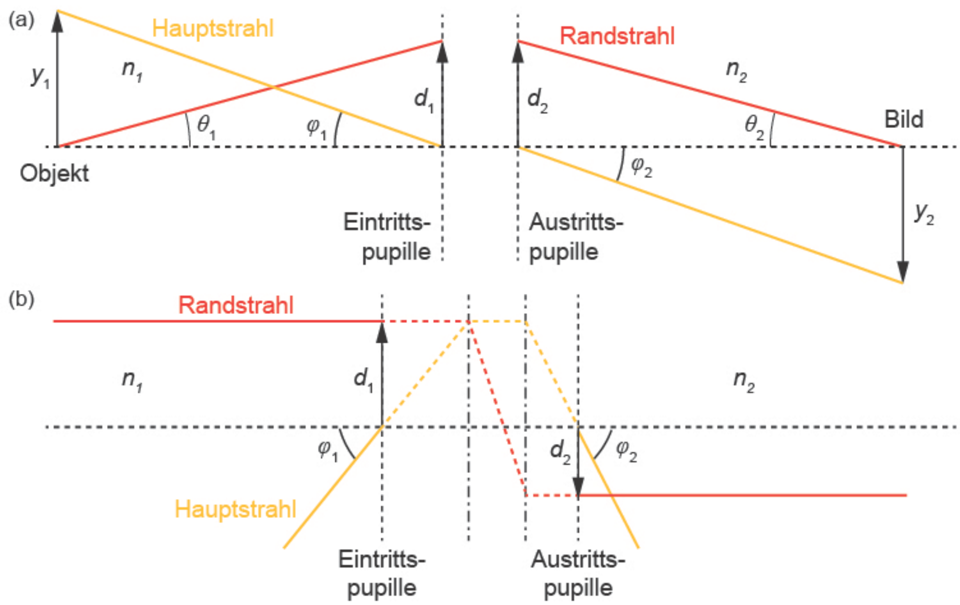
Teil V: Medizintechnik

29 Optische Bildgebung in Diagnostik und Therapie – Operationsmikroskopie und Endoskopie: Lösungen

Michael Kaschke und Michael S. Rill

Lösung zu 29.1 Lagrange-Invariante

Abbildung 29.1.1 Anschauung des optischen Pfads zur Herleitung der Gleichung für den Fall (a) einer endlichen Objekt- und Bildweite und für den Fall (b) eines afokalen optischen Systems.



Der Ausgangspunkt ist die Formulierung der Langrange-Invariante für die voneinander (linear) unabhängigen Randstrahlen (rot) und Hauptstrahlen (gelb) in Abbildung 29.1.1. Die Lagrange-Invariante für diesen allgemeinen Fall lautet

$$H = n\,\varphi\,d - n\,y\,\theta\ . \qquad (29.1.1)$$

Für fokale Systeme vereinfacht sich Formel (29.1.1), da man die Gleichung in der Objekt- und Bildebene formuliert und dort der Abstand d des Hauptstrahls von der optischen Achse gleich Null ist. Es ergibt sich dann sofort Formel (29.4):

$$H = -n_1\,y_1\,\theta_1 = -n_2\,y_2\,\theta_2 \quad . (29.1.2)$$

siehe hier: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de

Für hochaperturige Systeme (siehe Aufgabe 29.2) ersetzt man den Winkel θ durch $\sin\theta$.

Bei afokalen Systemen gibt es keine Objekt- bzw. Bildebene und damit formuliert man die Lagrange-Invariante am besten für die Eintritts- bzw. Austrittspupille. Mit Formel (29.1.2) und Abb. 29.1.1 (b), die objektseitig den Hauptstrahl (gelb) mit Feldwinkel φ und den Randstrahl (rot) mit halbem Pupillen-Durchmesser d zeigt, vereinfacht sich die Lagrange-Invariante wegen $y = 0$ zu

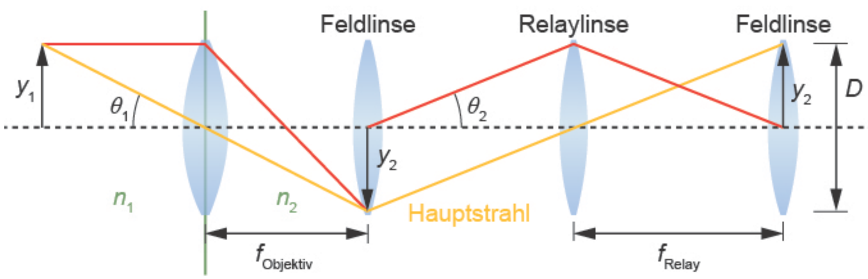
$H = n\, d\, \varphi$ (29.1.3)

bzw.

$n_1\, d_1\, \varphi_1 = n_2\, d_2\, \varphi_2$. (29.1.4)

Lösung zu 29.2 Linsenendoskope

Abbildung 29.1.2 Anschauung des optischen Pfads zur Berechnung des Aperturwinkels in den Zwischenbildern der Relayoptiken



Aus Formel (29.4) folgt die Lagrange-Invariante H unter Berücksichtigung, dass wir hier große Winkel betrachten (siehe Aufgabe 29.1) und daher die Numerische Apertur NA=$n \sin\theta$ verwenden, zu

$H = n_1\, y_1 \sin\theta_1 = 1{,}34 \cdot (0{,}5\ \text{mm}/2) \cdot \sin 40° = 0{,}215\ \text{mm}$, (29.1.5)

wobei y_1 gleich dem halben Sichtfelddurchmesser $(d/2)$ gesetzt wurde. Die Zwischenbilder befinden sich in Luft ($n_2 = 1$) und haben näherungsweise den halben Durchmesser $y_2 \approx D/2$ des Systems (Abb. 29.1.2). Der Aperturwinkel im Zwischenbild ergibt sich dann aus der Invariante

$H = 1 \cdot \frac{D}{2} \cdot \sin\theta_2$ (29.1.6)

zu

$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{H}{D/2}\right) = \arcsin\left(\frac{0{,}215\ \text{mm}}{4\ \text{mm}/2}\right) = 6{,}2°$. (29.1.7)

CC BY NC SA siehe hier: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de

Man kann darüber hinaus die Anzahl N der Relaysysteme berechnen, die zur Überbrückung der Gesamtlänge $L = 200$ mm benötigt werden. Jedes Relaysystem besteht laut Aufgabenstellung aus einer (dünnen) Relaylinse und 2 (dünnen) Feldlinsen. Mit der Brennweite des Mittelobjektivs

$f_{\text{Relay}} = \frac{\mathrm{D}}{2\sin\theta_2} = 18{,}31$ mm (29.1.8)

und der Länge eines Relaysystems $L_{\text{Relay}} = 2\,f_{\text{Relay}}$ folgt die Anzahl benötigter Relaysysteme zu

$N = L/L_{\text{Relay}} = 5{,}4$. (29.1.9)

Da Objekt und Bild sich außerhalb der Relay-Optik befinden ergibt das 5 Module.

Lösung zu 29.3a

Lösung siehe Abschn. 29.3.1 und Abb. 29.7.

Lösung zu 29.3b

1. Auflösung und Vergrößerung genügend groß, um feine Strukturen visualisieren zu können. Typischerweise liegt die Vergrößerung im Bereich von 3x bis 40x.
2. Variable Vergrößerung und Feldgröße. Dies wird durch z.T. stufenlose Zoomsysteme erreicht.
3. Genügend hohe Tiefenauslösung (Stereoauflösung) bei genügend hoher Tiefenschärfe
4. Hohe optische Abbildungsqualität, um eindeutige Bildinformationen bereit zu stellen
5. Genügend hoher (eventuell variabler) Arbeitsabstand.
6. Optimale Beleuchtung des OP-Felds, d.h. hoher Kontrast, helles Bild, Farbentreue bzw. Hervorhebung durch Fluoreszenz-Technologien
7. Geringe Vignettierung und möglichst wenige Reflexe
8. Stabile Aufhängung der Optik und trotzdem flexible Positionierung mittels Stativ
9. Sterilisierbarkeit der Bedienelemente
10. Zusätzliche Einblickports z.B. für OP-Assistenz und Training

siehe hier: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de