



Komplexpraktikum „Mechatronik“

Versuch 7

Spezielle optische Abbildungen

Gliederung	Seite
1. Versuchsziel.....	2
2. Versuchsaufgaben.....	2
3. Versuchsvorbereitung.....	2
3.1. Wirkungsweise einer Zylinderlinse.....	2
3.2. Anamorphotische Abbildung.....	3
3.3. Zur Wirkung einer Feldlinse.....	4
3.4. Die Glasfaser.....	6
3.5. Glasfasern zur Licht- oder Bildübertragung.....	6
3.6. Eigenschaften von Planplatten, Spiegeln und Prismen im Strahlengang.....	7
3.6.1. Schnittweitenversatz an einer Planparallelplatte.....	8
3.6.2. Bildortversetzung durch Halbwürfelprisma und Pentaprisma.....	9
3.6.3. 90°-Ablenkung an einer Planspiegelplatte.....	10
3.6.4. Winkelfehler an der Dachkante.....	11
4. Versuchsdurchführung.....	12
5. Versuchsauswertung.....	15
6. Geräte und Zubehör.....	16
7. Literatur.....	16

1. Versuchsziel

Realisierung praktisch wichtiger Abbildungsaufgaben, die über den klassischen Fall der einfachen Objekt-Bild-Zuordnung hinausgehen.

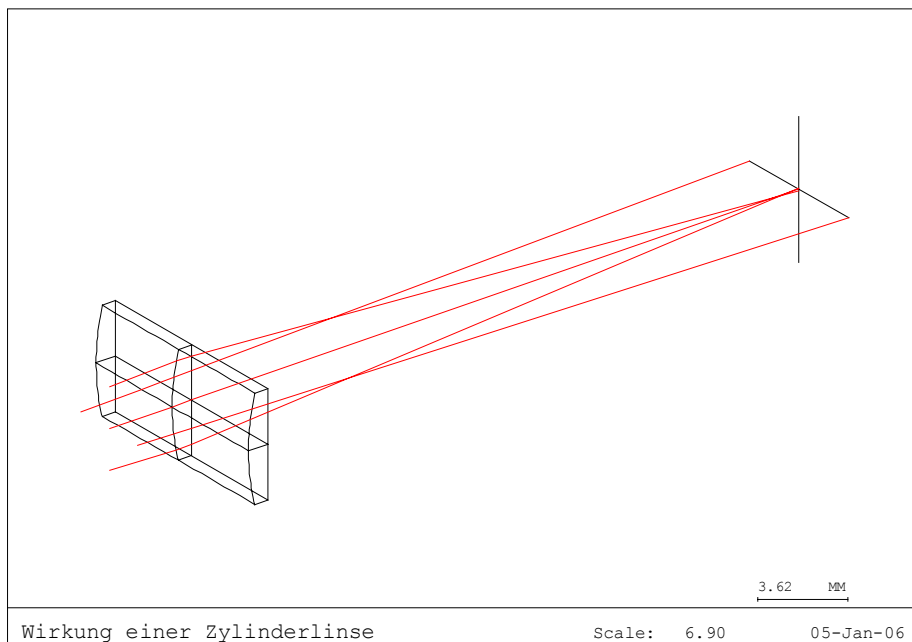
2. Versuchsaufgaben

- 2.1. Anamorphotische Abbildung
- 2.2. Abbildung eines Objektrasters über eine vorgegebene Strecke mit verschiedenen Beleuchtungsstärkeverteilungen
- 2.3. Abbildung einer Teststruktur mittels Glasfasern
- 2.4. Einbringen von Planparallelplatte, Pentaprisma, Halbwürfelprisma, Planspiegel und Planspiegelplatte sowie eines Dachkantspiegels in den Strahlengang zur Abbildung einer Teststruktur und Vergleich dieser optischen Bauelemente hinsichtlich ihrer optischen Eigenschaften und Besonderheiten

3. Versuchsvorbereitung

3.1. Wirkungsweise einer Zylinderlinse

Die Abbildung durch eine Zylinderlinse ist weder punktförmig noch ähnlich [1,2]. Während im wirksamen Schnitt für ein Strahlenbündel in paraxialer Näherung eine Strahlenvereinigung erfolgt, erfährt das Bündel im unwirksamen Schnitt lediglich eine Parallelversetzung (siehe Bild 1). Die Strahlen außerhalb der beiden Schnitte werden als windschief bezeichnet. Ein leuchtender Punkt wird von einer Zylinderlinse in eine Bildlinie transformiert



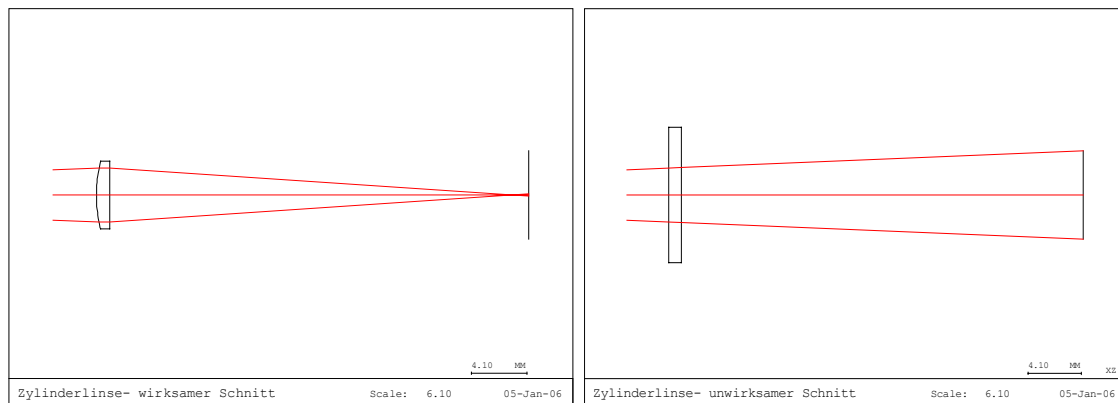


Bild 1: Zur Wirkung einer Zylinderlinse in den beiden ausgezeichneten Schnitten

Welche Orientierung muss eine Zylinderlinse haben, wenn diese von einem Linienobjekt ein reelles Bild entwerfen soll, in dem wieder Linien sichtbar werden?

3.2. Anamorphotische Abbildung

Die Eigenschaft, in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen ein Strahlenbündel verschieden stark zu brechen, wird als „amorph“ bezeichnet. Kombiniert man zwei Zylinderlinsen, so dass der wirksame Schnitt der ersten und der unwirksame Schnitt der zweiten Zylinderlinse in einer Ebene liegen, erhält man bei geeigneter Wahl des Linsenabstandes eine anamorphotische Abbildung (siehe Bild 2 und Bild 3).

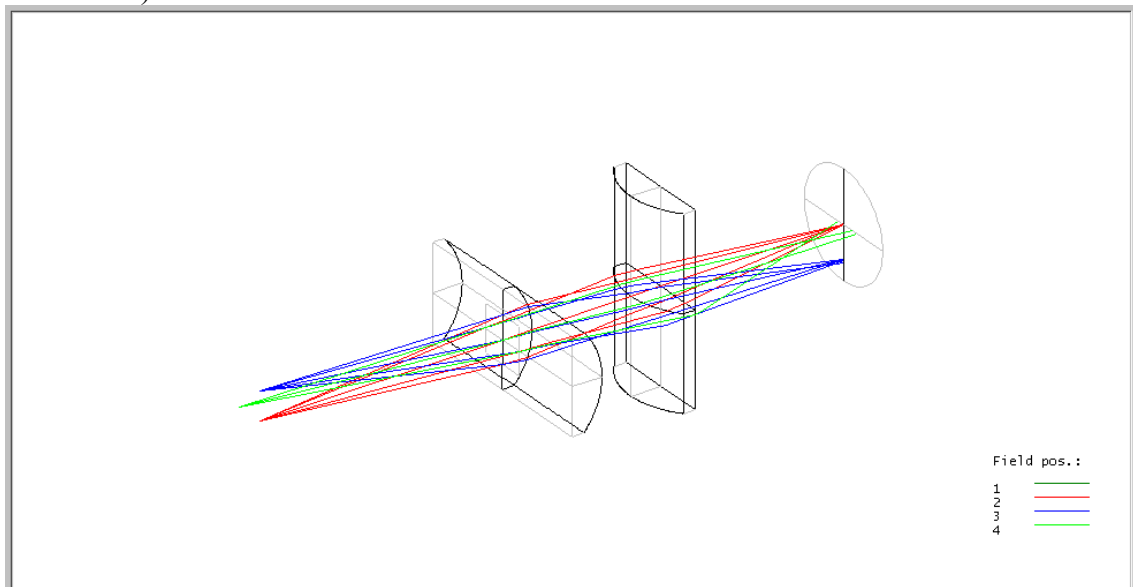


Bild 2: Anamorphotische Abbildung mit zwei Zylinderlinsen

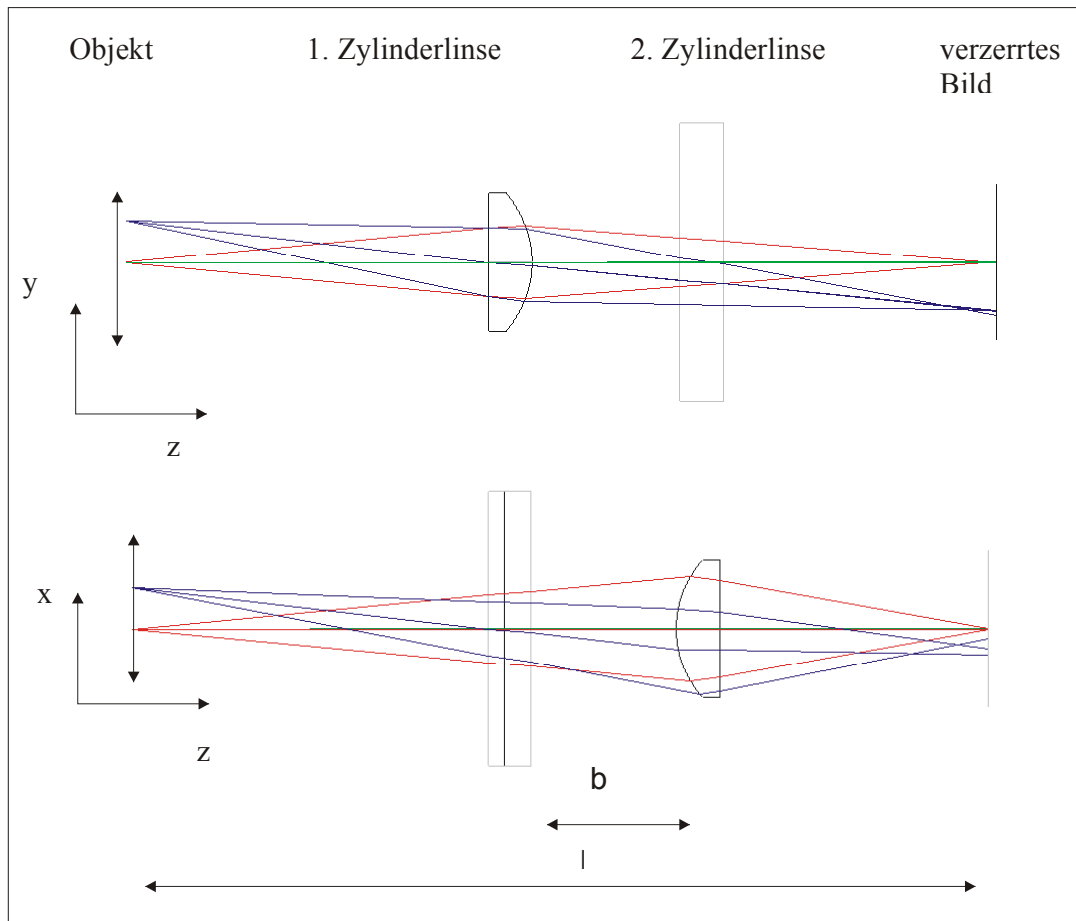


Bild 3: Zur Wirkungsweise der beiden Zylinderlinsen bei der anamorphotischen Abbildung

Im Versuch stehen 2 gleiche Zylinderlinsen mit unbekannter Brennweite $f_1' = f_2' = f'$ zur Verfügung. Sie sind so aufzubauen, dass das quadratische Objekt verzerrt reell in die Bildebene abgebildet wird. Während die x-Koordinate hierbei um den Faktor β_1' gestreckt wird, wird die y-Koordinate um den Faktor β_2' gestaucht. Die Brennweitenbestimmung erfolgt mit der BESSEL-Methode [5]:

$$f' = \frac{l^2 - b^2}{4l} \quad (1)$$

Leiten Sie die Beziehung (1) ab und begründen Sie die Anwendbarkeit dieser Beziehung!

3.3 Zur Wirkung einer Feldlinse bei der Abbildung eines Objektes

Zur Abbildung über eine vorgegebene Strecke mit einem vorgegebenen Abbildungsmaßstab sind verschiedene Systemaufbauten möglich, die sich in Aufwand, Bildqualität und Beleuchtungsstärke unterscheiden. Während die Bildqualität in erster Linie von den verwendeten optischen Systemen bzw. Objektiven abhängt (Objektiv ist günstiger als Einzellinse), wird die Beleuchtungsstärkeverteilung bei vorgegebenen freien Öffnungen vom geometrischen (Verwendung des kollinearen Modells) beeinflusst (siehe Bild 4).

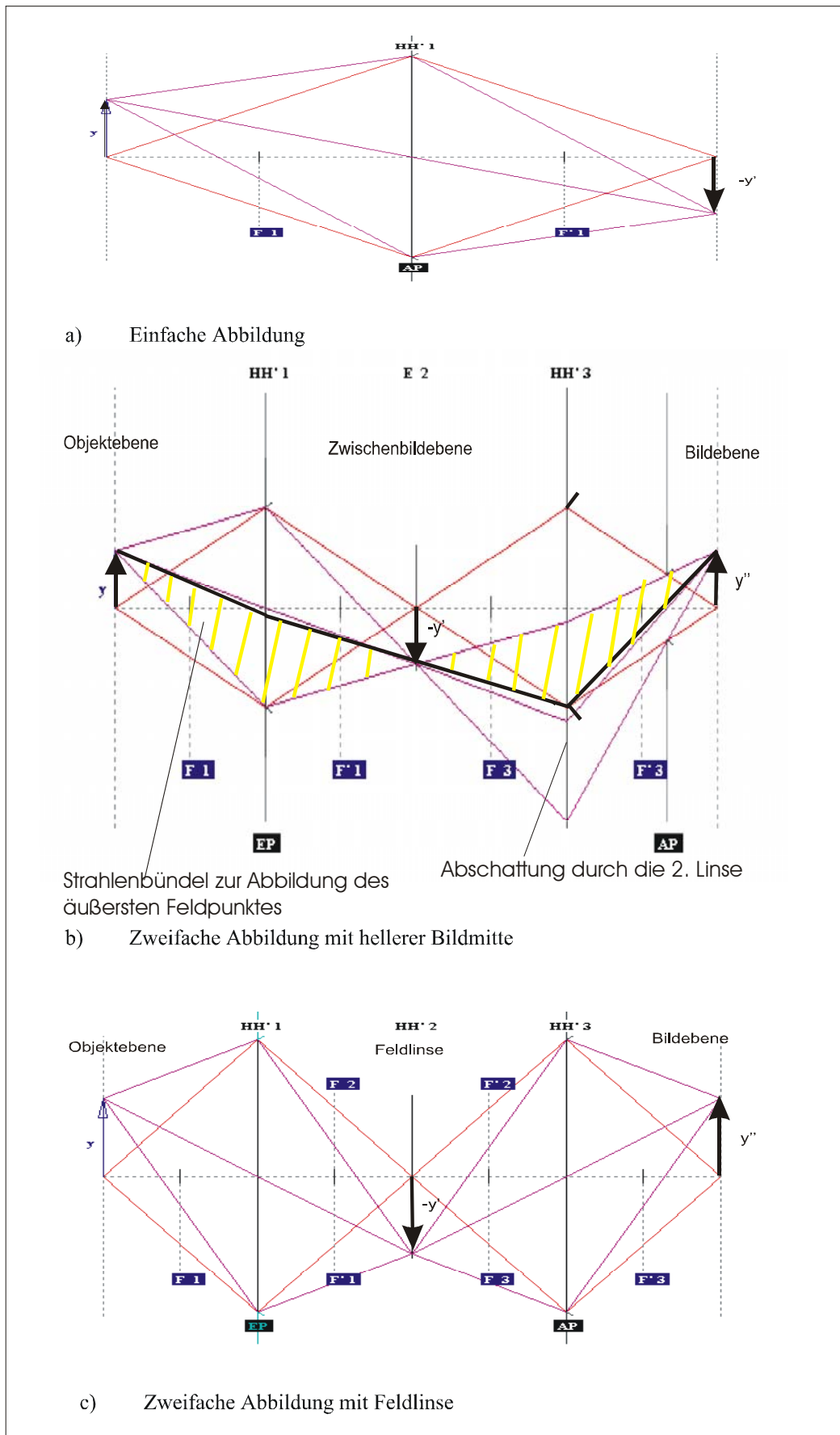


Bild 4: Abbildung mit vorgegebenem Objekt-Bildabstand und vorgegebenem Abbildungsmaßstab

Bei der einfachen Abbildung mit einer einzelnen Linse bzw. mit einem einzelnen Objektiv (H_1H_1') werden Bildmitte und Bildrand mit annähernd gleicher geringer Apertur abgebildet. Das Bild erscheint gleichmäßig dunkel (Bild 4a). Eine wesentliche Erhöhung der Beleuchtungsstärke in der Bildmitte erreicht man durch eine zweifache Abbildung wie in Bild 4b dargestellt. Die freie Öffnung dieser Systeme (Einzellinsen oder Objektive) ist gleich der des Systems im Bild 4a, aber ihre Brennweite ist nur noch halb so groß. Für den äußersten Bildpunkt verringert sich das abbildende Lichtbündel (schraffiert) wesentlich, so dass ein sehr starker Abfall der Beleuchtungsstärkeverteilung zum Bildrand hin festzustellen ist. Dieser Nachteil kann durch eine Feldlinse behoben werden (Siehe Bild 4c). Die Feldlinse befindet sich unmittelbar in der Zwischenbildebene und hat keinen Einfluss auf die Abbildung. Die Feldlinse bildet das erste System in das dritte System (H_1' in H_3) ab und lenkt damit das volle Bündel des außeraxialen Bildpunktes von der freien Öffnung des ersten Systems in die freie Öffnung des dritten Systems ab. Somit wird auch der äußerste Bildpunkt mit vollem Bündel abgebildet und das Bild erscheint gleichmäßig hell.

*Zeichnen Sie das abbildende Bündel für b) und c), wenn y größer als die freien Öffnungen von System 1 (H_1H_1') und System 3 (H_3H_3') ist!
Erklären Sie die Wirkung einer Feldlinse!*

3.4. Die Glasfaser

Glasfasern zur Lichtübertragung werden häufig in optischen Geräten angewendet [2], [4], [6].

Die einfachsten Glasfasern nutzen den Effekt der Totalreflexion zwischen dem Kernmaterial n_K und dem Materialmantel n_M . Der Aufbau solch einer Glasfaser ist in Bild 5 dargestellt.

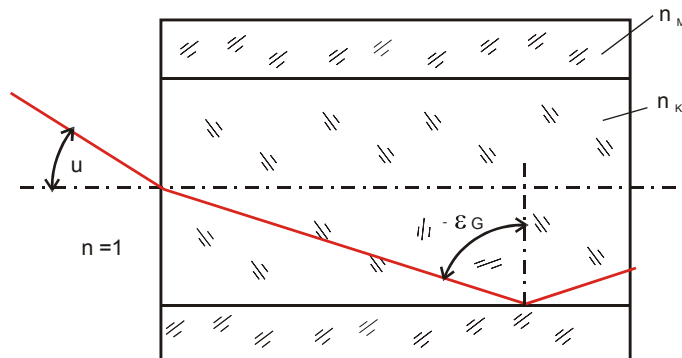


Bild 5: Zur Lichtleitung in einer Glasfaser mittels Totalreflexion

Die übertragbare Numerische Apertur ist:

$$NA = \sqrt{n_K^2 - n_M^2} \quad (2)$$

Leiten Sie die Beziehung (2) ab!

3.5. Glasfasern zur Licht- oder Bildübertragung

Die Glasfasern (Durchmesser 1 bis 200 μm) werden in Kabeln zusammengefasst, vergossen, am Ein- und Ausgang plangeschliffen und poliert. Sind die Fasern an den

Enden geordnet, werden sie als Bildleitkabel bezeichnet. Kabel mit ungeordneten Fasern dienen zu Beleuchtungszwecken und heißen Lichtleitkabel. Bild- und Lichtleitkabel sind biegsam und ermöglichen die Leitung um Hindernisse herum. Die Einkopplung in ein Bildleitkabel kann durch unmittelbares Aufsetzen des Kabelanfangs auf das leuchtende oder beleuchtete Objekt oder durch eine reelle Abbildung erfolgen. Bei der Auskopplung kann das nachgeschaltete optische System eine Nachvergrößerung ausführen, wobei die Bildauflösung durch die Anzahl der Glasfasern bzw. deren Durchmesser begrenzt ist.

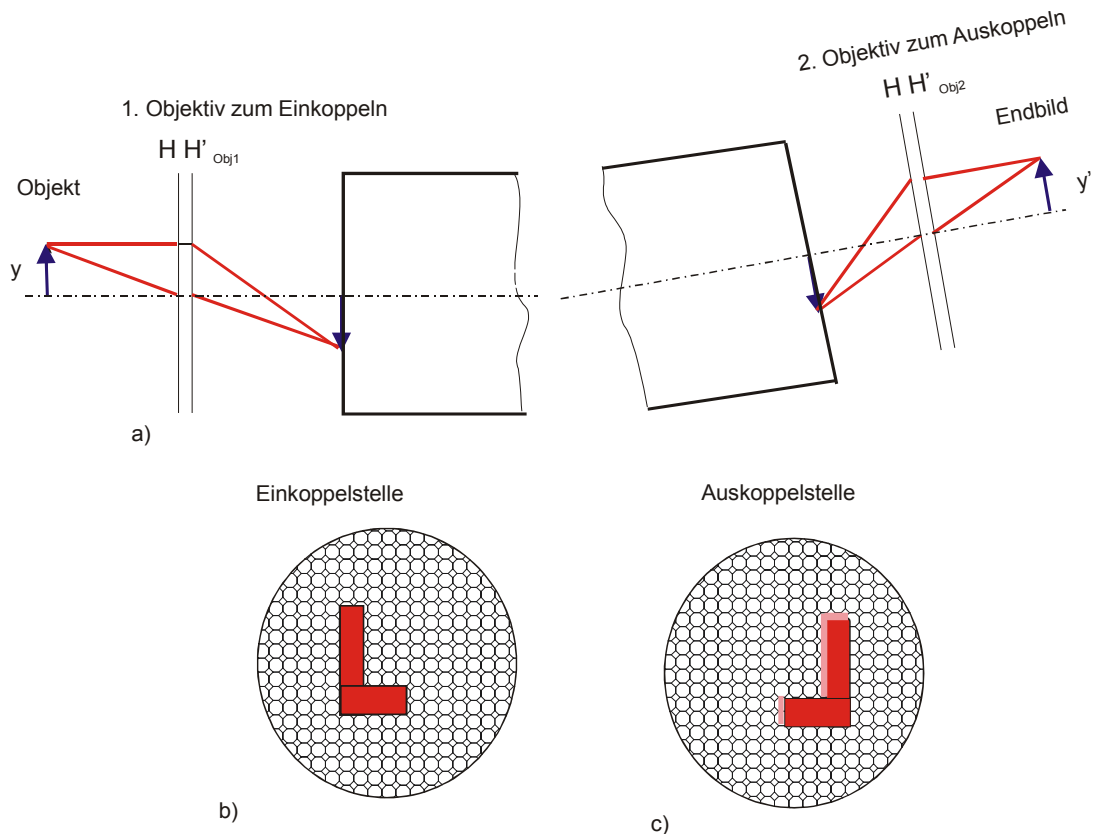


Bild 6: Zur Abbildung im Bildleitkabel

- a) Abbildung eines Objektes auf die Eingangsfläche des Bildleitkabels und Auskopplung mit Hilfe von Fotoobjektiven
- b) Eingangsfläche „L“ eines Bildleitkabels
- c) Rasterung auf der Ausgangsfläche; rot(schwarz): voll abgedeckte Fasern; Rosa (grau): teilabgedeckte Fasern

3.6. Eigenschaften von Planplatten, Prismen und Spiegeln im Strahlengang

Ein Testobjekt wird mit Hilfe eines Objektivs reell abgebildet.

Werden zwischen Objektiv und Bild ablenkende Elemente gebracht, so ändert sich die Entfernung Objektiv – Bild. Nur beim Oberflächenspiegel bleibt diese Entfernung unverändert. Die Bildortversetzung kann :

1. Durch Brechung der Strahlen an Ein- und Austrittsfläche der Glasplanplatte, bzw. der Reflexionsprismen und
2. durch die Verschachtelung des Strahlenganges im ablenkenden Element (z.B. Pentaprisma) hervorgerufen werden.

3.6.1. Schnittweitenversatz an einer Planparallelplatte

Planparallelplatte bilden ein reelles Objekt virtuell mit dem Abbildungsmaßstab $\beta' = +1$ ab. Sie kommen z.B. in der Mikroskopie als Deckglas, in der Fotografie als Filter oder in der Interferometrie als Strahlteiler vor.

Gegeben sei eine planparallele Planplatte der Brechzahl n und der Dicke d in Luft. Befindet sich die Planparallelplatte im abbildenden Strahlengang, so führt sie eine axiale Schnittweitenänderung (scheinbare Objektverschiebung) Δs ein (Siehe Bild 7). Ein einfallender Lichtstrahl wird zweimal gebrochen. Aus Symmetriegründen wird er dabei um die Strecke v parallel zu sich selbst versetzt.

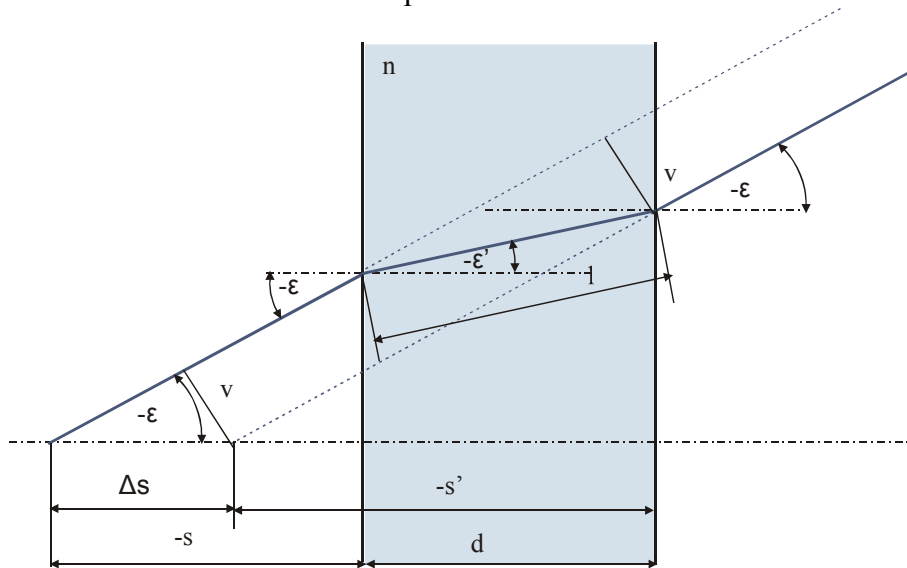


Bild 7: Strahlenverlauf an der planparallelen Platte

Die Schnittweitenänderung ist eine Funktion des Einfallswinkels und berechnet sich nach Beziehung (3).

$$\Delta s = d \left[1 - \frac{\cos \varepsilon}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon}} \right] \quad (3)$$

Somit erzeugt eine planparallele Platte kein punktförmiges Bild. Für sehr kleine Einfallswinkel, d. h. im paraxialen Gebiet, gilt für eine senkrecht zur optischen Achse positionierte Platte folgende Näherungsformel:

$$\Delta s = d - \frac{d}{n} \quad (4)$$

Bei $n = 1.5$ ergibt sich z. B. eine Schnittweitenänderung von $\Delta s = d/3$.

Leiten Sie die Beziehung (3) ab!

Eine planparallele Platte, die um eine senkrecht zum Meridionalschnitt stehende Achse drehbar ist, ermöglicht kleine Strahlversetzungen v . Sie wirkt damit als optisches Mikrometer. Die Parallelversetzung ergibt sich zu:

$$v = \Delta s \sin \varepsilon \quad \text{und im paraxialen Gebiet } (\varepsilon \text{ klein}): \quad v = \varepsilon d \frac{n-1}{n} \quad (5).$$

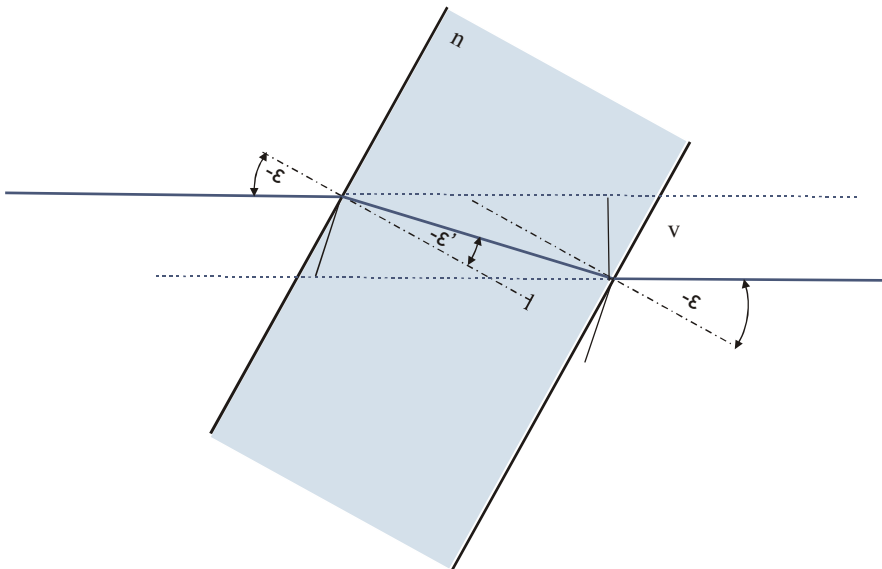


Bild 8: Planparallele Platte als optisches Mikrometer („Planplatten-Mikrometer“)

3.6.2. Bildortversetzung durch Halbwürfelprisma und Pentaprisma

Die Dicke der dem Reflexionsprisma entsprechenden planparallelen Platte folgt aus dem Strahlenverlauf im Prisma und hängt vom freien Durchmesser der Ein- und Austrittsfläche D ab.

Berechnen Sie die Schnittweitenänderung Δs des gegebenen Halbwürfelprismas, das eine Ablenkung von 90° realisieren soll!

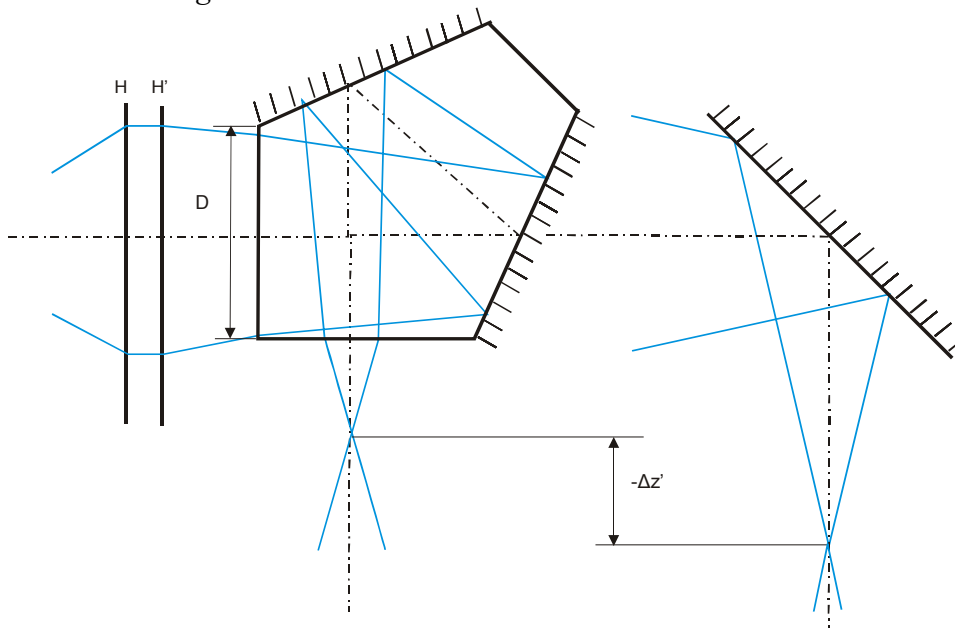


Bild 9: Bildortversetzung des Pentaprismas bezüglich des Planspiegels

Das Pentaprisma verursacht infolge des verschachtelten Strahlenganges eine Bildortversetzung zum Objektiv hin (Siehe Bild 9). Nach [1] beträgt der geometrische Weg der optischen Achse im Prisma:

$$d_{\text{penta}} = 2D + D\sqrt{2} = 3.414D,$$

während für den Spiegel: $d_{sp} = D$ ist. Ohne Berücksichtigung der Brechung ergibt sich eine Annäherung des Bildes an das Objektiv um:

$$\bar{d} = d_{Penta} - d_{Sp}$$

Diese wird teilweise durch die Schnittweitenänderung Δs_{Penta} kompensiert, so dass für die Bildortversetzung die Beziehung (6) folgt:

$$\Delta z' = \left(1 - \frac{2 + \sqrt{2}}{n} \right) D \quad (6)$$

Leiten Sie die Beziehung (6) ab und berechnen Sie die Bildortversetzung für das verwendete Prisma!

3.6.3. 90°- Ablenkung an einer Planspiegelplatte

Die Planspiegelplatte wirkt wie eine schräg stehende planparallele Platte mit der Plattendicke $2d$. Für die Schnittweitenänderung ergibt sich somit:

$$\Delta s = 2d \left[1 - \frac{\cos \varepsilon}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon}} \right] \quad (7)$$

Bei einer Ablenkung um 90° sind drei Bilder deutlich beobachtbar (Siehe Bild 10) :

- das Hauptbild nach zweimaliger Brechung und Reflexion an der Metallschicht (1),
- das Nebenbild durch die Reflexion an der Vorderfläche (2),
- das Nebenbild nach zweimaliger Reflexion an der Metallschicht (3).

Der seitliche Abstand der Bilder berechnet sich nach:

$$\Delta x' = 2 d \cos \varepsilon \tan \varepsilon'' \quad (8)$$

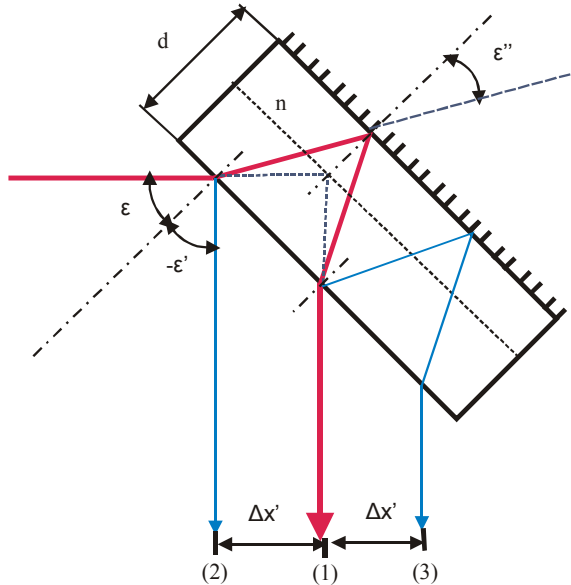


Bild 10: 90°-Ablenkung an einer Planspiegelplatte

3.6.4. Winkelfehler an der Dachkante

Dachkantprismen oder –spiegel bestehen aus zwei senkrecht aufeinander stehenden reflektierenden Flächen. Von einem Objekt entstehen zwei Bilder (Siehe Bild 11). Bild (A) entsteht aus zwei Strahlen, die zuerst am Spiegel (1) und dann am Spiegel (2) reflektiert werden, Bild (B) wird von den Strahlen gebildet, die zuerst vom Spiegel (2) und dann vom Spiegel (1) abgelenkt werden. Beträgt der Winkel zwischen beiden Spiegeln exakt 90° , fallen die Bilder (A) und (B) zusammen. Andernfalls entsteht ein Doppelbild. Die Verkippung eines Dachkantspiegels um $2\Delta\gamma$ bewirkt eine **Bildverschiebung**: $\Delta y' = d_2 \cdot \Delta\sigma'$.

Die Auswirkung des **Winkelfehlers $2\Delta\gamma$** auf die Strahlablenkung $\Delta\sigma'$ ist in [1] ausführlich berechnet. Für die gegebene Versuchsanordnung folgt eine Beeinflussung der y- Richtung nach:

$$\Delta\sigma'_{\text{theoretisch}} = 4 \Delta\gamma \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

Erklären Sie, wie die Beziehung (9) abgeleitet werden kann!

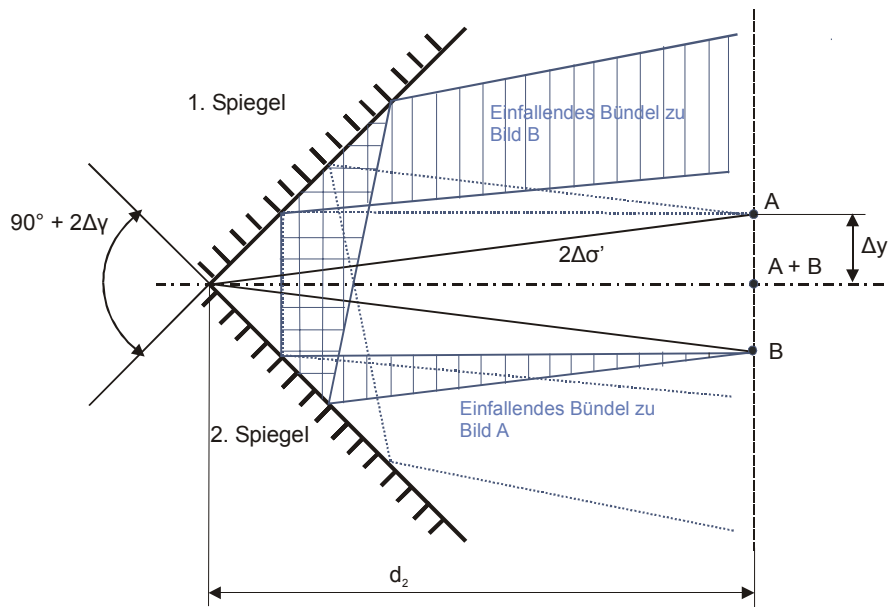


Bild 11: Entstehung eines Doppelbildes an der Dachkante

Zur Überprüfung von Beziehung (9) wird ein Dachkantspiegel um einen definierten Betrag $2\Delta\gamma$ verkipppt und die Bildverschiebung $\Delta y' = |\beta'| \cdot \Delta y$, mit $\beta' = \frac{f'}{a + f'}$, beobachtet.

Als Maßverkörperung dient der definierte Objektabstand Δy , so dass bei bekannter Objektschnittweite a die realisierte Richtungsänderung nach Beziehung (10) berechnet werden kann:

$$\tan \Delta\sigma'_{\text{Messung}} \approx \Delta\sigma'_{\text{Messung}} = \frac{\Delta y'}{d_2} = \frac{f'}{a + f'} \frac{\Delta y}{d_2} \quad (10)$$

Im Versuch sind die theoretisch berechneten Werte für die Ablenkung nach (9) mit der sich aus den Messwerten ergebenden Ablenkung nach (10) zu vergleichen!

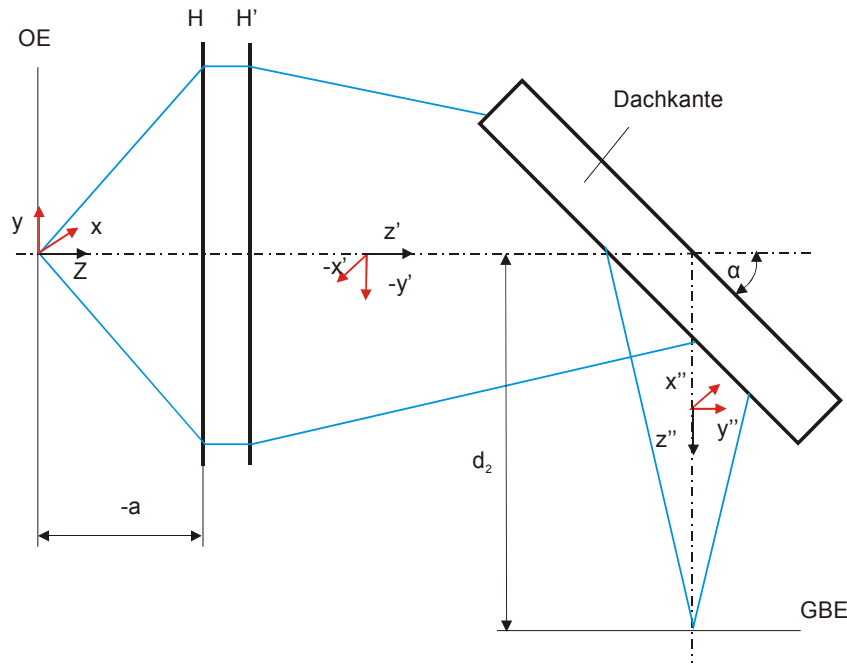


Bild 12: Zur Bildlagenänderung am Dachkantspiegel

4. Versuchsdurchführung

4.1. Anamorphotische Abbildung

Zur anamorphotischen Abbildung werden Objekttraster und Auffangschirm senkrecht zur optischen Achse im Abstand $l > 600 \text{ mm}$ aufgestellt. Bilden Sie zunächst das Kreuzraster mit einer Zylinderlinse vergrößert ab und zeichnen Sie das entworfene Bild. Installieren Sie dann die zweite Zylinderlinse entsprechend Bild 3. Verschieben Sie diese solange, bis das Kreuzraster mit zwei verschiedenen Abbildungsmaßstäben annähernd scharf abgebildet wird. Messen Sie:

$$\beta_1' = \frac{y'}{y} \quad \text{und} \quad \beta_2' = \frac{x'}{x} \quad \text{sowie} \quad b.$$

Bewerten Sie visuell die Bildqualität. Wiederholen Sie die Messung für 2 andere Werte von l !

Wie ändert sich das Bild, wenn Sie die beiden Zylinderlinsen vertauschen, d. h. zuerst die zweite Zylinderlinse und danach die erste Zylinderlinse installieren?

4.2. Zur Wirkung einer Feldlinse bei Abbildung eines Objektes

Zur Abbildung über eine vorgegebene Strecke bei gegebenem Abbildungsmaßstab werden Objekt- und Bildebene in einer Entfernung von ca. 1m aufgestellt. Bauen Sie nacheinander die Anordnungen nach Bild 4. a), b), c) auf, wobei der Gesamtabbildungsmaßstab $|\beta'|$ etwa konstant bleiben soll. Suchen Sie aus den vorgegebenen vier Linsen die passenden aus. Notieren Sie qualitativ Aufwand, Bildqualität sowie Beleuchtungsstärkeverteilung in der Mitte und am Rand für die verschiedenen Aufbauten.

Beachten Sie, dass beim Übergang von a) nach b) eine zusätzliche Verschiebung der Bildebene erforderlich ist, um den Abbildungsmaßstab konstant zu halten!

4.3. Zur Licht- und Bildübertragung mittels Glasfasern

Die Glasfaserabbildung wird mit dem Bildleitkabel (quadratische Eintrittsfläche) begonnen. Die farbige quadratische Teststruktur wird so über ein Fotoobjektiv in das Kabel eingekoppelt, dass die Eintrittsfläche des Bildleitkabels vollständig ausgeleuchtet wird. Betrachten Sie das Bild am Ausgang. Hat sich die Bildlage am Ausgang gegenüber der Bildlage am Eingang des Bildleitkabels verändert? Schätzen Sie die Bildqualität ein!

Projizieren Sie beim Auskoppeln das Bild in ein Format von $(25 \times 25) \text{ mm}^2$ auf einen Schirm. Vergleichen Sie die Bildqualität von Original und Projektion.

Wiederholen Sie den Versuch mit dem Lichtleitkabel!

Treffen Sie Aussagen zur Bildqualität und zur Anzahl der Glasfasern des Lichtleitkabels.

Hinweis: Für die Abschätzung der Glasfaseranzahl ist eine starke Vergrößerung des Kabelausganges notwendig!

4.4. Zu den Eigenschaften von Planplatten, Spiegeln und Prismen im Strahlengang

4.4.1 Planparallelplatte

Leuchten Sie das Objektrastrer mit der Beleuchtungseinrichtung unter Verwendung einer Mattscheibe gleichmäßig aus. Der Objektstand (Abstand: Objektrastrer – Objektivblendenrand) betrage ca. $a = 560 \text{ mm}$. Stellen Sie die kurze optische Bank fluchtend hinter die lange. Stellen Sie den Prismenreiter hinter den Objektivreiter und suchen Sie das scharfe Bild ohne Prismenwürfel bzw. Planparallelplatte. Die reelle Abbildung liefert im Bild die übliche Achsenorientierung. Messen Sie den Abstand Prismenreiter – Bildebenenreiter.

Legen Sie den Prismenwürfel, bzw. die Planparallelplatte auf und suchen Sie erneut das scharfe Bild. Messen Sie den Abstand Prismenreiter - Bildebenenreiter. Wiederholen Sie die Messung dreimal!

Beobachten Sie die Bildauswanderung bei Kippung der Planparallelplatte (ca. 5 bis 10°) um die optische Achse! Notieren Sie die Bildorientierung!

4.4.2. Pentaprisma

Die kleine optische Bank ist senkrecht zur großen optischen Bank in Höhe des Prismenreiters zu orientieren (Siehe Bild 9). Legen Sie dazu das Pentaprisma auf den Prismenreiter. Suchen Sie das scharfe Bild auf dem Auffangschirm. Zur genauen Einstellung des rechten Winkels zwischen den optischen Bänken verschieben Sie den Auffangschirm axial und kontrollieren die Veränderung des Leuchtflecks auf dem Schirm. Der rechte Winkel ist dann hinreichend genau gefunden, wenn der Leuchtfleck beim Verschieben symmetrisch zur Mittellinie bleibt. Nachdem das vom Pentaprisma entworfene scharfe Bild gefunden ist, messen Sie den Abstand Prismenreiter – Bildebenenreiter. Wiederholen Sie die Messung dreimal! Notieren Sie die Bildorientierung!

4.4.3. Halbwürfelprisma

Ersetzen Sie das Pentaprisma durch ein Halbwürfelprisma. Messen Sie entsprechend 4.4.2.

Notieren Sie die Bildorientierung!

4.4.4. Oberflächenspiegel

Ersetzen Sie das Halbwürfelprisma durch einen Oberflächenspiegel. Messen Sie entsprechend 4.4.2.

Notieren Sie die Bildorientierung!

4.4.5. 90° Ablenkung an einer Planspiegelplatte

Die Ablenkung durch die Planspiegelplatte wird durch Umdrehen des Oberflächenspiegels realisiert. Positionieren Sie den Prismenreiter auf der langen optischen Bank so, dass keine Neuorientierung der kurzen optischen Bank notwendig wird. Stellen Sie die Bildebene des Hauptbildes (1) scharf ein und messen Sie die seitlichen Abstände $\Delta x'$ zwischen mindestens 3 Bildern am Auffangschirm (Bild 10). Notieren Sie die Bildorientierung!

4.4.6. Winkelfehler an der Dachkante

Ersetzen Sie den Prismenreiter durch den Dachkantreiter. Verschieben Sie die Dachkante, bis das Bild in der Mitte des Auffangschirms erscheint. Achten Sie darauf, dass beide Spiegel der Dachkante vom Strahlenbündel beleuchtet werden. Stellen Sie das scharfe Bild ein und messen Sie den Abstand d_2 (Dachkantreiter – Bildebene). Siehe Bilder 11 und 12!

Notieren Sie die Bildorientierung!

Justieren Sie den oberen Spiegel, bis beide Bilder zusammenfallen. Messen Sie die Bildauswanderung für $2\Delta\gamma = 0,25^\circ; 0,5^\circ; 0,75^\circ$ und 1° , indem Sie die Kästchen, um die die Bilder verschoben werden, auszählen (ein Kästchen entspricht 1mm, eine Umdrehung der Schraube am Kipptisch entspricht $0,5^\circ$).

Beachten Sie, dass somit der definierte Objektastand Δy als Maßverkörperung dient und $\Delta y'$ über den Abbildungsmaßstab ausgerechnet werden muss!

5. Versuchsauswertung

5.1. Anarmophotische Abbildung

Stellen Sie für die anamorphotische Abbildung β'_1 , β'_2 , l und b zusammen.
Berechnen Sie die Brennweite der Zylinderlinsen als Mittelwert der drei Messungen.

5.2. Zur Wirkung einer Feldlinse bei Abbildung eines Objektes

Werten Sie die in 4.2. erhaltenen Bildeindrücke nach Aufwand, Bildqualität und Beleuchtungsstärkeverteilung. Wie kann eine bessere Bildqualität erreicht werden?

5.3. Zur Licht- und Bildübertragung mittels Glasfasern

Vergleichen Sie die Bildqualität der Glasfaserabbildung mit beiden Kabeln.

5.4. Zu den Eigenschaften von Planplatten, Spiegeln und Prismen im Strahlengang

Vergleichen Sie tabellarisch für a) Planparallelplatte, b) Planspiegel, c) Halbwürfelprisma, d) Pentaprisma, e) Dachkantspiegel folgende Größen:

1. Theoretisch mögliche Ablenkung
2. Ermittelte Bildorientierung
3. Paraxiale Schnittweitenänderung Δs
4. Theoretisch und gemessene Bildortversetzung $\Delta z'$

Charakterisieren Sie Besonderheiten und Ausnahmen der verwendeten optischen Bauelemente. Berechnen Sie aus der gemessenen paraxialen Schnittweitendifferenz die Brechzahl der Planparallelplatte und vergleichen Sie das Ergebnis mit der angegebenen Brechzahl der Platte.

5.5. Zum Winkelfehler an der Dachkante

Stellen Sie in einer Tabelle für die eingestellten Werte der Verkippung des oberen Spiegels $2\Delta y$ folgende berechnete und gemessene Werte gegenüber:

1. Theoretisch berechnete Richtungsänderung $\Delta\sigma'_{\text{theoretisch}}$ nach (9)
 2. Abgelesener Abstand Δy
 3. Aus der Messung ermittelte Bildverschiebung $\Delta y' = |\beta'| \Delta y$
 4. Aus der Messung ermittelte Richtungsänderung $\Delta\sigma'_{\text{Messung}}$ nach (10)
- Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse!

6. Geräte und Zubehör

1	Optische Bank 1m		
1	Optische Bank 0,3m		
3	Linsen	$\varnothing 70\text{mm}$,	$f' \approx 100 \text{ mm}$
1	Linse	$\varnothing 70\text{mm}$,	$f' \approx 220 \text{ mm}$
2	Zylinderlinsen	$\varnothing \approx 50\text{mm}$,	$100\text{mm} < f' < 160 \text{ mm}$
1	Glasplanplatte	$n = 1.52 \text{ (BK7)}$	$d = 22 \text{ mm}$
1	Halbwürfelprisma	$n = 1.52 \text{ (BK7)}$	$D = 44 \text{ mm}$
1	Pentaprisma	$n = 1.52 \text{ (BK7)}$	$D = 51 \text{ mm}$
1	Gliedermaßstab		
2	Fotoobjektive Tessar 4,5/50		
1	Bildleitkabel		
1	Lichtleitkabel		
1	Fotoobjektive Tessar 4,5/210		
1	Optische Bank 0,3m		
1	Quadratisches Objekt (ca. $25 \times 25 \text{ mm}^2$) oder Dia ($24 \times 36 \text{ mm}^2$)		
1	Objektraster mit Koordinatensystem		
1	Auffangschirm		
1	Großes quadratisches Objektraster mit horizontalen und vertikalen Linien		
1	Planspiegel/ Planspiegelplatte mit $n = 1.52 \text{ (BK7)}$, $d = 10 \text{ mm}$		
1	Prismenreiter		
1	Dachkantspiegel, justierbar mit Reiter		

7. Literatur

- [1] Haferkorn, H.: Optik, WILEY-VCH Verlag; Weinheim, 2003
- [2] Naumann, H./ Schröder, G: Bauelemente der Optik, Carl Hanser Verlag; München; Wien, 1992
- [3] Schröder, G.: Technische Optik, Vogel Buchverlag Würzburg, 1990
- [4] Hecht, E.: Optik, Oldenbourg Verlag; München; Wien, 2001
- [5] Versuchsanleitung Technische Optik: Brennweitenmessung
- [6] Tiedeken, R. : Fibre Optics and its Applications, The Focal Press, London, New York 1972