

3 Aufgaben

Sicherheitshinweis Die LED-Leuchte strahlt in einem begrenzten Winkelbereich ein relativ helles Licht ab. Vermeiden Sie es daher, insbesondere aus kurzer Entfernung, direkt in den Lichtkegel zu blicken! Drehen Sie die Helligkeit nur soweit hoch, wie es für die jeweilige Aufgabe notwendig ist. Vor dem Einschalten muss der Spannungregler des Netzteils auf „Null“ (ganz nach links) gedreht werden.

Allgemeine Hinweise:

Es kommt im folgenden darauf an, dass Sie

- sich zunächst mit den einzelnen Komponenten vertraut machen (auch mit dem Kreutztisch)
- bei der Messung die Position der einzelnen Elemente möglichst genau erfassen (Bezugspunkte für Messungen festlegen)
- alle optischen Elemente möglichst exakt ausrichten (optische Achse).
- ihre Vorgehensweise im Protokoll (logbook) beschreiben (auch Misserfolge oder Probleme).

Tipp: Die Lochreihen könnten bei der Positionierung hilfreich sein. Auch ein Geodreieck ist sehr zu empfehlen. Tipp!

3.1 Optische Abbildung mit einer Linse

Material		
LED Beleuchtung	TUM-Logo (Gegenstand)	Kreutztisch
Linse 100 mm bikonvex	Schirm	

In dieser ersten Aufgabe sollen einige grundlegende Messungen durchgeführt werden.

3.1.1 Aufbau des Experiments

Planen Sie zunächst den Aufbau und beschreiben Sie Ihre (geplante) Vorgehensweise (*logbook*). Dazu gehören Konzepte

1. für die genaue Erfassung der Positionen der einzelnen Elemente und
2. für eine exakte Ausrichtung entlang der optischen Achse.

Verwenden Sie als Abbildungs-Gegenstand das *TUM-Logo*:

1. Setzen Sie das *TUM-Logo* direkt auf die *LED-Beleuchtung*.
2. Stellen Sie den Schirm in einer Entfernung von ca. 60 cm zum Gegenstand auf und schrauben Sie ihn am Tisch fest (genaue Entfernung messen!).

3. Klemmen Sie ein weißes Blatt Papier am Schirm fest.
4. Verwenden Sie die Halterung mit der bikonvexe Linse mit 100 mm Brennweite.
5. *Skizzieren Sie den Aufbau im logbook.*

3.1.2 Abbildungsgleichung

1. Schalten Sie die LED-Lampe ein (Netzteil mit Spannungsregler).
2. Verschieben Sie die abbildende Linse vom Gegenstand ausgehend in Richtung Schirm bis ein scharfes Bild zu beobachten ist (optische Achse beachten). Messen Sie Gegenstandsweite g und Bildweite b .
3. *Beschreiben Sie die Vorgehensweise mit eigene Worten und notieren Sie die Messergebnisse im logbook.*
4. Überprüfen Sie mit diesen Werten die Abbildungsgleichung (Gleichung 2.4):

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Stimmt die Gleichung?

5. *Formulieren Sie Ihr Ergebnis (mit Rechnung) im logbook.*
6. Berechnen Sie den Abbildungsmaßstab M nach Gleichung (Gleichung 2.3):

$$M = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}.$$

7. *Notieren Sie Rechnung und Ergebnis im logbook.*
8. *Für Spezialisten (sonst weiter beim Punkt 10):* Betrachten Sie die Abbildungsgleichung (siehe oben oder Gleichung 2.4).
 - (a) Warum sollte es ein weiteres scharfes Bild geben.
 - (b) Sagen Sie Ort und Größe des zweiten Bildes voraus.
9. *Notieren Sie Überlegung und Ergebnis im logbook.*
10. Es gibt ein zweites scharfes Bild. Suchen Sie es und bestimmen Sie g , b und M . Vergleichen Sie mit der Abbildungsgleichung. *Tipp: Die LED sollte nicht sehr hell eingestellt sein.*
11. *Notieren Sie Ihr Ergebnis im logbook.*
12. *Formulieren Sie zusammenfassend Ihre Ergebnisse, d.h. schreiben Sie einen kurzen Bericht über den Abschnitt (3.1.2) ins logbook.*

Tipp!

3.1.3 Zusatzfrage

Sie decken die untere Hälfte der Linsen ab (z.B. mit einem Blatt Papier). Was passiert mit der Abbildung? *Erklären Sie das Ergebnis (mit Skizze des Strahlenverlaufs) im logbook.*

3.1.4 Abbildungsmaßstab und Spiegelung des Bildes

Für den existierenden Aufbau soll nun der Abbildungsmaßstab *experimentell* bestimmt werden. Da die Messung der Gegenstandsweite g und der Bildweite b nicht sehr genau erfolgen kann, nutzen wir den Gegenstand und das Bild selbst. Allerdings messen wir nicht einfach die Größen, da dies auch zu ungenau wäre. Wir nutzen den Kreutztische, der ein genaues Verschieben des TUM-Logos erlaubt. Wir verschieben also die Gegenstandspunkte und untersuchen die Verschiebung

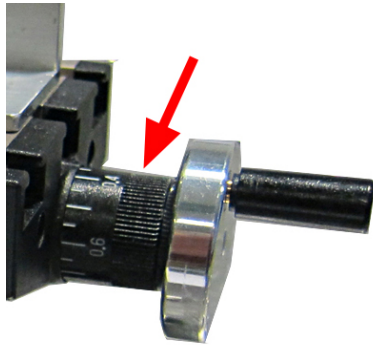


Abbildung 3.1: Für den folgenden Versuch wird der Kreuztisch verwendet, um damit das Objekt senkrecht zur optischen Achse zu bewegen. Durch Festhalten der Kurbel und Drehen am gerändelten Skalenring lässt sich der Nullpunkt einstellen. Die Verschiebung lässt sich dann direkt am Skalenring ablesen. Eine volle Umdrehung entspricht einem Verstellweg von 1 mm.

der Bildpunkte. Am Schirm kann mit entsprechenden Markierungen die Verschiebung des Bildes gemessen werden.

Außerdem soll der Typ der Spiegelung (Punkt, Achse oder Ebene) bestimmt werden.

1. Stellen Sie am Kreuztisch den Nullpunkt ein (Skalenring, siehe Bild 3.1).
2. Kennzeichnen Sie den Ort des Bildes am Schirm (ein neues weißes Blatt ist hilfreich).
3. Verschieben Sie mit dem Kreuztisch LED-Lampe und Gegenstand transversal (also senkrecht) zur optischen Achse um genau 5 mm.
4. Kennzeichnen Sie erneut den Ort des Bildes am Schirm und messen Sie die Verschiebung des Bildes.
5. Das Verhältnis der Verschiebung am Schirm zur Verschiebung des Gegenstands ergibt den Abbildungsmaßstab. Stimmt dieser mit dem vorhin berechneten Wert überein?
6. *Notieren Sie alle Schritte und Ergebnisse im logbook.*
7. Verschieben Sie den Gegenstand nochmals. Wie ist die Richtung dazu auf dem Schirm orientiert? Können Sie bestätigen, dass das Bild gespiegelt ist?
8. Drehen Sie nun den Gegenstand um die optische Achse. Dreht sich das Bild in die gleiche Richtung oder nicht?
9. *Beschreiben Sie die Versuche und Ergebnisse im logbook.*
10. Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse sollten Sie auf folgende Frage eine begründete Antwort haben. *Notieren Sie im logbook: Um welchen Typ von Spiegelung es sich handelt? Begründen Sie das Ergebnis Ihrer Überlegung!*

3.2 Linsenfehler

Material		
LED Beleuchtung	Edelstahlgitter (Gegenstand)	Kreuztisch
Linse $f = 100$ mm bikonvex	Farbfilter	Blende 1 und 2
Blende 1	kreisförmige Öffnung, Öffnungsradius $s = 6,0$ mm	
Blende 2		
Blende 3		
Blende 4		
	ringförmige Öffnung, mittlerer Öffnungsradius $s = 14,5$ mm	
	ringförmige Öffnung, mittlerer Öffnungsradius $s = 18,9$ mm	
	ringförmige Öffnung, mittlerer Öffnungsradius $s = 22,4$ mm	

In diesem Aufgabenteil wollen wir uns die Qualität der Abbildung etwas genauer betrachten und

die auftretenden Abbildungsfehler untersuchen. Dabei werden wir uns auf die sphärische und chromatische Aberration beschränken.

3.2.1 Sphärische Aberration

Wir verwenden die Anordnung aus dem letzten Experiment (vergrößernde Abbildung mit der Linse mit $f = 100 \text{ mm}$). Allerdings wird das *TUM-Logo* durch das *feinmaschige Edelstahlgitter* ersetzt. Mithilfe des Kreuztisches wird im Folgenden versucht, die optimale Bildschärfe einzustellen. Dabei wird genau beobachtet, wie sich das Bild verändert. Gelingt es, alle Bereiche gleich scharf zu stellen?

Tipp! *Tipp: Der Linsenhalter muss am Tisch angeschraubt werden.*

1. Skizzieren Sie im logbook Ihren Versuchsaufbau. Beschreiben und skizzieren Sie das Bild bzw. wie sich das Bild bei Verschiebung des Gegenstandes verändert.
2. Legen Sie jetzt die Blende Nr. 1 in den Blendenhalter (an der Linse) ein.
3. Optimieren Sie wieder die Bildschärfe.
4. Beschreiben Sie im logbook genau Ihre Beobachtung (zwei bis drei Auswirkungen der Blende sollten Sie erkennen).

Anmerkung: Sie haben soeben die einfachste aber zugleich auch effektivste Methode kennengelernt, Abbildungsfehler zu reduzieren. Allerdings erkaufte man sich dies durch eine drastische Reduktion der Bildhelligkeit.

Nach diesem Vorversuch soll die sphärische Aberration genauer untersucht werden.

Wie hängt die Abbildung vom Abstand s der Lichtstrahlen vom Zentrum ab?

Da die Gegenstandsweite g mit dem Kreuztisch sehr genau verstellt und abgelesen werden kann, ist es sinnvoll die Änderung von g , also Δg , in Abhängigkeit vom Öffnungsradius s (siehe Tabelle weiter oben) zu messen. Die absoluten Längen g interessieren nicht. Die Bildweite b wird nicht verändert. Als Nullpunkt $\Delta g = 0$ verwenden wir die Einstellung „scharfes Abbild“ mit der Blende Nr. 1. Verfälscht werden könnte das Ergebnis durch die chromatische Aberration (s.u.). Deshalb wird mit nur einer Farbe gemessen.

1. Drehen Sie zunächst den roten oder blauen Farbfilter (nach Ihrer Wahl) vor den Gegenstand, um die chromatische Aberration (weitgehend) auszuschalten.
2. Beschreiben Sie das Experiment im logbook mit eigenen Worten.
3. Notieren Sie im logbook Ihre experimentellen Schritte.
4. Führen Sie das Experiment durch.
5. Notieren Sie im logbook: Stellen Sie Ihr Ergebnis in geeigneter Form da (einschließlich einer Graphik) und geben Sie eine mögliche Erklärung an.

3.2.2 Chromatische Aberration

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um den Farbfehler optischer Systeme zu korrigieren. Natürlich braucht man dabei auch ein Maß für den Farbfehler. Charakterisieren lässt sich der Farbfehler grundsätzlich durch Vergleich der Abbildung bei verschiedenen Wellenlängen des Lichts. Schön wäre natürlich eine relative Größe als Maß für den Farbfehler. Dies soll mit dem folgenden Experiment erreicht werden:

- Legen Sie nochmals die Blende Nr. 2 ein. Drehen Sie das rote Farbglas in den Strahlengang und stellen Sie die Abbildung scharf. Wechseln Sie zum blauen Farbglas und stellen Sie wieder scharf. Wie groß ist der Unterschied Δg der Gegenstandsweite? Berechnen Sie die relative Änderung $\Delta g/g$.
- Bei welcher Farbe hat die Linse die kleinere Brennweite? Begründung!
- Schreiben Sie einen kurzen Bericht mit Experimentbeschreibung und Ergebnissen ins log-book.

3.3 Beugungsbegrenzung der Abbildung (Zusatzaufgabe)

Material		
LED Beleuchtung	Edelstahlgitter (Gegenstand)	Kreuztisch
Linse $f = 100$ mm bikonvex	Farbfilter	verstellbare Schlitzblende

Mit dem bestehenden Aufbau soll gezeigt werden, wie die optische Abbildung durch Beugungseffekte limitiert wird. Das Strahlenmodell des Lichts kann dies nicht erklären. Dazu ist das Wellenmodell notwendig. Es wird weißes Licht verwendet. Ein verstellbarer Spalt (Schlitzblende) dient dazu, die Beugungsbegrenzung zu demonstrieren. Die Abbildung des Edelstahlgitters (Gitterstege waagrecht bzw. senkrecht) wird scharf gestellt (keine Ringblende). Bei maximaler Lichtstärke wird die Schlitzblende, die sich hinter der Linse befinden soll, zunächst bis auf 2 mm geöffnet und dann langsam geschlossen.

Vorsicht! Beim Schließen des Spaltes nicht über den Nullpunkt hinausdrehen.

1. Was erwarten Sie beim Schließen des Spaltes? Notieren Sie Ihre Vermutung im logbook.
2. Bestimmen Sie die Spaltbreite bei der eine signifikante Veränderung auftritt.
3. Beschreiben Sie das Experiment und erklären Sie Ihr Ergebnis qualitativ. Eintrag im logbook.

3.4 Zweistufige Abbildung, Linsensystem

Material		
LED Beleuchtung	TUM-Logo (Gegenstand)	
Linse 35 mm plankonvex	Linse 50 mm, bikonvex	Schirm

Bis jetzt wurde der Gegenstand mit Hilfe einer Linse auf den Schirm abgebildet. Es ist jedoch auch möglich, das Bild dieser Linse als Ausgangsobjekt für eine weitere Abbildung mit einer zweiten Linse zu verwenden (Abbildung mit Zwischenbild). Dies soll im Folgenden untersucht werden.

3.4.1 Aufbau

1. Bauen Sie die Anordnung entsprechend Bild 3.2 auf. Dabei soll $L = 80$ cm sein. Achten Sie bei der plankonvexen Linse auf die Orientierung!

Tipp: Das Zwischenbild sollte sich genau in der Mitte zwischen Gegenstand und Schirm befinden. Tipp!

2. Notieren Sie im logbook: Beschreiben Sie das Zwischenbild (Position, Größe, Orientierung).
3. Mit Hilfe der zweiten Linse soll jetzt ein scharfes Bild am Schirm entstehen. Skizzieren Sie die Anordnung mit allen relevanten Größen im logbook.

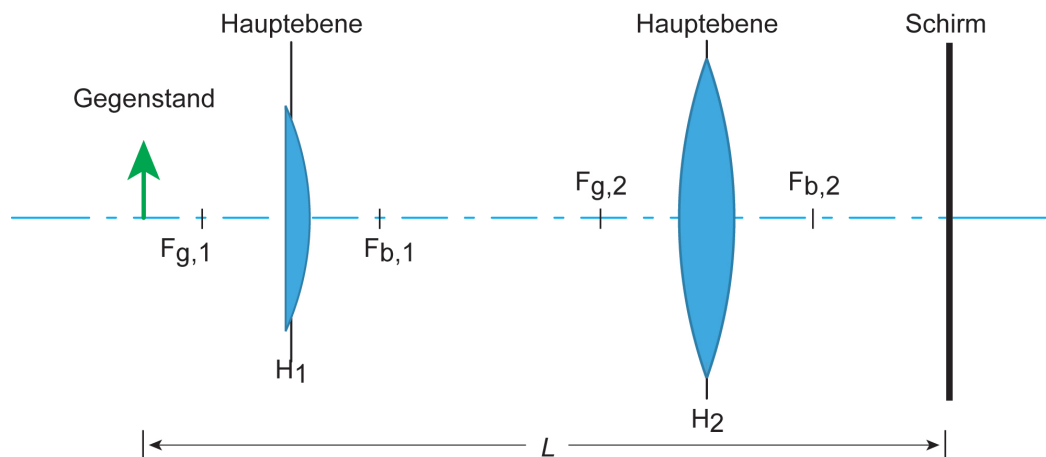


Abbildung 3.2: Der Aufbau für eine zweistufige Abbildung mit Hilfe eines Linsensystems aus einer plankovexen ($f_1 = 3,5 \text{ cm}$) und einer bikonvexen Linse ($f_2 = 5 \text{ cm}$).

4. Notieren Sie im logbook, ob Abbildungsfehler auffallen?

3.4.2 Untersuchung des Aufbau

1. Bestimmen Sie den Abbildungsmaßstab mit der Methode aus Aufgabe 3.1.4. Notieren Sie das Ergebnis im logbook.
2. Die plankovexe Linse haben Sie sicher nach Anleitung eingebaut. Was passiert, wenn Sie sie umdrehen? Notieren Sie das Ergebnis im logbook.

3.4.3 Konstruktion

Wie oben beschrieben, können im Linsensystem die beiden Linsen getrennt betrachtet werden. Die erste Linse erzeugt eine (Zwischen-)Bild, welches der Gegenstand für die zweite Linse ist. Von dieser wird das Bild am Schirm erzeugt. Bild 3.3 zeigt das Prinzip.

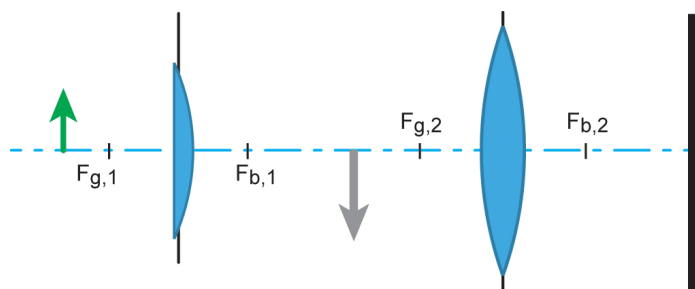


Abbildung 3.3: Die Abbildung kann beim Linsensystem durch Betrachtung der beiden Einzelabbildungen erklärt werden. Die erste Linse erzeugt ein Zwischenbild, das hier eingezeichnet ist und von der zweiten Linse abgebildet wird.

Im Logbook ist das Bild 3.3 mit den wichtigsten Elementen zu finden. Führen Sie die Konstruktion durch. Wenn Sie es richtig gemacht haben, entsteht das Bild genau am Schirm.

3.5 Schlierenoptik

Material		
LED Beleuchtung	Spalt-Aufsatz (Gegenstand)	Schlierenkante
2 Linsen 200 mm plankonvex	Linse 150 mm, bikonvex	Schirm
Feuerzeug	Fön	Druckluftpistole

Zum Abschluss soll nun noch eine etwas speziellere, aber interessante optische Anordnung aufgebaut werden.

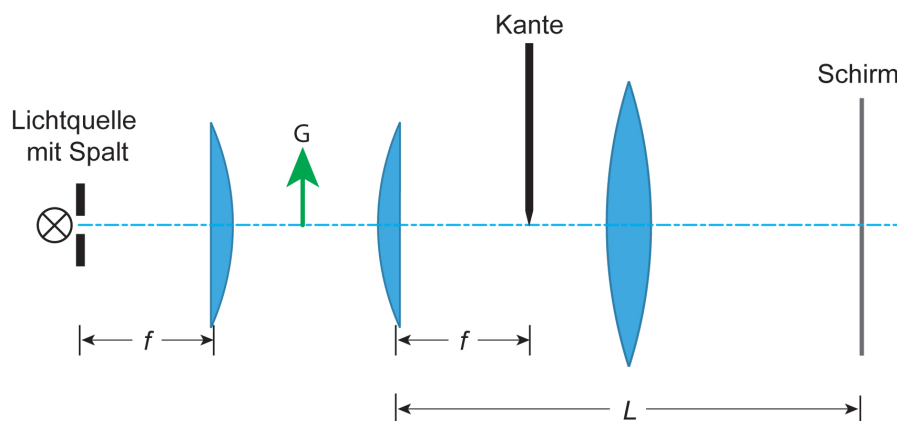


Abbildung 3.4: Dieser Aufbau zur Schlierenoptik muss exakt eingehalten werden..

1. Dazu benötigen wir eine spaltförmige Lichtquelle. Das Gegenstands-Gitter wird deshalb durch den Spaltaufsatz (Spaltbreite ca. 0,5 mm) ersetzt. Der Spalt soll dabei senkrecht zur Tischebene orientiert sein.
2. Stellen Sie nun die beiden plankonvexen Linsen mit $f = 200$ mm in der gezeigten Weise auf. Der Abstand zwischen den beiden Linsen ist unkritisch (z.B. 10 cm und 15 cm). Wenn Sie nun den Schirm in die Brennebene der zweiten Linse stellen (also Abstand f), sollten Sie sehen können, dass dort der Lichtspalt scharf abgebildet wird. Diese Position spielt später noch eine wichtige Rolle.
3. Schieben Sie nun den Schirm so weit weg, dass der Abstand zur zweiten Linse ungefähr $L = 50$ cm beträgt.
4. Stellen Sie in die Mitte zwischen die beiden Linsen einen beliebigen Gegenstand G (z.B. ein Lineal). Bilden Sie mit einer dritten Linse (bikonvex, $f = 150$ mm) den Gegenstand scharf auf den Schirm ab.
5. Nun kommt der entscheidende Schritt: Stellen Sie die Kante (Schlierenkante) an die Stelle, an welcher der Spalt scharf abgebildet wurde. Schieben Sie nun die Kante soweit in den Strahlengang, dass nur noch sehr wenig Licht am Schirm ankommt. Dabei sollte von links nach rechts ein Farbverlauf sichtbar sein.
6. Untersuchen Sie nun folgende Objekte als Gegenstand G: Feuerzeugflamme (von unten), Feuerzeuggas (von oben), Heißluftfön (kurz nach dem Abschalten), Luftaustritt der Druckluftpistole. Können Sie die „Schlieren“ beobachten?
7. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen im logbook.