



---

## Versuchsanleitung

# Prismenspektrometer

Nummer: 20  
Kompiliert am: 22. November 2024  
Letzte Änderung: 22.11.2024  
Beschreibung: Bestimmung der Winkeldispersionskurve und des Auflösungsvermögens von Prismen.  
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphs-la-phys/>

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung</b>	<b>3</b>
2.1 Theorie . . . . .	3
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag . . . . .	3
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>4</b>
3.1 Vorbereitung: Justage des Spektrometers . . . . .	4
3.2 Versuchsablauf . . . . .	4
3.3 Häufige Fehler . . . . .	4
<b>4 Versuchszubehör</b>	<b>5</b>
<b>5 Hinweise zur Ausarbeitung</b>	<b>5</b>
5.1 Versuchsspezifisch . . . . .	5
5.2 Allgemein . . . . .	6
<b>Literatur</b>	<b>8</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>8</b>
6.1 Bedienungsanleitung des Spektrometers . . . . .	8

# 1 Einführung

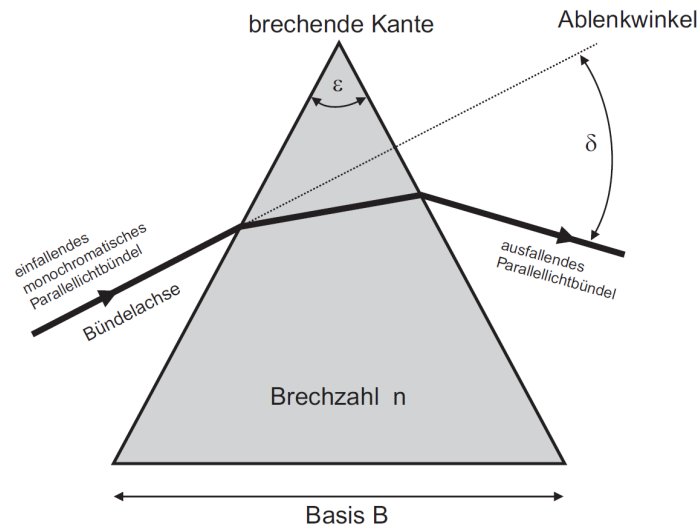


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt den Strahlengang durch ein Prisma.

Im Allgemeinen enthält Licht verschiedene Frequenzanteile. Was unser Auge als weißes Licht wahrnimmt, ist in Wirklichkeit die Überlagerung vieler Lichtstrahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen. In der frequenzabhängigen Intensitätsverteilung (=Spektrum) des Lichts kann sehr viel Information verborgen sein, z.B. über die chemischen und elektronischen Eigenschaften von Materie (Beispiele: atomare Spektren, Absorptionslinien, Photolumineszenz von Halbleitern). Man benötigt daher Geräte, die es ermöglichen, Licht spektral zu zerlegen → Spektralanalyse. Einige dieser Geräte beruhen auf dem Prinzip des Michelson-Interferometers (siehe Versuch 19), andere auf der Beugung von Licht am Strichgitter und wieder andere auf der Brechung des Lichts an Grenzflächen (Brechungsgesetz). Ist der Brechungsindex wellenlängenabhängig, kommt es zu einer räumlichen Trennung der verschiedenen Frequenzanteile. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der Regenbogen, der durch die wellenlängenabhängige Brechung des Lichts in Wassertropfen entsteht. In technischen Geräten (→ Spektrometer) verwendet man zur spektralen Zerlegung des Lichts jedoch keine Wassertropfen. Beim Prismenspektrometer erfolgt die Zerlegung durch ein optisches Prisma (siehe Abb. 1).

In Abb. 2 ist die Bestimmung des minimalen Ablenkungswinkels eines (monochromatischen) Lichtstrahls mittels eines Goniometers gezeigt. Der Ablenkungswinkel  $\pm \delta_{\min}$  hängt vom Brechungsindex des Prismas und dieser wiederum von der Lichtwellenlänge ab. Normalerweise nimmt der Brechungsindex mit zunehmender Wellenlänge ab: Blaues Licht wird stärker abgelenkt als rotes Licht (normale Dispersion).

In diesem Versuch sollen Sie die Wellenlängenabhängigkeit des Ablenkungswinkels in verschiedenen Prismen sowie das Linienspektrum einer Helium-Spektrallampe bestimmen. Außerdem sollen Sie das spektrale Auflösungsvermögen der untersuchten Prismen bestimmen.

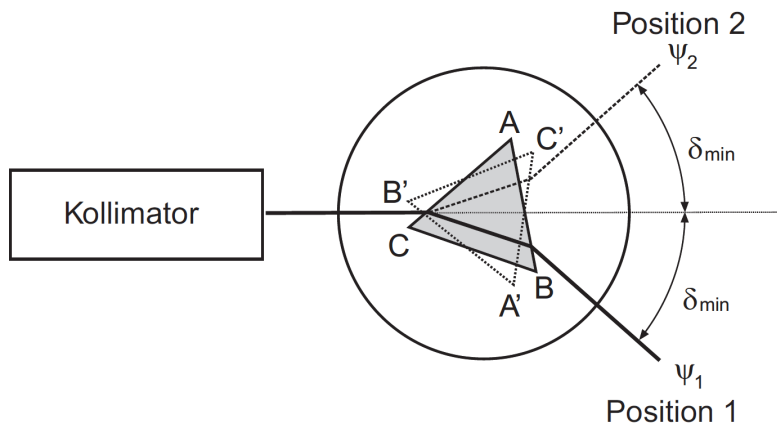


Abbildung 2: Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau eines Prismenspektrometers mit Goniometer, mit dessen Hilfe der minimale Ablenkungswinkel bestimmt werden kann.

## 2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

### 2.1 Theorie

- Licht, Frequenz, Energie, kontinuierliches und diskretes Spektrum, Energieniveaus, Atommodell
- Axiome der geometrischen Optik (lineare Optik, Superpositionsprinzip) [Dem13]
- Fermat'sches Prinzip (Herleitung der Variationsrechnung mit Wegintegral) [Dem13]
- Herleitung des Brechungs- und Reflexionsgesetzes [Dem13, Dem15]
- Geometrische Optik am Prisma (Berechnung und Herleitung folgender Größen: Ablenkungswinkel  $\delta$ , minimaler Ablenkungswinkel  $\delta_{\min}$ , Bestimmung des Brechungsindex daraus) [Dem13]
- Kenntnis der Berechnung der Brechzahl aus mikroskopischer Betrachtung (Formel und Erläuterung) [Dem13]
- Dispersion (Definition, Gruppen-/Phasengeschwindigkeit des Lichts in Materie, normale und anormale Dispersion) [Dem13]
- Auflösungsvermögen des Prismenspektrometers (Formel und Herleitung) [Dem13]
- Weitere Literatur: [BS04, Wal06]

### 2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Atomare Übergänge
- Wellenlängen- und Frequenzbestimmung
- Element- und Molekülanalyse

### 3 Versuchsdurchführung

#### 3.1 Vorbereitung: Justage des Spektrometers

- Entfernen Sie das Prisma aus dem Spektrometer (nicht die Stirnflächen verschmutzen!). Machen Sie den Spalt relativ klein. Nehmen Sie die Hg-Lampe als Beleuchtung und stellen Sie das Ablesefernrohr auf Transmission. Zentrieren Sie das Fadenkreuz auf den Spalt und verschieben Sie das Okular so, dass Sie selbst den kleinsten Spalt noch scharf sehen können. Nun können Sie das Prisma wieder auf dem Teller platzieren.

*Hinweis:* Wenn das Prisma wie in Abb. 2 orientiert ist (Winkel bei Null, Prisma zeigt mit Spitze zur Lichtquelle), gilt: Unser altes Spektrometer hat nur eine Ableseskala für den Winkel Fernrohr-Prismanteller entsprechend  $\vartheta_{i1} = \vartheta_{o2}$  bei Minimalablenkung. Es wird also nicht  $\delta_{min}$  abgelesen! Das neue Spektrometer (Bedienungsanleitung im Anhang) hat 2 Skalen für die Ablesung der Winkel zwischen Prismanteller (PT) bzw. Fernrohr (F) relativ zum einfallenden Licht. Daher wird an der unteren Skala (F) direkt  $\delta_{min}$  abgelesen, an der oberen (PT) die Drehung des PT, also  $90^\circ - \varepsilon/2 - \vartheta_{i1}$ . Zur Fehlervermeidung (Fehler in der Orientierung des Prismas) misst man immer beidseitig.

#### 3.2 Versuchsablauf

- Messen Sie den minimalen Ablenkwinkel  $\delta_{min}$  für die gelbe Spektrallinie der Hg-Lampe mit Prisma I. Beachten Sie, dass  $\delta_{min}$  relativ zum einfallenden Licht gemessen wird, Sie am Spektrometer aber evtl. einen anderen Winkel ablesen. Werten Sie mit  $n = \sin((\delta_{min} + \varepsilon)/2) / \sin(\varepsilon/2)$  (Kantenwinkel des Prismas  $\varepsilon$ ) aus.
- Messen Sie den Ablenkwinkel für die gelbe Spektrallinie der Hg-Lampe mit Prisma I für den Einfallswinkel  $\vartheta_{i1} = 60^\circ$  (so muss das Prisma nicht mehr gedreht werden!). Werten Sie mit

$$n = \sqrt{2 \cos(\varepsilon) \sin(\varepsilon + \delta - \vartheta_{i1}) \sin(\vartheta_{i1}) + \sin(\vartheta_{i1})^2 + \sin(\varepsilon + \delta - \vartheta_{i1})^2} / \sin(\varepsilon)$$

für allgemeinen Einfallswinkel  $\vartheta_{i1}$  und Strahlablenkung  $\delta$  aus. Vergleichen Sie mit obiger Auswertung.

- Messen Sie den Ablenkwinkel  $\delta$  ( $\vartheta_{i1} = 60^\circ$ ) für alle in Tabelle 1 aufgeführten Spektrallinien des Hg-Spektrums mit Hilfe dreier vom Tutor ausgewählter Prismen.
- Wählen Sie das Prisma mit der besten Auflösung und messen Sie damit die Ablenkwinkel des He-Spektrums ( $\vartheta_{i1} = 60^\circ$ ) für die folgenden Linien: rot (stark), gelb, zyan (stark), zyan (mittel), violett (mittel) und violett (stark).

#### 3.3 Häufige Fehler

- Falsche/schlechte Position des Prismas (zentrieren)
- Prismanteller/Ableseoptik dreht sich mit
- Gelegentlich sind der Spalt oder die optischen Flächen verschmutzt. Bitte vorsichtig mit geeignetem Papier und Alkohol reinigen (Betreuer fragen!).

Tabelle 1: Wesentliche Linien des Hg-Spektrums [Lex03].

Nr.	$\lambda$ (nm)	Farbe	Intensität	Kommentar
1	690.8	rot	schwach	
2	623.4	rot	mittel	
3	579.1	gelb	stark	
4	577.0	gelb	stark	
5	546.1	grün	stark	e-Linie
6	499.2	zyan	schwach	
7	491.6	zyan	mittel	
8	435.8	blau	stark	g-Linie
9	407.8	violett	mittel	h-Linie
10	404.7	violett	stark	h-Linie

## 4 Versuchszubehör

- 1 Spektrometer - Goniometer
- 1 Hg- und He-Spektrallampe inkl. Netzteile
- 3 Prismen aus unterschiedlichen Glassorten

## 5 Hinweise zur Ausarbeitung

### 5.1 Versuchsspezifisch

- Skizzieren Sie eigenhändig den Versuchsaufbau.
- Vergleichen Sie die beiden Geometrien für die gelbe Hg-Linie.
- Berechnen Sie aus den Messungen mit der Hg-Lampe die wellenlängenabhängigen Brechzahlen  $n(\lambda)$  für alle drei Prismen.
- Bestimmen Sie die Dispersions-  $n(\lambda)$  und Winkeldispersionskurven  $\delta(\lambda)$  für alle drei Prismen und vergleichen Sie diese miteinander. Schätzen Sie zu diesem Zweck geeignete Funktionen für beide Kurven ab.
- Verifizieren Sie die in Lehrbüchern angegebene Relation (gilt exakt für  $\delta = \delta_{min}$ )

$$\frac{d\delta}{d\lambda} \cong \frac{2 \sin(\varepsilon/2)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\varepsilon/2)}} \cdot \frac{dn}{d\lambda},$$

indem Sie für alle im vorhergehenden Schritt erhaltenen Brechzahlen  $n(\lambda)$  den Term  $\frac{2 \sin(\varepsilon/2)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\varepsilon/2)}}$  bestimmen und dann dem Quotient der beiden Ableitungen grafisch gegenüberstellen ( $\varepsilon \rightarrow$  vgl. Abb. 1). Verwenden Sie im Vergleich dazu die allgemein gültige Form

$$\frac{d\delta}{d\lambda} = \frac{\sin(\varepsilon) \cdot n}{\sqrt{n^2 - \sin(\vartheta_{i1})^2} \sqrt{1 - \{\sin(\varepsilon) \sqrt{n^2 - \sin(\vartheta_{i1})^2} - \cos(\varepsilon) \sin(\vartheta_{i1})\}^2}} \cdot \frac{dn}{d\lambda}.$$

- Bestimmen Sie aus der Winkeldispersionskurve des Prismas mit der besten Auflösung die Wellenlängen der gemessenen He-Linien. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit Literaturwerten.
- Berechnen Sie das Auflösungsvermögen  $A(\lambda)$  der drei Prismen anhand der beiden gelben Linien im Hg-Spektrum.

*Hinweis:* Bei guter Justage des Spektrometers gelingt die Auflösung der gelben Hg-Linien eigentlich immer (immerhin ist  $\Delta\lambda = 2.1\text{nm}$ ). Falls nicht, verwenden Sie Ihre Schätzer für die Funktion  $n(\lambda)$ . Aus der Ableitung dieser Funktionen erhalten Sie dann (näherungsweise) das Auflösungsvermögen des jeweiligen Prismas.

*Hinweis zum Schätzer=Modellfunktion von  $n(\lambda)$ :* Eine Parabel kann eine sinnvolle Modellfunktion für  $n(\lambda)$  sein. Aus der Festkörperphysik kennt man für die dielektrische Funktion das Modell des Lorentz-Oszillators, wonach ein Elektron mit dem Atomkern einen harmonischen Oszillator bildet. Ein externes Feld wirkt als *em*-Kraft auf das Elektron und verursacht entsprechend eine Verschiebung  $\delta x$  des Elektrons. Dies wiederum bedeutet ein elektrisches Dipolmoment  $p = e \cdot \delta x$  bzw. mit der Dichte der Dipole  $\rho$  eine Polarisation  $P = p \cdot \rho$  im Medium. Damit lässt sich die dielektrische Funktion  $\epsilon(\omega)$  bzw. der Brechungsindex  $n = \sqrt{\epsilon}$  berechnen. Die Resonanzkurve kann nicht in dem engen Ausschnitt, den wir im sichtbaren Bereich betrachten, angepasst werden. Man kann allerdings davon ausgehen, dass die Resonanz bei ca.  $\lambda_0 \approx 180\text{nm}$  und damit bei  $\frac{1}{3}\lambda_e$  mit  $\lambda_e$  im sichtbaren Bereich liegt. Entwickelt man nun  $n(\lambda)$  um  $\lambda_e$  in einer Taylor-Reihe, können aus den Werten  $n_e = n(\lambda_e)$ , der dortigen Steigung  $S$  und Krümmung  $K$  die Parameter des Lorentz-Oszillators abgeschätzt werden. Diese sind die Dichte der Oszillatoren

$$\rho = \frac{(64Q^2 + 9)^3(64Q^2 - 81)^2}{2Q^2(14336Q^4 - 21600Q^2 + 729)^2} \frac{\epsilon_0 m_e \pi^2 c^2}{e^2} \left( \frac{K}{S} - S \right)^2 \left( 1 - \frac{1}{n_e^2} \right) \quad (1)$$

$$\approx \frac{32\pi^2 c^2 \epsilon_0 m_e}{9e^2 \lambda_0^2} (n_e^2 - 1) \approx 9.94 \times 10^{14} [\text{m}^{-3}] \cdot \frac{n_e^2 - 1}{\lambda_0^2} \text{ und die Güte}$$

$$Q \approx \frac{9}{8} \sqrt{1 - \frac{2\sqrt{10}n_e S}{3\sqrt{K(n_e^2 - 1)}}}, \quad (K \gg S^2). \quad (2)$$

$Q$  liegt oft gerade 'mal bei 1.1..1.2 und  $n$  bei  $10^{28} \text{m}^{-3}$ .  $\lambda_e$  bzw.  $\lambda_0$  müssen natürlich angepasst werden, was am einfachsten numerisch durch (nicht-lineares) Anpassen der Parabel

$$n(\lambda) \approx n_e \left( 1 - \frac{1}{\lambda_1} (\lambda - 3\lambda_0) + \frac{1}{2\lambda_1} \left( \frac{7}{6\lambda_0} - \frac{1}{\lambda_1} \right) (\lambda - 3\lambda_0)^2 \right) \quad (3)$$

an die Daten geschieht, wobei  $S = -\lambda_1^{-1}$  und  $K = \frac{1}{\lambda_1} \left( \frac{7}{6\lambda_0} - \frac{1}{\lambda_1} \right)$  mit  $\lambda_0 = -\frac{7}{6} \frac{S}{S^2 + K}$ . Typischerweise gilt  $\lambda_1 \approx 100 \lambda_0$ .

## 5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)

- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

## Literatur

- [BS04] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 3: *Optik: Wellen- und Teilchenoptik*. 10. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2004
- [Dem13] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2013
- [Dem15] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2015
- [Lex03] *Lexikon der Optik*. Bd. 1. Heidelberg, Berlin : Spektrum Akademischer Verlag, 2003
- [Wal06] WALCHER, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 9. Auflage. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2006

## 6 Anhang

### 6.1 Bedienungsanleitung des Spektrometers



PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Robert-Bosch-Breite 10  
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0  
Fax +49 (0) 551 604-107  
E-mail [info@phywe.de](mailto:info@phywe.de)  
Internet [www.phywe.de](http://www.phywe.de)

### Betriebsanleitung

**CE** Das Gerät entspricht  
den zutreffenden  
EG-Rahmenrichtlinien

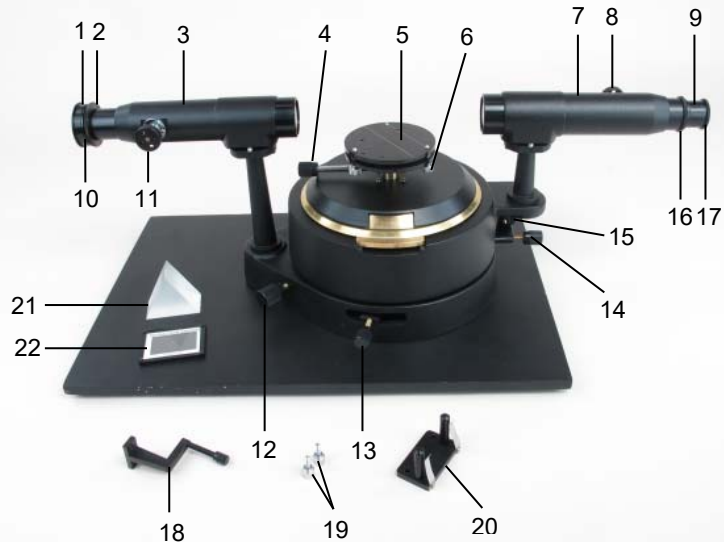


Abb. 1: PHYWE Spektrometer 2 35635-04

## INHALTSVERZEICHNIS

### 1 SICHERHEITSHINWEISE

### 2 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE

### 3 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

### 4 HANDHABUNG

### 5 LIEFERUMFANG

### 6 EMPFOHLENES ZUBEHÖR

### 7 TECHNISCHE DATEN

### 8 ENTSORGUNG

### 1 SICHERHEITSHINWEISE



**Achtung!**

- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Verwenden Sie das Gerät nur für den dafür vorgesehenen Zweck.

### 2 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE

- 1 Verstellbarer Lichteintrittsspalt, Halteschraube für dessen Abdeckung
- 2 Kontering zur Befestigung des Eintrittsspalt
- 3 Kollimator
- 4 Halteschraube für Tisch – zur Höhen- und Winkelverstellung
- 5 Spektrometertisch mit Gewindelöchern für Halteschrauben
- 6 Federunterfütterte Stellschrauben zur horizontalen Ausrichtung des Tisches
- 7 Okularfernrohr
- 8 Drehknopf für die Fokussierung des Fernrohres
- 9 Okularhalter mit Fadenkreuz
- 10 Stellschraube zur Verstellung der Spaltbreite
- 11 Drehknopf für die Fokussierung des Kollimators
- 12 Feinstellschraube für die Drehung des Tisches
- 13 Feststellschraube für den Feinstelltrieb des Tisches
- 14 Feststellschraube für die Drehung des Fernrohres
- 15 Feinstellschraube für die Drehung des Fernrohres
- 16 Kontering zur Befestigung des Okularhalters
- 17 Einsteckokular, 15-fach
- 18 Prismenhalter
- 19 Halteschrauben für Prismen- oder Gitterhalter
- 20 Halter für Beugungsgitter
- 21 Prisma
- 22 Beugungsgitter

### 3 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Das Spektro-Goniometer mit Vernierskalen besteht hauptsächlich aus einem Kollimator mit verstellbarem Lichteintrittsspalt, einem Fernrohr mit Fadenkreuzokular mit gleicher Brennweite wie der Kollimator und einem Drehtisch, auf dem Beugungsgitter oder Prismen als dispersive Elemente montiert werden können.

Der Kollimator parallelisiert das Licht, das durch den Eintrittsspalt fällt, so dass Prisma oder Gitter von parallelem Licht beschienen werden. Das Fernrohr bündelt das parallele Licht wieder und bildet den Spalt im Auge des Betrachters scharf ab, so dass dessen Position, mit der eines Fadenkreuzes im Okular verglichen werden kann.

Der Winkel, um die Gitter oder Prisma das Licht ablenken, hängt von der Wellenlänge ab, so dass für jede Wellenlänge ein eigenes Bild des Eintrittsspaltens entsteht. Durch Drehen des Okularfernrohrs um die Hauptachse des Gerätes wird, das zur jeweiligen Wellenlänge gehörige Bild des Spaltens mit dem Fadenkreuz zur Übereinstimmung gebracht und der zugehörige Winkel bestimmt.

Der Winkel zwischen Kollimator, Drehtisch und Okularfernrohr kann auf eine halbe Bogenminute genau mit Hilfe von Vernierskalen abgelesen werden.

Die Winkelverstellung erfolgt grob bei geöffneten Feststellschrauben (13 und 14) und sonst bei angezogenen Feststellschrauben (13 und 14) mit Hilfe der Feinstellschrauben (12 und 15) durch einen Feinstelltrieb ohne toten Gang.

## 4 HANDHABUNG

### 3.1 Gewöhnliche Justierung

Das Einsteckokular 17 aus dem Okularhalter 9 herausziehen, bis das Fadenkreuz so scharf wie möglich erscheint.

Ggf. den Okularhalter mit Kontering 16 lösen und das Fadenkreuz genau vertikal drehen, mit 16 wieder gut feststellen.

Das Okularfernrohr auf ein entferntes Objekt richten und mit Knopf 8 scharf stellen. Diese Einstellung ist wichtig, denn die Winkelgenauigkeit hängt auch von der Parallelität des verwendeten Lichtbündels ab. Damit die freie Strahlweite des Fernrohrs von 32 mm unter einem Winkel von einer halben Bogenminute erscheint, müsste sie 220 m entfernt sein.

Nun das Fernrohr auf den Kollimator richten. Mit Knopf 11 den Spalt scharfstellen, dabei die Einstellung des Okularfernrohrs *nicht* verändern – dann ist das Licht zwischen Kollimator und Fernrohr parallel, wenn es aus dem Spalt kommt.

Ggf. den Spalt mit Kontering 2 lösen und genau vertikal (parallel zum Fadenkreuz) ausrichten.

Der Spalt hat eine feststehende und eine bewegliche Kante, für Winkelmessungen soll sich an der feststehenden Kante orientiert werden, diese soll mit dem Fadenkreuz zur Übereinstimmung gebracht werden, indem mit dem Feinstelltrieb 15 das Okular an die entsprechende Winkelposition gebracht wird. Dies ist dann zu beachten, wenn bei Licht geringer Intensität der Spalt weiter geöffnet wird.

Erscheint der Spalt ohne Prisma oder Gitter nicht in der vertikalen Mitte des Gesichtsfeldes oder geht die Sichtlinie nicht über die Mitte des Drehtisches, so ist eine grundlegende Justierung erforderlich, siehe Abschnitt 3.6.

### 3.2 Den Winkel mit der Vernierskala ablesen

Ein Grad zu 60 Bogenminuten ist in drei Striche unterteilt, entsprechend je 20 Bogenminuten ( $0^\circ 20'$ ). Die Teilung der Vernierskala in 20-mal zwei Striche entspricht dann Bogenminuten ( $0^\circ 1' 0''$ ) bzw. halben Bogenminuten, also 30 Bogensekunden ( $0^\circ 0' 30''$ ). Dem Winkel von 40 Strichen der Vernierskala entspricht der Winkel von 39 Strichen der Hauptskala. Im Beispielbild Abb. 2 befindet sich der Nullpunkt der Vernierskala zwischen  $305^\circ$  und  $306^\circ$ , genauer im zweiten Drittel dieses Grades, also jenseits der ersten 20 Bogenminuten. Es wird also abgelesen:  $305^\circ 20'$  plus die Anzahl an Strichen, wo die Vernierskala mit der Hauptskala übereinstimmt, das ist hier der neunte von den 20 Hauptstrichen, also  $305^\circ 20' + 9' = 305^\circ 29'$ .

Würde etwa der kleinere Strich zwischen dem achten und neunten Hauptstrich der Vernierskala am besten mit der Hauptskala übereinstimmen (also der 17. mal  $0^\circ 0' 30'' =$

$0^\circ 8' 30''$ ), ergäbe sich  $305^\circ 28' 30''$  als Ablesewert.

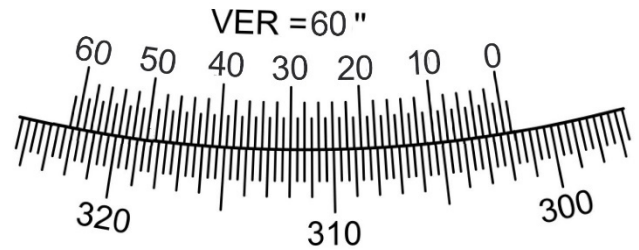


Abb. 2: Beispielbild zur Winkelablesung



Abb. 3: Foto der Winkelskalen: obere Skala: Position des Tisches, mittlere Skala: fest verbunden mit dem Kollimator, untere Skala: fest verbunden mit dem Okularfernrohr

### 3.3 Generelle Bemerkung

Für alle Messungen sind Winkeldifferenzen ausschlaggebend, die Position des Nullpunktes spielt keine wichtige Rolle. Durch Lösen der Feststellschraube für den Tisch 13 und der Halteschraube für den Tisch 4 lässt sich der Nullpunkt des Tisches zu jeder beliebigen Position justieren. Der Nullpunkt des relativen Winkels zwischen Kollimator und Okular ist fest und in der Regel nicht bei der Position, in der Kollimator und Okular auf einer Linie liegen. Der Referenzwinkel, bezüglich dessen gemessen wird, muss also notiert werden. Die Grundlagen der Funktion von Gitter und Prisma als dispersive Elemente finden sich in Büchern zu den Grundlagen der Optik oder auch in Wikipedia:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Optisches\\_Gitter](https://de.wikipedia.org/wiki/Optisches_Gitter)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Dispersionsprisma>

### 3.4 Messung mit einem Beugungsgitter



Abb. 4: Beobachtung des nicht abgelenkten Lichtes

Den Gitterhalter auf den Tisch montieren, das Gitter einfügen und Tisch mit Gitter so genau wie möglich zur Achse der Fernrohre ausrichten. Das Gitter muss in drei Richtungen ausgerichtet werden:

Hierzu den Eintrittsspalt mit dem zu untersuchenden Licht

beleuchten und das Okularfernrohr zur Seite schwenken – zur Justierung ist eine Lichtquelle nötig, die Linien zeigt. Im abgedunkelten Raum durch das Gitter den Eintrittsspalt betrachten. Wenn das Gesicht von vorne beleuchtet wird, ist das Auge im Oberflächenreflex des Gitters zu sehen. Wenn die Pupille in der Mitte des Bildes des Eintrittsspalt erscheint, ist das Gitter senkrecht zum Lichtbündel ausgerichtet. Mit den Stellschrauben 6 den Reflex in der Höhe mittig zum Bild des Spaltes stellen – nun ist eine Kippung um die Achse senkrecht zur Strahlrichtung und senkrecht zu den Gitterlinien kompensiert, welche das abgelenkte Licht beiderseits des nicht abgelenkten Strahls entweder nach oben oder unten in der Vertikalen verschiebt. Außerdem den Gittertisch so drehen, dass der Reflex der Pupille mit dem Bild des Spaltes zusammenfällt.

Jetzt das gebeugte Licht mit dem Okularfernrohr beobachten: Nun das Gitter um die Flächennormale entlang der Strahlrichtung in seinem Halter drehen, bis das Bild des Spaltes vertikal mittig zum Fadenkreuz erscheint, die gleiche Linie zur anderen Seite des unabgelenkten Strahls zur Kontrolle beobachten. Eine Drehung um die Flächennormale entlang der Strahlrichtung bewirkt, dass die Bilder des Spaltes auf der einen Seite nach oben und auf der anderen Seite nach unten verschoben sind.

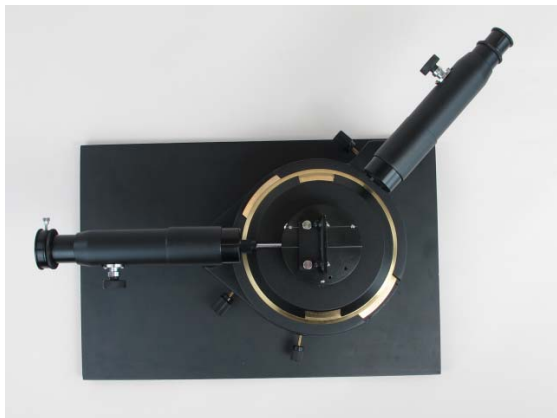


Abb. 5: Beobachtung des abgelenkten Lichtes

Alternativ lassen sich für die Justage auch die Oberflächenreflexe des verwendeten Lichtes am Gitters nutzen – dazu das Gitter auf  $45^\circ$  und das Fernrohr im rechten Winkel zum Kollimator bringen und die Reflexe und das gebeugte Licht am Gitter (als Reflexionsgitter) durch das Okular betrachten. Schließlich den Ablenkswinkel einer gut sichtbaren Spektrallinie gegenüber dem unabgelenkten Licht zu beiden Seiten des unabgelenkten Strahls messen – die äußere Skala ist jeweils abzulesen. Den Mittelwert der beiden Werte berechnen und das Okularfernrohr an diese Position mit dem Feinstelltrieb für das Okular 15 bringen. Nun den Tisch mit dem Feinstelltrieb 12 so drehen, dass das Bild des Spaltes mit dem Fadenkreuz zusammenfällt, das Ergebnis dieser Prozedur kontrollieren und ggf. wiederholen.

Nur wenn dies nicht gelingt, die Grundjustierung des Gerätes überprüfen (Abschnitt 3.6). 3.5 *Messung mit einem Prisma*



Abb. 6: Beobachtung des nicht abgelenkten Lichtes

Den Eintrittsspalt mit dem zu untersuchenden Licht beleuchten und die Winkelposition des Okulars notieren, bei der das nicht abgelenkte Licht mit dem Fadenkreuz zusammenfällt. Der Oberflächenreflex des Prismas kann zur Ausrichtung des Tisches genutzt werden: Das Okular um  $120^\circ$  drehen, dann kann jeweils eine der Stellschrauben 6 (Pfeil in Abb. 7) genutzt werden, dass der Oberflächenreflex jeweils gleich hoch im Fadenkreuz erscheint. Dazu die Feststellschraube für den Tisch 13 lösen, aber Halteschraube 4 festgestellt halten. Den Tisch jeweils um  $60^\circ$  drehen und die Einstellung wiederholen, bis der Tisch ausgerichtet ist.

Wenn dies nicht gelingt, obwohl das Prisma genau geschnitten ist, die Grundjustierung des Gerätes überprüfen (Abschnitt 3.6).

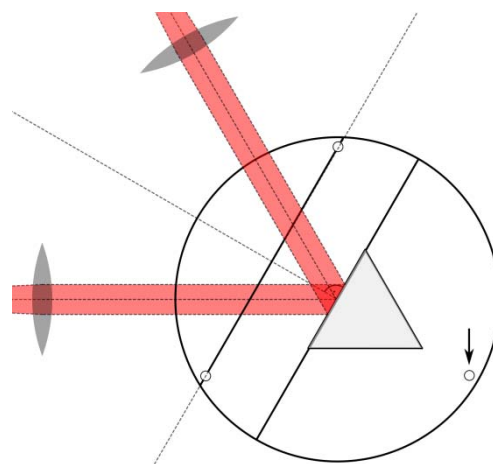


Abb. 7: Horizontales Ausrichten des Tisches

Nun das Prisma wie in Abb. 8 aufsetzen. Die grobe Position für das Prisma und das Okular kann gefunden werden, indem zuerst das Okular zur Seite gedreht wird und mit dem Auge durch das Prisma in den Kollimator geschaut wird und dann das Okular an die Position gedreht wird, an der das Auge zuvor in etwa war.



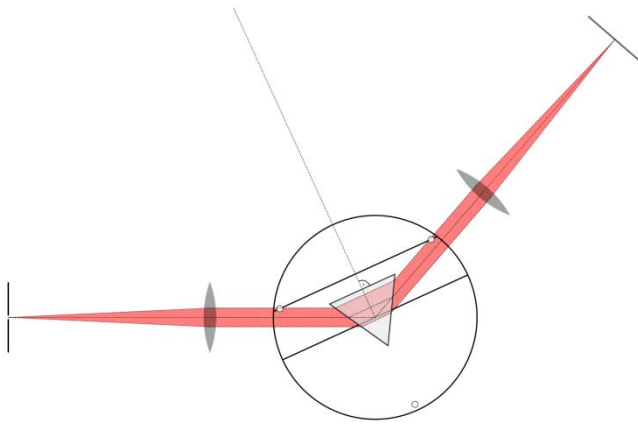


Abb. 8: Strahlengang beim Winkel der geringsten Ablenkung

Wenn der Spalt im Okular sichtbar ist, dann durch Drehen am Tisch den Winkel der geringsten Ablenkung finden, d. h. den Tischwinkel, an dem die Position des Bildes des Spaltes sich nicht weiter auf die Position zubewegt, in der das Gerät gestreckt wäre. An der Stelle ist auch die Abhängigkeit des Ablenkungswinkels von dem Tischwinkel am geringsten und außerdem der Aufbau symmetrisch und die Flächennormale des Prismas die Winkelhalbierende des Ablenkungswinkels. Nun Feststellschrauben 13 und 14 feststellen und die Feintriebe für Tisch und Okular benutzen. Für jede Lichtwellenlänge ist der Winkel der geringsten Ablenkung gesondert zu finden und als Messwert zu notieren.

Die genaue Position des Prismas spielt bei exakter Parallelität des Lichtes keine große Rolle, da sich nur eine parallele Verschiebung des Lichtbündels ergibt, die eine ideale Linse wieder auf den gleichen Punkt abbilden würde. Da es aber in der Realität Linsenfehler gibt, soll der Strahlengang jeweils möglichst genau symmetrisch sein und das Prisma den größtmöglichen Teil des Gesichtsfeldes freigeben.

### 3.6 Grundlegende Justierung

Hierzu ist ein 6-mm-Sechskantschlüssel nötig, um die Halteschrauben für die Haltesäulen (4 in Abb. 9) von Okular- und Kollimatorfernrohr zu lösen und ein 3-mm-Sechskantschlüssel für die Schrauben (1 und 3 in Abb. 9), welche den Drehstift (2 in Abb. 9) fixieren.



Abb. 9: Verstellen der grundlegenden Fernrohrjustierung

Damit bei einem Aufbau wie in Abb. 4 der Spalt in der Höhe symmetrisch zum Fadenkreuz erscheint, können Kollimator- und Okularfernrohr um Achse 2 gedreht werden, indem zuerst eine der beiden Schrauben 1 und 3 gelöst, und dann die andere wieder festgezogen wird. Die Fernrohre sollen auf einer Linie liegen, siehe Abb. 10.



Abb. 10: Fernrohrjustierung in einer Linie

Damit die Fernrohre auf einer Linie liegen, welche durch die Hauptdrehachse des Goniometers geht, siehe Abb. 11, können die Halteschrauben für die Haltesäulen (4 in Abb. 9) gelöst werden und die Fernrohre um die Achse der Haltesäule gedreht werden.

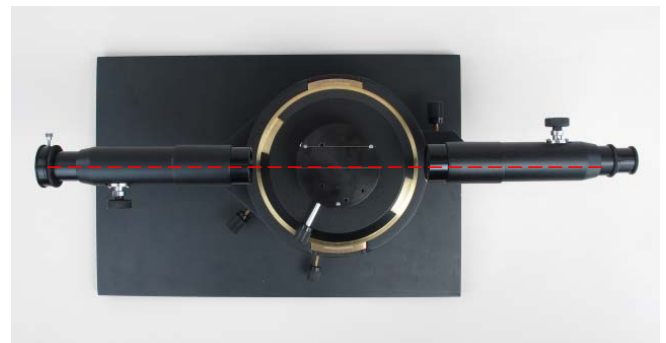


Abb. 11: Fernrohrjustierung in einer Linie durch den Drehpunkt

Der Tisch kann auf die Höhe der Oberkante der Fernrohre gebracht werden und die Markierung auf dem Tisch mit den Fernrohren in eine Linie gebracht werden, indem über die Oberkante der Fernrohre gepeilt wird.

## 5 LIEFERUMFANG

Alle in Abb. 1 sichtbaren Teile, außerdem ein Klemmring, mit dem die Tischhöhe voreingestellt werden kann – er ist mit einem 1,5-mm-Sechskantschlüssel auf dem Haltestiel des Tisches zu fixieren.

## 6 EMPFOHLENES ZUBEHÖR

Siehe Experimentieranleitungen:

P2210301 Dispersion und Auflösungsvermögen des Prismas und des Gitterspektroskops

P2510601 Feinstruktur: Ein- und Zweielektronen-Spektrum

## 7 TECHNISCHE DATEN

Höhe Strahlengang über Tisch	180 mm
Brennweite:	
Kollimatorfernrohr	178 mm
Okularfernrohr	178 mm
Vergrößerung Okular	15x
Nutzbarer Strahldurchmesser	32 mm
Breite Eintrittsspalt	0–2 mm
Tischdurchmesser	85,5 mm
Durchmesser der Skala	176 mm
Ablesegenauigkeit des Winkels	0°0'30"



## 8 ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll).

Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an die unten stehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Abteilung Kundendienst  
Robert-Bosch-Breite 10  
37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-274  
Fax +49 (0) 551 604-246