähernd paralleles Lichtbündel ausgeschnitten wird. Dieses Lichtbündel wird mittels zweier Linsen¹ aufgeweitet und auf einen Schirm, der aus einem transparenten Papierstreifen besteht, fokussiert. Im Strahlengang befindet sich ein Gitter, an dem das Licht beim Durchtritt gebeugt wird. Die Entfernung zwischen dem Gitter und dem Schirm wird als Abstand l bezeichnet. Als Abstand s wird die Entfernung zwischen dem ungebeugten Strahl und den jeweiligen Beugungsmaxima und -minima bezeichnet. Das hier verwendete Gitter hat eine Gitterkonstante von $a = 10,00 \mu\text{m}$ (vgl. Abb. 8).

2.3. Bestimmung des Brechungsindex mit einem Prismenspektroskop

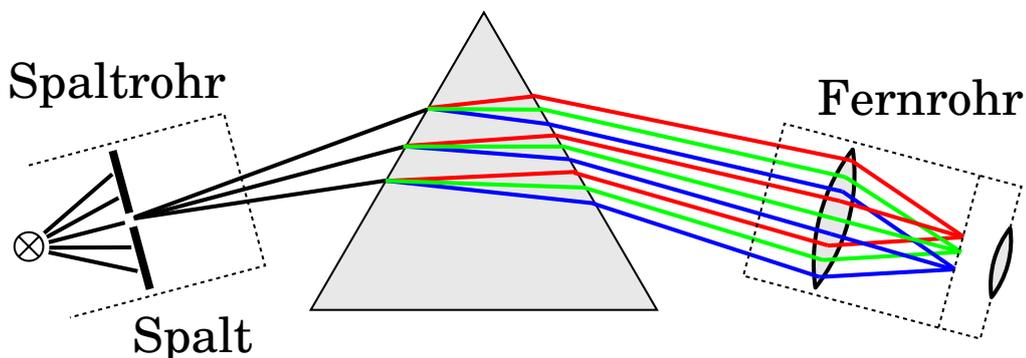


Abb. 9: Aufbau eines Prismenspektroskops für sichtbares Licht

Der Aufbau eines Prismenspektroskops ist in Abb. 9 dargestellt. Das Kernbauteil ist ein gerades Dreiecksprisma aus einem lichtbrechenden Stoff. Es hat zwei polierte Flächen, die

¹Warum zwei Linsen?

vom Licht durchstrahlt werden. Sie schließen den Prismenwinkel ϵ ein. Das Prisma ist auf einer drehbaren Halterung angebracht, sie kann mit einer Feststellschraube arretiert werden. An dieser Halterung ist eine Winkelskala angebracht, die sich mit der Halterung dreht. Ein Fernrohr kann unabhängig von der Stellung der Prismenhalterung um die Anordnung herum bewegt werden. Die relative Stellung des Fernrohrs zur Prismenhalterung kann mit einem Nonius auf einer Winkelskala abgelesen werden.

Das von der Lichtquelle ausgehende Licht trifft durch einen variabel einstellbaren Spalt auf das Prisma. Beim Durchgang durch das Prisma wird es um einen definierten Winkel abgelenkt. In Richtung des abgelenkten Lichtbündels kann man durch das Fernrohr ein scharfes Bild des Spalts beobachten. Der Winkel, um den das Licht abgelenkt wird, variiert aufgrund der Dispersion des Prismenmaterials mit der Lichtwellenlänge λ . Für jede Wellenlänge λ ergibt sich so ein Bild des Spalts. Diese Spaltbilder erscheinen im Teleskop gegeneinander seitlich verschoben.

Im Idealfall trifft das einfallende Licht parallel auf das Prisma. Dies ließe sich durch eine Sammellinse, deren Brennpunkt im Spalt liegt, erreichen. Dies ist in diesem Versuch jedoch nicht realisiert.

3. Versuchsdurchführung

In der Wissenschaft ist das Erstellen eines detaillierten Versuchsprotokolls sehr wichtig, denn es macht den Ablauf Ihrer Arbeit für eine spätere Auswertung nachvollziehbar. Ebenso ist eine lückenlose Dokumentation wichtig, falls ein Experiment z.B. aufgrund neuer Erkenntnisse wiederholt werden soll. Auch können bei längeren Experimenten Probleme auftauchen, und Ihre Partner müssen die genaue Vorgeschichte nachlesen können. So ist in erster Linie der Inhalt des Protokolls wichtig, nicht seine äußere Form. Allerdings soll es auch für andere nachvollziehbar sein und muß deshalb übersichtlich und sauber geführt werden.

Skizzieren Sie zunächst den Versuchsaufbau sowie ggf. einen Schaltplan und beschriften Sie die Zeichnung mit relevanten Informationen (z.B.: Abmessungen, verwendete Substanzen, ...). Alle weiteren Eintragungen in Ihr Versuchsprotokoll müssen zeitnah und deshalb während der Versuchsdurchführung erfolgen: Schreiben Sie sich hierzu wichtige Beobachtungen auf und dokumentieren Sie alle erforderlichen Versuchsparameter (z.B.: Ströme, Spannungen, Widerstände, ...) zusammen mit den Einstellungen der Netzteile und Messgeräte (z.B.: Strom-, Spannungsbereiche, Wechsel- oder Gleichspannung, ...). Vergessen Sie dabei bitte nicht Ihre Messwerte aufzuschreiben! Notieren Sie sich ferner auch Ideen bzw. Dinge, die Sie nicht verstehen.

3.1. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Spalt

Die Wellenlänge λ eines Lasers soll durch Beugung am Spalt gemäß des in Kap. 2.1. beschriebenen Aufbaus bestimmt werden.

1. Stellen Sie einen optimalen Abstand l zwischen Spalt und Schirm ein. Achten Sie darauf, dass die ersten fünf Minima gut sichtbar sind.

2. Messen Sie für diesen Abstand l jeweils die Abstände s_n der Minima gleicher Ordnung n auf beiden Seiten des 0. Maximums. Nehmen Sie diese Abstände mindestens bis zum Minimum der 5. Ordnung auf.
3. Dokumentieren Sie alle für die spätere Auswertung notwendigen Parameter und Messwerte in Ihrem Versuchsprotokoll.

3.2. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Gitter

Die Wellenlängen λ_i der orangen, grünen und blauen Hg-Linie sollen durch Beugung am Gitter gemäß des in Kap. 2.2. beschriebenen Aufbaus bestimmt werden.

1. Stellen Sie die Linsen so ein, dass das gesamte Gitter möglichst hell ausgeleuchtet ist und gleichzeitig der Spalt der Hg-Dampfampe scharf auf den Schirm abgebildet wird. Justieren Sie die Höhe aller optischen Komponenten so, dass sie in einer Ebene liegen. Positionieren Sie die 2. Linse möglichst nah am Gitter um es gut auszuleuchten.
2. Wählen Sie den Abstand l so, dass die ersten fünf Hauptmaxima gut sichtbar sind. Markieren Sie für diesen Abstand l die Hauptmaxima bis zur 5. Ordnung auf beiden Seiten für die drei hellsten Farben: orange, grün und blau. Verwenden Sie den blauen Filter, um die schwachen blauen Hauptmaxima besser ablesen zu können. Die Beugungserscheinungen werden mit bloßem Auge von der Rückseite des Papierstreifens beobachtet.
3. Dokumentieren Sie alle für die spätere Auswertung notwendigen Parameter und Messwerte in Ihrem Versuchsprotokoll.

3.3. Bestimmung des Brechungsindex mit einem Prismenspektroskop

Der Brechungsindex n_i des verwendeten Prismenmaterials soll für die jeweiligen Wellenlängen λ_i der orangen, grünen und blauen Hg-Linie gemäß des in Kap. 2.3. beschriebenen Aufbaus bestimmt werden. Danach werden zwei Wellenlängen einer unbekanntes Spektrallampe durch Interpolation der vorher gewonnenen Brechungsindexe bestimmt.

3.3.1. Bestimmung des Prismenwinkels

1. Richten Sie nach Abb. 10 die Schnittkante der beiden polierten Prismenflächen in Richtung des Spalts aus. In dieser Stellung ist die Prismenhalterung mit der Feststellschraube zu arretieren.
2. Betrachten Sie diese Reflexionen an den beiden polierten Prismenflächen mit dem Fernrohr.
 - Stellen Sie zunächst die Beobachtungsrichtung des Fernrohrs grob auf den Reflex ein.
 - Stellen Sie das Bild des Spalts im Fernrohr durch verschieben des Okulars scharf. Um eine möglichst genaue Messung vornehmen zu können kann nun die Spaltbreite verkleinert werden bis die Scharten des Spalts zu sehen sind.

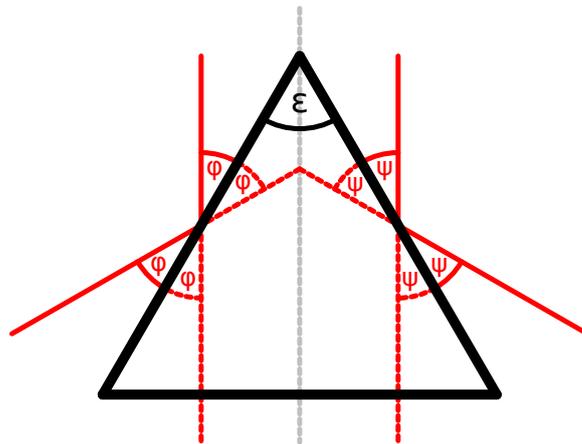


Abb. 10: Bestimmung des Prismenwinkels

- Richten Sie nun das Fernrohr mit Hilfe des eingebauten Fadenkreuzes exakt auf die Reflexion des Lichts aus dem Spalt aus und lesen Sie den Relativwinkel 2φ bzw. 2ψ zur Prismenhalterung in dieser Fernrohrposition ab.
 - Wiederholen Sie diesen Messvorgang mit dem zweiten Reflex auf der anderen Seite des Prismas. Achten Sie hierbei darauf, dass die Prismenhalterung arretiert bleibt.
3. Der gesuchte Prismenwinkel ϵ ergibt sich aus der Summe der halbierten Winkeln 2φ und 2ψ der beiden reflektieren Strahlen:

$$\epsilon = \varphi + \psi . \quad (3.1)$$

4. Dokumentieren Sie alle für die spätere Auswertung notwendigen Parameter und Messwerte in Ihrem Versuchsprotokoll.

3.3.2. Bestimmung des Winkels der minimalen Ablenkung

1. Verwenden Sie als Lichtquelle zunächst die Hg-Dampf Lampe.
2. Drehen Sie das Prisma so, dass das Licht, das an einer der polierten Seiten gebrochen wird, an der zweiten polierten Seite wieder austritt (vgl. Abb. 9). Hierbei ist es sinnvoll den Spalt zunächst wieder etwas zu öffnen und das gebrochene Lichtbündel mit einem Papier (z.B. dieser Praktikumsanleitung), das man als Schirm verwendet, zu beobachten. Ist das Prisma richtig ausgerichtet kann man auf dem Papier bereits die Spektralfarben erkennen.
3. Richten Sie nun das Teleskop auf das gebrochene Lichtbündel aus. Wie in der vorherigen Aufgabe in Kap. 3.3.1. stellt man das Teleskop scharf und reduziert die Spaltbreite. Hierbei sollten die beiden orangen Spektrallinien der Hg-Dampf Lampe klar voneinander zu unterscheiden sein.
4. Ermitteln Sie nun den Winkel δ_{\min} der minimalen Ablenkung für eine orange, die grüne und die blaue Spektrallinie der Hg-Dampf Lampe.

- Blicken Sie hierzu durch das Fernrohr und drehen Sie gleichzeitig die Halterung des Prismas. Die Spektrallinien bewegen sich mit dem Prisma. Diese Bewegung hat einen Extrempunkt, d.h. sie dreht sich um, wobei sich dieser Umkehrpunkt für die verschiedenen Spektralfarben unterscheidet. Arretieren Sie die Stellung des Prismenhalters, bei der sich die beobachtete Spektrallinie exakt im Umkehrpunkt befindet mit der Feststellschraube.
 - Richten Sie dann das Fernrohr mit Hilfe des Fadenkreuzes genau auf die beobachtete Spektrallinie aus und lesen Sie den eingestellten Winkel auf der Skala ab.
 - Da es sich bei dem abgelesenen Winkel nur um einen Relativwinkel handelt, müssen Sie noch die Richtung des eintretenden Lichtbündels bestimmen. Fassen Sie bitte nicht die polierten Flächen an, während Sie hierzu das Prisma vorsichtig aus seiner Halterung nehmen! Richten Sie das Fernrohr auf den Spalt aus und lesen Sie den zugehörigen Winkel ab. Der gesuchte Winkel δ_{\min} der minimalen Ablenkung ergibt sich aus der Differenz dieser beiden eingestellten Winkeln. Dieser Vorgang muss auch für jede Spektralfarbe separat durchgeführt werden, indem man die Winkelskala zusammen mit dem Prisma verdreht.
5. Bestimmen Sie den Winkel δ_{\min} der minimalen Ablenkung auch für zwei weitere Spektrallinien (beliebige Wahl) der unbekanntes Spektrallampe.
 6. Dokumentieren Sie alle für die spätere Auswertung notwendigen Parameter und Messwerte in Ihrem Versuchsprotokoll.

4. Versuchsauswertung

Fertigen Sie, wie in Kap. 5. beschrieben, als Versuchsauswertung bitte eine Forschungspräsentation an. Dokumentieren Sie hierzu Ihre Ergebnisse aus der Versuchsdurchführung, diskutieren Sie diese sowie gegebenenfalls entstandene Auffälligkeiten ausführlich.

4.1. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Spalt

Gl. 1.9 verknüpft die Wellenlänge λ mit dem Beugungswinkel α eines gemessenen Minimums, wobei n die Ordnung des Minimums und d die Breite des Spalts sind. Der Beugungswinkel α ergibt sich aus den gemessenen Abständen l und s zu:

$$\tan \alpha = \frac{s}{l}. \quad (4.1)$$

1. Zeigen Sie, dass die Kleinwinkelnäherung ($\alpha \simeq \sin \alpha \simeq \tan \alpha$) in diesem Versuch eine sinnvolle Näherung darstellt. Vergleichen Sie hierzu einen exakt berechneten Wert mit seinem genäherten Wert aus der Kleinwinkelnäherung.
2. Tragen Sie in einem Diagramm alle einzelnen Messungen s_n gegen die jeweilige Beugungsordnung n auf, dass die gesuchte Größe λ aus einer Ausgleichsgeraden

bestimmt werden kann. Beachten Sie dazu, dass die einzelnen Messungen gemäß Gl. 1.9 und bei Anwendung der Kleinwinkelnäherung auf einer Ursprungsgeraden $y = m \cdot x$ mit $m = \lambda$, $x = n$ und $y = d \cdot s_n/l$ liegen.

3. Ermitteln Sie nun die Wellenlänge λ des Lasers, indem Sie als Ausgleichsgerade eine Ursprungsgerade¹ durch die einzelnen Messungen legen und deren Steigung bestimmen.
4. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Literaturwert für die Wellenlänge des verwendeten Lasers.

4.2. Wellenlängenbestimmung durch Beugung am Gitter

Der Beugungswinkel α unter dem ein Hauptmaximum beobachtet wird, ergibt sich aus der Auslenkung s auf dem Papierstreifen und dem Abstand l zwischen Gitter und Schirm zu:

$$\tan \alpha = \frac{s}{l}. \quad (4.2)$$

Der Zusammenhang zwischen dem Beugungswinkel α eines Hauptmaximums und der Wellenlänge λ bei gegebener Ordnung n und gegebenem Spaltabstand a des Gitters ist durch Gl. 1.5 beschrieben.

1. Zeigen Sie, dass hier die Kleinwinkelnäherung für die Bestimmung der Beugung am Gitter zu ungenau ist. Vergleichen Sie hierzu einen exakt berechneten Wert mit seinem genäherten Wert aus der Kleinwinkelnäherung.
2. Tragen Sie in einem Diagramm - für jede Farbe getrennt - alle einzelnen Messungen s_n gegen die jeweilige Beugungsordnung n auf, dass die gesuchte Größe λ aus einer Ausgleichsgeraden bestimmt werden kann. Beachten Sie dazu, dass die einzelnen Messungen gemäß Gl. 1.5 und Gl. 4.2 auf einer Ursprungsgeraden $y = m \cdot x$ mit $m = \lambda$, $x = n$ und $y = a \cdot \sin(\arctan(s_n/l))$ liegen.
3. Ermitteln Sie nun für jede Farbe die Wellenlängen λ_i der Hg-Linien, indem Sie als Ausgleichsgerade eine Ursprungsgerade² durch die einzelnen Messungen legen und deren Steigung bestimmen.
4. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit den Literaturwerten für die Wellenlängen der entsprechenden Hg-Linien.

4.3. Bestimmung des Brechungsindex mit einem Prismenspektroskop

1. Berechnen Sie aus den Winkeln 2φ und 2ψ der beiden reflektierten Strahlen den Prismenwinkel ϵ .

¹OpenOffice kann mit dem Befehl =RGP (Y1:Y3; X1:X3; 0; 0) die Steigung einer Ursprungsgeraden durch die Datenpunkte (X1|Y1), (X2|Y2) und (X3|Y3) bestimmen. In der englischen Programmversion lautet der Befehl =LINEST.

²OpenOffice kann mit dem Befehl =RGP (Y1:Y3; X1:X3; 0; 0) die Steigung einer Ursprungsgeraden durch die Datenpunkte (X1|Y1), (X2|Y2) und (X3|Y3) bestimmen. In der englischen Programmversion lautet der Befehl =LINEST.

2. Bestimmen Sie aus den Winkeln δ_{\min_i} der minimalen Ablenkungen die Brechungsinduxe n_i für die gemessenen Wellenlängen λ_i der Hg-Dampfampe. Verwenden Sie dabei die Literaturwerte der Wellenlängen.
3. Tragen Sie Ihre Ergebnisse graphisch auf. Ist die resultierende Funktion $n(\lambda)$ linear?
4. Bestimmen Sie aus den Winkeln δ_{\min_i} der minimalen Ablenkung die Wellenlängen λ_i der beiden Spektrallinien der unbekanntes Lampe. Interpolieren und extrapolieren Sie dazu die Brechungsinduxe n_i , die Sie mit der Hg-Dampfampe ermittelt haben linear zwischen der gelben und der blauen Linie.

5. Forschungspräsentation

Auf Fachkonferenzen ist es üblich, die eigenen Forschungsergebnisse durch einen Vortrag und ein detailliertes Poster im Format DIN A0 zu präsentieren (vgl. Abb. 11). Diese Poster müssen inhaltlich fehlerfrei sein sowie optisch ansprechend und übersichtlich gestaltet werden, damit ein(e) Konferenzteilnehmer/-in zum Lesen angeregt wird und zudem das Wesentliche in kurzer Zeit erfassen kann. Ein solches Poster gliedert sich deswegen in

- eine aussagekräftige Überschrift,
- eine alphabetisch sortierte Autorenliste (z.B.: A. Bugl, C. Clemens, ...),
- eine Auflistung der beteiligten Forschungsinstitute bzw. Gymnasien,
- eine Einführung in die physikalischen Grundlagen des Versuchs (I),
- eine detaillierte Beschreibung des Versuchsaufbaus u.a. anhand von Skizzen und Schaltplänen (II),
- eine Erläuterung der Versuchsdurchführung mit wichtigen Beobachtungen, allen erforderlichen Versuchsparametern und einer tabellarischen Aufstellung der Messwerte (III) sowie
- eine Versuchsauswertung mit Angabe der verwendeten Formeln, einer Beschreibung der angewandten Methoden (Wie haben Sie die Daten ausgewertet?), einer übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse anhand von Diagrammen sowie einer Diskussion bzw. Interpretation der Ergebnisse, wobei letzteres eine physikalische Erklärung der gemachten Beobachtungen und mögliche Folgerungen, die aus den gewonnen Ergebnissen gezogen werden können, umfasst (IV).

Diese vorgegebene Struktur hat sich über die Jahre hinweg bewährt und wird deswegen in der Forschung bevorzugt verwendet.

Fertigen Sie als Versuchsauswertung bitte ein solches Poster an und gehen Sie dazu wie nachfolgend beschrieben vor:

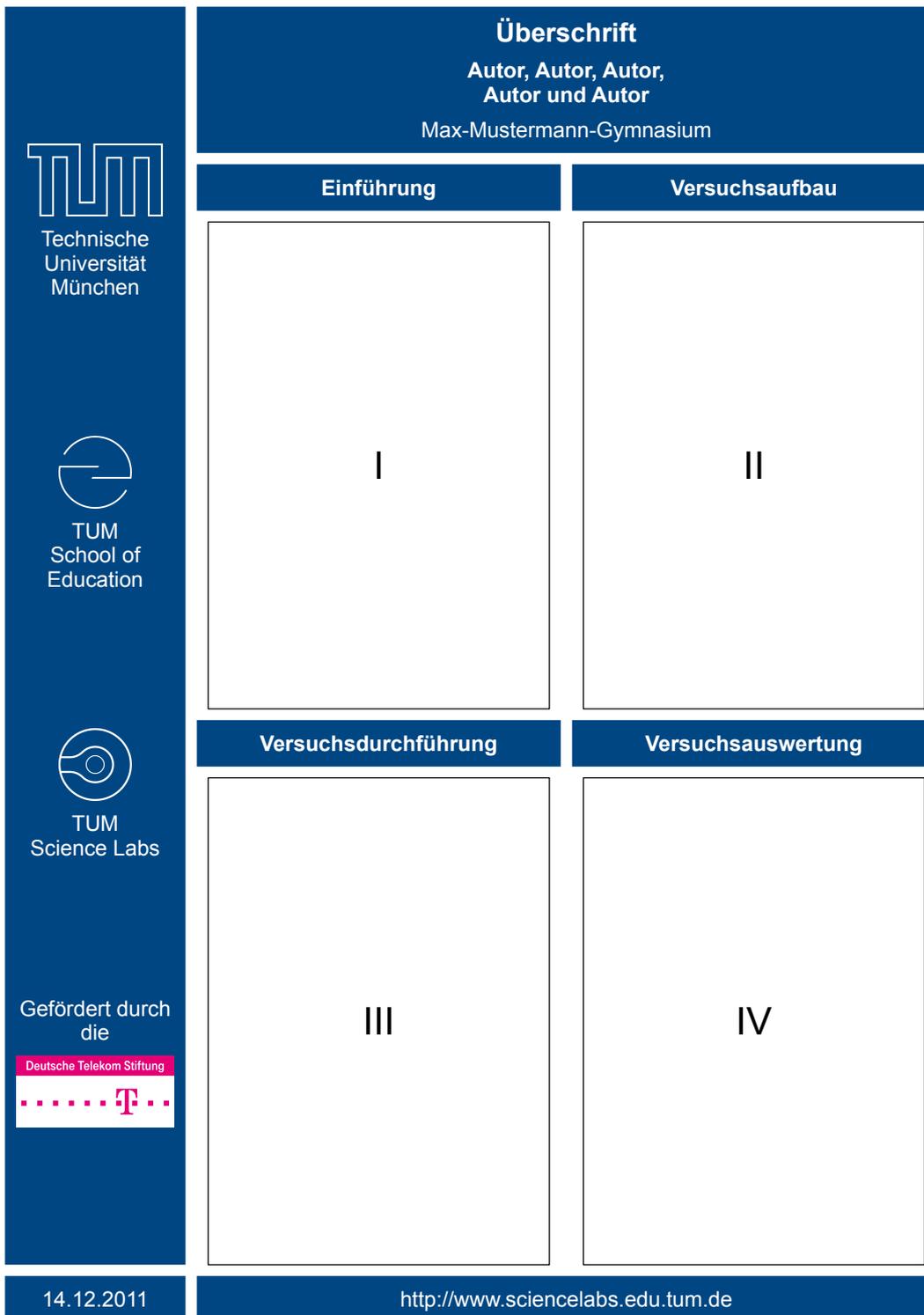


Abb. 11: Forschungspräsentation: Struktur und Aufbau eines Posters

1. Überlegen Sie sich zunächst gemeinsam eine aussagekräftige Überschrift und versetzen Sie sich dabei in die Lage des Forschenden, der bzw. die auf seine bzw. ihre neuartige Entdeckung aufmerksam machen möchte.
2. Öffnen Sie dann ein neues OpenOffice-Textdokument und notieren Sie sich darin die Überschrift auf die Sie sich geeinigt haben.

3. Erstellen Sie im gleichen Dokument eine vollständige Namensliste der beteiligten Schüler/-innen und fügen Sie diesem Dokument auch den Namen und den Ort Ihres Gymnasiums bei.
4. Speichern Sie nun dieses Dokument in einem beliebigen Verzeichnis unter der Kurzbezeichnung des Versuchs (z.B.: SEL.odt) ab.
5. Überlegen Sie sich jetzt, wie Sie sich die Abschnitte I bis IV untereinander aufteilen. Jedes Team erstellt im Anschluss daran für seinen Abschnitt ein zweites OpenOffice-Textdokument. Übernehmen Sie für dieses Dokument die Standardvorgaben von OpenOffice und ändern Sie nur folgende Einstellungen:
 - Papierformat: Breite: 30,09 cm (= 11,85"), Höhe: 43,26 cm (= 17,03")
 - Papierausrichtung: Hochformat
 - Seitenränder: links, rechts, oben und unten: 0,00 cm (= 0,00")
 - Schrift: -art: Arial, -größe: 36 pt, -stil: normal, -farbe: schwarz
 - Absatzausrichtung: Blocksatz

Speichern Sie am Ende dieses Dokument in einem beliebigen Verzeichnis unter der Kurzbezeichnung des Versuchs und der arabischen Nummer des bearbeiteten Abschnitts (z.B.: SEL1.odt) ab.

6. Die weitere Gestaltung und der genaue Inhalt Ihres Abschnitts ist frei und somit Ihnen überlassen. Bemühen Sie sich jedoch Ihren Abschnitt vollständig auszufüllen bzw. den vorhandenen Platz komplett auszunutzen.

Versuchen Sie sich beim Formulieren möglichst prägnant und unmissverständlich auszudrücken. Diskutieren Sie jedoch die physikalischen Grundlagen, den Versuchsaufbau, Ihre Beobachtungen und Messungen sowie Ihre Vorgehensweise und Ergebnisse ausführlich. Beantworten Sie zudem die Fragestellungen der Versuchsanleitung und formulieren Sie deutlich die Zielsetzung (d.h. Sinn und Zweck) des Versuchs.

Fügen Sie zur Veranschaulichung ausreichend Skizzen, Photos, Messwerttabellen und Diagramme ein.

Denken Sie bei der Gestaltung des Posters daran, daß es sich um eine Forschungspräsentation handelt mit der Sie auf Ihre Ergebnisse aufmerksam machen wollen und vor allem Interesse an Ihrer Arbeit wecken möchten.

7. Der Praktikumsleiter wird aus den einzelnen Abschnitten ein gemeinsames Poster im Format DIN A0 zusammenstellen und es Ihnen sobald wie möglich als Datei sowie ausgedruckt per Post zuschicken. Sie können es dann in Ihrem Klassenzimmer oder in Ihrer Schule aufhängen.