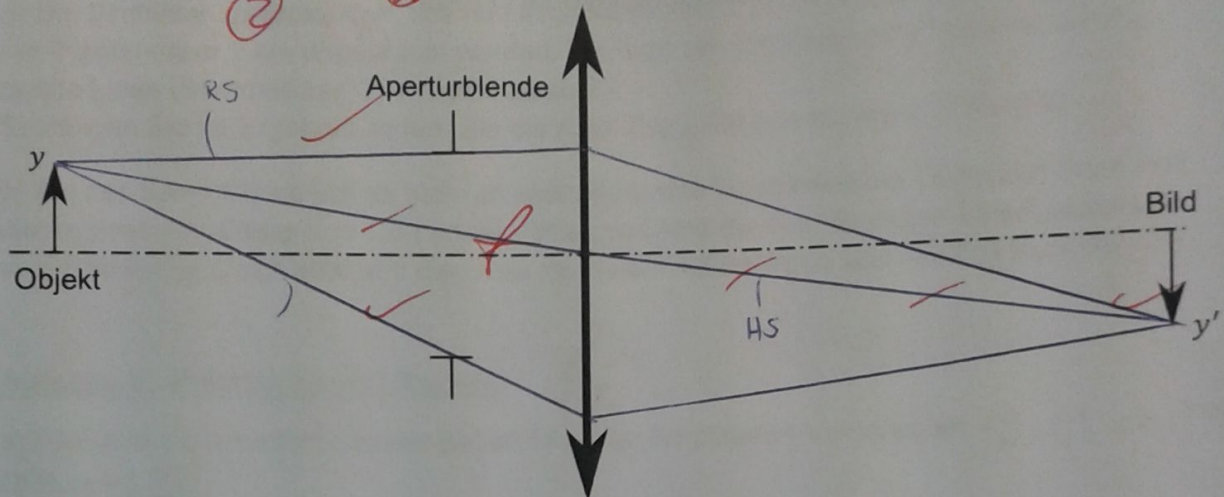


Aufgabe I: Fragen über Fragen (27 Punkte)

- a) Wie unterscheiden sich die Grundgesetze der geometrischen Optik und der paraxialen Optik? (2 Punkte) 2
- b) Ein optisches System besteht aus 40 Flächen. Jede Fläche weist eine Reflektivität von 4 Prozent auf. Wie groß ist die Gesamttransmission des optischen Systems? (1 Punkt) 7
- c) Zeichnen Sie die zwei Randstrahlen sowie den Hauptstrahl vom Objekt bis zum Bild in die untere Skizze ein. (3 Punkte) 13



- d) Was muss bei einem optischen System verändert werden, um die Schärfentiefe zu erhöhen. Welcher Nachteil ergibt sich daraus? (2 Punkte) 7,5
- e) Welchen Kontrast weisen zwei benachbarte Punkte auf, die nach dem Rayleighkriterium gerade noch aufgelöst werden können? (1 Punkt) 7
- f) Skizzieren Sie ein 4f-System und kennzeichnen Sie die Fourier-Ebene. (2 Punkte) 2
- g) Skizzieren Sie die Modulationsübertragungsfunktion eines optischen Systems einmal mit und einmal ohne Streulicht. (2 Punkte) 2
- h) Wann spricht man von einem optisch aktiven Stoff? (1 Punkt) 7
- i) Nennen Sie das Grundprinzip eines konfokalen Mikroskops. (1 Punkt) 7
- j) Nennen Sie 3 verschiedene Fluoreszenz-Mikroskopieverfahren (Abkürzung und vollständiger Name). (3 Punkte) 3
- k) Was bedeutet bei Fasern der sogenannte „Vergleichsparameter“ V? (1 Punkt) 0,5
- l) Erklären Sie den Begriff Winkeldispersion. (1 Punkt) 7

06.02.2017

Klausur zu Optische Systeme in der Medizintechnik



- m) Für welche Objekte würden Sie das Zernike-Phasenkontrastverfahren anwenden?
(1 Punkt) 1
- n) Was kann durch das Fluobild bei einer Kontaktlinsenanpassung bestimmt werden?
(1 Punkt) 1
- o) Was wird mit einem Pachymeter gemessen? Nennen Sie zwei Funktionsprinzipien.
(2 Punkte) 2
- p) Was ist der Sinn/Zweck einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) bei der spektralen Bildgebung? (1 Punkt)
- q) Was versteht man unter einem Akkommodations-Vergenz-Konflikt in der 3D-Bildgebung?
(1 Punkt) 1
- r) Was versteht man unter der Shannon Zahl? Ist diese bei einer digitalen Spiegelreflexkamera oder bei einer Smartphone-Kamera größer? (1 Punkt) 1

Aufgabe II: Optisches System aus zwei Linsen (21 Punkte)

(20,5)

Ein optisches System (umgeben von Luft) bestehend aus einer Zerstreuungslinse mit $f'_1 = -5 \text{ cm}$ und einer dahinterliegenden Sammellinse mit $f'_2 = 4 \text{ cm}$. Die Linsen befinden sich im Abstand von $d = 4 \text{ cm}$.

Bis einschließlich Aufgabenteil d) alle Linsen als dünne Linsen annehmen.

- Berechnen Sie die Gesamtbrechkraft dieses Linsensystems in Dioptrien sowie die Lage der Hauptebenen a_{1H} und a'_{2H} . (4 Punkte) (3,5)
- Zeichnen Sie das Linsensystem im Maßstab 1:1 und tragen Sie folgende Strecken ein: f'_1, f'_2, a'_{2H} , sowie f'_{ges} . (5 Punkte) (5)
- 3 cm links von der Zerstreuungslinse befindet sich ein Objekt. Wo entsteht das Bild dieses Gegenstandes bei einer Abbildung durch das gesamte Linsensystem, bezogen auf die Sammellinse $s'_{2,0 \text{ Sammellinse}}$? (3 Punkte) (3)
- Um Bildfehler zu vermeiden, soll nun in die Mitte zwischen den beiden Linsen eine Blende mit Durchmesser 2 cm angebracht werden. Wo liegt die Austrittspupille bezogen auf die zweite Linse (Sammellinse)? Wie groß ist sie? Bestätigen Sie Ihr Ergebnis, indem Sie die Austrittspupille konstruieren. (4 Punkte) (4)
- Bei der Sammellinse soll es sich um eine bikonvexe Linse mit einer Dicke von 3 cm und einem Brechungsindex von 1,5 handeln. Wie groß sind die Radien dieser Linse, wenn sie vom Betrag her gleich sind und die Linse mindestens 2 cm hoch sein soll? (5 Punkte) (5)

Aufgabe III: Polarisation (11 Punkte)

(9,5)

- Welchen Polarisationszustand geben folgende Amplituden-Vektoren an: $\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$, und $\begin{pmatrix} 5 \\ 1 \end{pmatrix}$? (3 Punkte) (2)
- Eine linear polarisierte, um 45° gedrehte Welle, passiert einen Rotator. Bestimmen Sie den Jones-Vektor der Welle nach dem Rotator, wenn dieser die Welle um 30° dreht. (4 Punkte) (4)
- Eine in x-Richtung linear polarisierte Welle trifft auf eine $\lambda/4$ -Platte $P_{\lambda/4, x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$, deren schnelle Achse um 30° gegenüber der x-Achse gedreht ist. Bestimmen Sie den Jones-Vektor nach der $\lambda/4$ -Platte. (4 Punkte) (3,5)

Aufgabe IV: Laser (7,5 Punkte)

(6,5)

Ein Laser emittiert bei einer Wellenlänge $\lambda = 500 \text{ nm}$ eine Leistung von 5 Watt in der Grundmode. Der minimale Strahlradius beträgt $w_0 = 1 \text{ mm}$ bei $z = 0$.

- Welche Photonen-Energie emittiert der Laser? ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$). (1,5 Punkt) (1,5)
- In welcher Entfernung ist der Strahlradius $w_{(z)}$ auf 5 cm angewachsen? (3 Punkte) (2,5)
- Sie wollen mit dem Laser ein Signal übertragen. Bei welcher Entfernung sind noch 20 Prozent seiner Anfangsintensität auf der optischen Achse vorhanden. (3 Punkte) (1,5)

Aufgabe II: Optisches System aus zwei Linsen (21 Punkte)

(20,5)

Ein optisches System (umgeben von Luft) bestehend aus einer Zerstreuungslinse mit $f'_1 = -5 \text{ cm}$ und einer dahinterliegenden Sammellinse mit $f'_2 = 4 \text{ cm}$. Die Linsen befinden sich im Abstand von $d = 4 \text{ cm}$.

Bis einschließlich Aufgabenteil d) alle Linsen als dünne Linsen annehmen.

- Berechnen Sie die Gesamtbrechkraft dieses Linsensystems in Dioptrien sowie die Lage der Hauptebenen a_{1H} und a'_{2H} . (4 Punkte) (3,5)
- Zeichnen Sie das Linsensystem im Maßstab 1:1 und tragen Sie folgende Strecken ein: f'_1 , f'_2 , a'_{2H} , sowie f'_{ges} . (5 Punkte) (5)
- 3 cm links von der Zerstreuungslinse befindet sich ein Objekt. Wo entsteht das Bild dieses Gegenstandes bei einer Abbildung durch das gesamte Linsensystem, bezogen auf die Sammellinse $s'_{2,0 \text{ Sammellinse}}$? (3 Punkte) (3)
- Um Bildfehler zu vermeiden, soll nun in die Mitte zwischen den beiden Linsen eine Blende mit Durchmesser 2 cm angebracht werden. Wo liegt die Austrittspupille bezogen auf die zweite Linse (Sammellinse)? Wie groß ist sie? Bestätigen Sie ihr Ergebnis, indem Sie die Austrittspupille konstruieren. (4 Punkte) (4)
- Bei der Sammellinse soll es sich um eine bikonvexe Linse mit einer Dicke von 3 cm und einem Brechungsindex von 1,5 handeln. Wie groß sind die Radien dieser Linse, wenn sie vom Betrag her gleich sind und die Linse mindestens 2 cm hoch sein soll? (5 Punkte) (5)

Aufgabe III: Polarisation (11 Punkte)

(9,5)

- Welchen Polarisationszustand geben folgende Amplituden-Vektoren an: $\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}$, und $\begin{pmatrix} 5 \\ i \end{pmatrix}$? (3 Punkte) (2)
- Eine linear polarisierte, um 45° gedrehte Welle, passiert einen Rotator. Bestimmen Sie den Jones-Vektor der Welle nach dem Rotator, wenn dieser die Welle um 30° dreht. (4 Punkte) (4)
- Eine in x-Richtung linear polarisierte Welle trifft auf eine $\lambda/4$ -Platte $P_{\lambda/4, x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$, deren schnelle Achse um 30° gegenüber der x-Achse gedreht ist. Bestimmen Sie den Jones-Vektor nach der $\lambda/4$ -Platte. (4 Punkte) (3,5)

Aufgabe IV: Laser (7,5 Punkte)

(6,5)

Ein Laser emittiert bei einer Wellenlänge $\lambda = 500 \text{ nm}$ eine Leistung von 5 Watt in der Grundmode. Der minimale Strahlradius beträgt $w_0 = 1 \text{ mm}$ bei $z = 0$.

- Welche Photonen-Energie emittiert der Laser? ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$). (1,5 Punkt) (1,5)
- In welcher Entfernung ist der Strahlradius $w_{(z)}$ auf 5 cm angewachsen? (3 Punkte) (2,5)
- Sie wollen mit dem Laser ein Signal übertragen. Bei welcher Entfernung sind noch 20 Prozent seiner Anfangsintensität auf der optischen Achse vorhanden. (3 Punkte) (2,5)

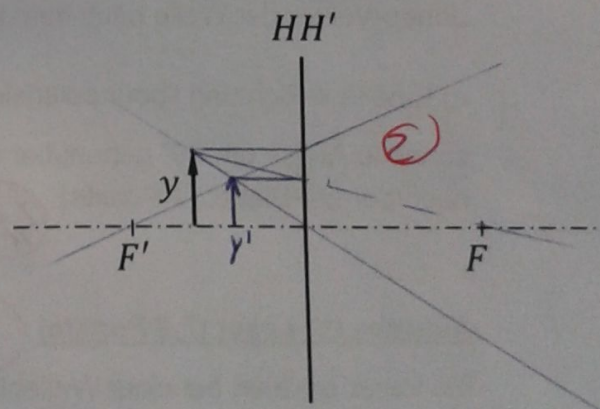
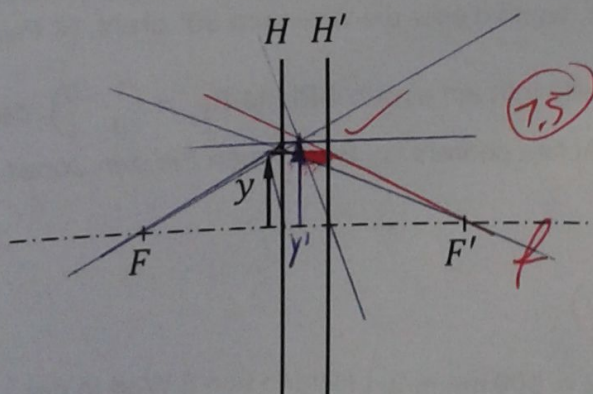
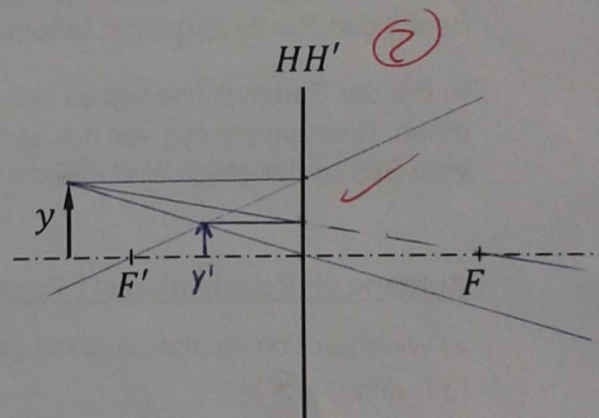
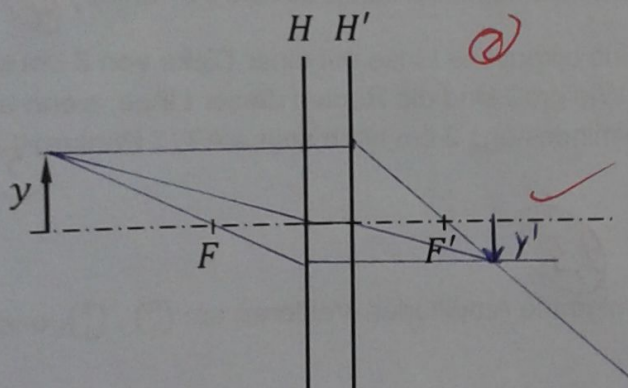
Aufgabe V: Mikroskop (8 Punkte) (8)

Ein Mikroskop besteht aus zwei dünnen Sammellinsen, dem Objektiv und dem Okular. Die Vergrößerung des Mikroskops sei $\Gamma = -20$, die Brennweite des Objektivs beträgt $f'_{obj} = 30 \text{ mm}$ und die Tubuslänge ist mit 150 mm angegeben.

- Wie groß muss die Brennweite des Okulars gewählt werden? (2 Punkte)
- Wie groß ist der Abstand zwischen Objektiv und Okular? (1 Punkte)
- Berechnen Sie die Gesamtbrennweite des Mikroskops. (2 Punkte)
- Um das Mikroskop zu verbessern soll nun eine dünne Tubuslinse mit der Brennweite $f'_{TL} = 75 \text{ mm}$ eingebaut werden. In welchem Abstand muss diese im klassischen Mikroskop-Aufbau vom Objektiv positioniert werden? Welche Gesamtvergrößerung weist nun das Mikroskop auf? (3 Punkte)

Aufgabe VI: Bildkonstruktion (8 Punkte) (7,5)

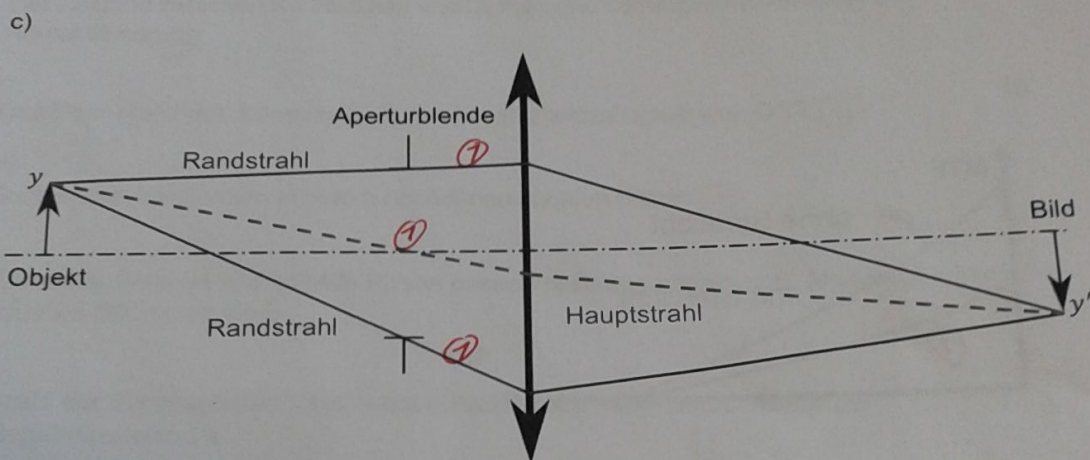
Konstruieren Sie die Bilder folgender optischer Systeme.



Aufgabe I: Fragen über Fragen (27 Punkte)

- a)
paraxiale Optik:
- Winkel zwischen Strahl und optischer Achse sind klein $\Rightarrow$ Taylor-Entwicklung in 1.
Ordnung $\Rightarrow \sin(i) \sim i$; $\tan(i) \sim i$; $\cos(i) \sim 1, (1+x)^{0,5} \sim 1 + \frac{x}{2}$.
- Perfekte geometrische Abbildung ohne Abbildungsfehler (außer chromatische Aberrationen).

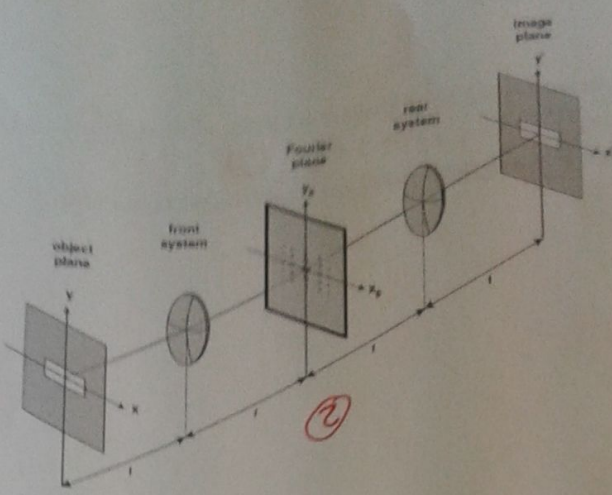
b)
 $T_{ges} = (1 - 0,04)^{40} = 19,54 \%$



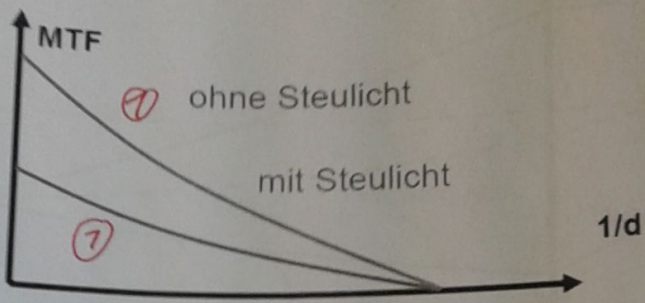
- d)
Aperturblende verkleinern $\rightarrow$ Schärfentiefe wird größer
Nachteil: kleinere NA $\rightarrow$ größeres Beugungsscheibchen

e)
 $K = 0,15$

f)



g)



h)

Wenn der Stoff die Polarisationsrichtung dreht. (7)

i)

Räumliche Filterung des Bildes über eine sehr kleine Blende (Pinhole)

→ Selektion einer Fokusschicht in z-Richtung (7)

j)

- Fluoreszenz-Lifetime-Microscope (FLIM)
- Fluoreszenz-Recovery after Photobleaching (FRAP)
- Stimulated Emission Depletion (STED)
- Photoactivated Localization Microscopy (PALM)
- Stochastic Optical Reconstruction Microscopy (STORM)

(3)

k)

Beachtung von Beugungseffekten wie

- Verschiebung der besten Fokusebene
- Asymmetrische Form der PSF in axialer Richtung

⑦

l)

Licht wird abhängig von der Wellenlänge mit unterschiedlichem Winkel abgelenkt

⑦

m)

Phasenobjekte

⑦

n)

Der Abstand zwischen Kontaktlinse und Cornea und somit das Sitzverhalten von Kontaktlinsen

⑦

o)

Dicke der Hornhaut. Ultraschall, Spaltlampe/Scheimpflugkamera, OCT

⑦

p)

Suche nach Merkmalen in einem hochdimensionalen Raum

⑦

q)

Künstliche Bildlage und scharfe Ebene passen nicht zusammen, z.B. Monitoroberfläche virtuelles Bild im Monitor.

⑦

r)

Anzahl der übertragbaren Informations-Pixel. Mehr Information/Größer bei Spiegelreflexkamera

⑦

Aufgabe II: Optisches System aus zwei Linsen (21 Punkte)

a)

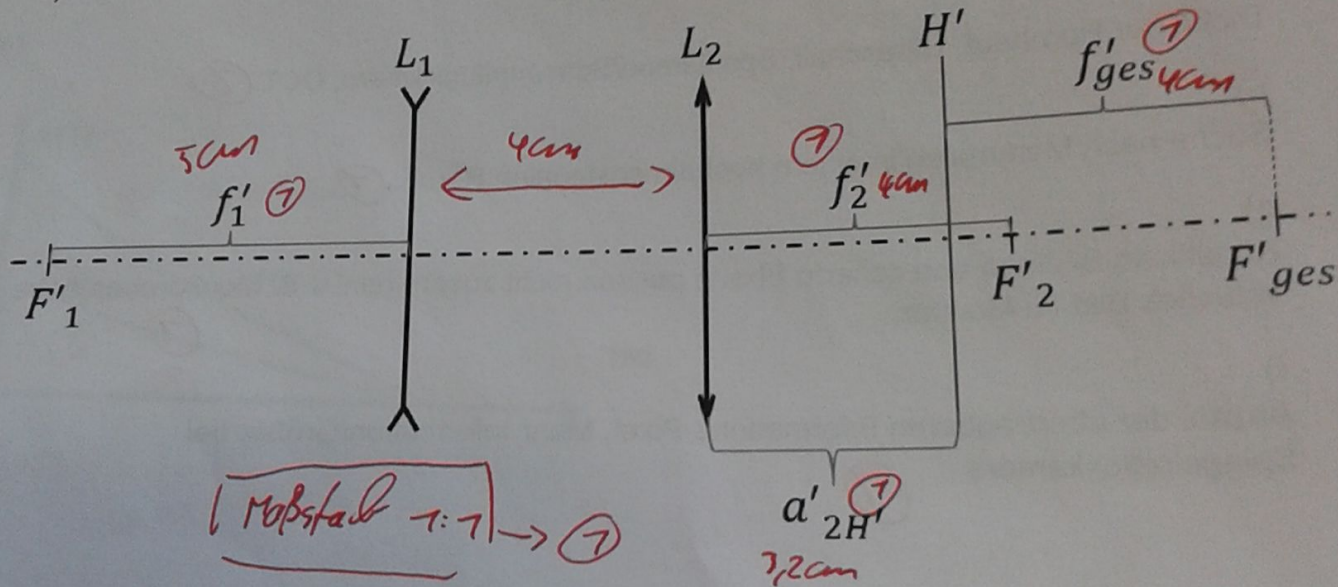
$$\Phi_{ges} = \frac{1}{f'_{ges}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{d}{f'_1 \cdot f'_2} = \frac{1}{-5 \text{ cm}} + \frac{1}{4 \text{ cm}} - \frac{4 \text{ cm}}{-5 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm}} = 25 \text{ dpt}$$

$$\frac{1}{f'_{ges}} = \Phi_{ges} = 25 \text{ dpt} \rightarrow f'_{ges} = 4 \text{ cm}$$

$$a_{1H} = f'_{ges} \cdot \varphi_2 \cdot \frac{d}{n} = 4 \text{ cm} \cdot \frac{1}{4 \text{ cm}} \cdot 4 \text{ cm} = 4 \text{ cm}$$

$$a'_{2H'} = -f'_{ges} \cdot \varphi_1 \cdot \frac{d}{n} = -4 \text{ cm} \cdot \frac{1}{-5 \text{ cm}} \cdot 4 \text{ cm} = 3,2 \text{ cm}$$

b)



c)

$$s = -3 \text{ cm} - a_{1H} = -3 \text{ cm} - 4 \text{ cm} = -7 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{4 \text{ cm}} + \frac{1}{-7 \text{ cm}}$$

$$\Rightarrow s' = 9,33 \text{ cm}$$

$$s'_0 = 9,33 \text{ cm} + a'_{2H'} = 9,33 \text{ cm} + 3,2 \text{ cm} = 12,53 \text{ cm}$$

d)

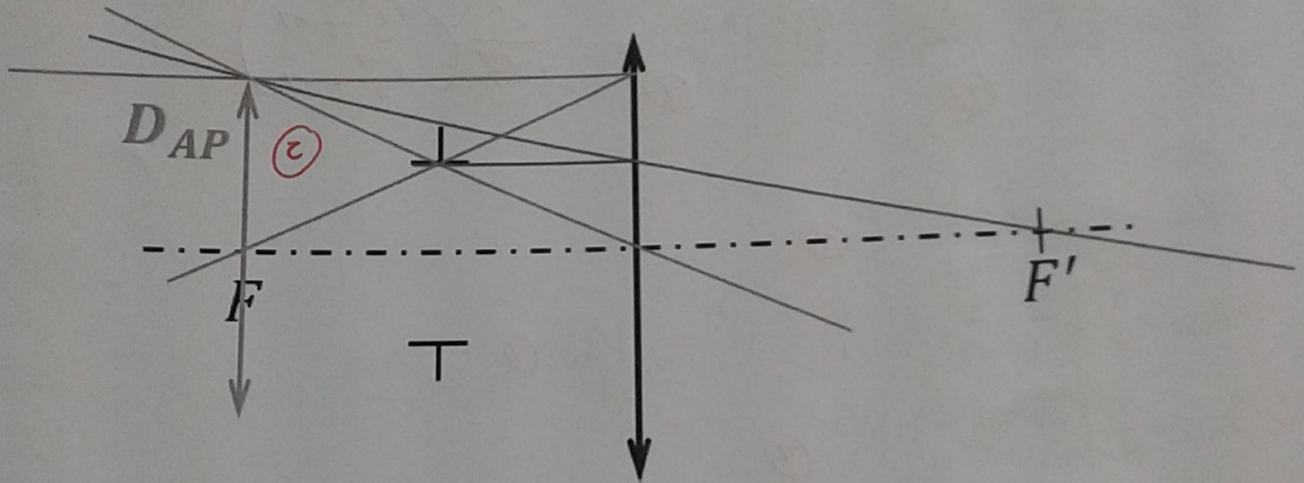
$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} = \varphi \Rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{4 \text{ cm}} + \frac{1}{-2 \text{ cm}}$$

$\Rightarrow s' = -4 \text{ cm}$ (Die Austrittspupille liegt 4 cm links von der Sammellinse) (7)

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \Rightarrow y' = \frac{s' \cdot y}{s} = \frac{-4 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}}{-2 \text{ cm}} = 2 \text{ cm}$$

$$D_{AP} = 2 \cdot |y'| = 2 \cdot 2 \text{ cm} = 4 \text{ cm} \quad (7)$$

Die Austrittspupille hat einen Durchmesser von $D_{AP} = 4 \text{ cm}$.



e)

$$\Phi_{ges} = \frac{1}{f'_{ges}} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2 \cdot d}{n \cdot r_1 \cdot r_2}$$

$$\frac{1}{4 \text{ cm}} = 0,5 \cdot \frac{2}{r_1} + \frac{0,5^2 \cdot 3 \text{ cm}}{1,5 \cdot r_1 \cdot (-r_1)}$$

$$\frac{r_1^2}{4 \text{ cm}} = r_1 - 0,5 \text{ cm} \rightarrow \frac{r_1^2}{4 \text{ cm}} - r_1 + 0,5 \text{ cm} = 0 \quad (3)$$

$$x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{1 \pm \sqrt{(-1)^2 - 4 \cdot \frac{1}{4 \text{ cm}} \cdot 0,5 \text{ cm}}}{2 \cdot \frac{1}{4 \text{ cm}}} = \frac{1 \pm \sqrt{0,5}}{\frac{1}{2 \text{ cm}}}$$

$$x_1 = 3,424 \text{ cm} \quad (7)$$

$[x_2 = 0,586 \text{ cm}]$ Linse soll mindesten 2 cm hoch sein

$$\rightarrow r_1 = 3,414 \text{ cm und } r_2 = -3,414 \text{ cm} \quad (7)$$

Aufgabe III: Polarisation (11 Punkte)

a)

$(^0_1) \rightarrow$ linear polarisiert (7)

$(^1_i) \rightarrow$ zirkular polarisiert (7)

$(^5_i) \rightarrow$ elliptisch polarisiert (7)

b)

$$E_{out} = P_{Rot} \cdot E_{45^\circ} = \begin{pmatrix} \cos(30^\circ) & -\sin(30^\circ) \\ \sin(30^\circ) & \cos(30^\circ) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{2} \\ \sqrt{2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$E_{out} = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{3} & -1 \\ -1 & \sqrt{3} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{2} \\ \sqrt{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,26 \\ 0,97 \end{pmatrix} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sqrt{3} - 1 \\ \sqrt{3} + 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

c)

$$E_{out} = R_{-30^\circ} \cdot P_{\frac{\lambda}{2}} \cdot R_{30^\circ} \cdot E_x \quad (7)$$

$$E_{out} = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{3} & 1 \\ -1 & \sqrt{3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{3} & -1 \\ 1 & \sqrt{3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$E_{out} = \frac{1}{4} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{3} & 1 \cdot i \\ -1 & \sqrt{3} \cdot i \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{3} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$E_{out} = \frac{1}{4} \cdot \begin{pmatrix} 3 + i \\ -\sqrt{3} + \sqrt{3} \cdot i \end{pmatrix} \quad (7)$$

Aufgabe IV: Laser (7,5 Punkte)

a)

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$E_1 = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,976 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (7,5)$$

b)

$$w_{(z)} = w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2}$$

$$z_R = \frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda}$$

(7)

$$z_R = 0,283 \text{ m} = 28 \text{ cm}$$

$$\rightarrow w_{(z)} = w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z \cdot \lambda}{\pi \cdot w_0^2}\right)^2} = 5 \text{ cm} = 0,1 \text{ cm} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z \cdot 500 \text{ nm}}{\pi \cdot 1 \text{ mm}^2}\right)^2}$$

$$25 \text{ cm}^2 = 0,01 \text{ cm}^2 \cdot \left(1 + \left(\frac{z \cdot 500 \text{ nm}}{\pi \cdot 1 \text{ mm}^2}\right)^2\right) \quad (7)$$

$$\sqrt{2499} = \left(\frac{z \cdot 500 \text{ nm}}{\pi \cdot 1 \text{ mm}^2}\right)$$

$$z = \frac{\sqrt{2499} \cdot \pi \cdot 1 \text{ mm}^2}{500 \text{ nm}} = \pm 314,1 \text{ m} \quad (7)$$

c)

$$I_{(r,z)} = I_0 \left(\frac{w_0}{w_{(z)}}\right)^2 \cdot \exp\left(-2 \cdot \frac{r^2}{w_{(z)}^2}\right) \quad (7)$$

$$I_{(0,z)} = I_0 \left(\frac{w_0}{w_{(z)}}\right)^2 = 0,2 \cdot I_0$$

$$0,2 = \left(\frac{w_0}{w_{(z)}}\right)^2 \rightarrow w_{(z)} = \frac{w_0}{\sqrt{0,2}}$$

$$w_{(z)} = w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2} = \frac{w_0}{\sqrt{0,2}} \quad (7)$$

$$\sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{0,2}}$$

$$z = \sqrt{(5-1)} \cdot z_R = \pm 2 \cdot \frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda} = \pm 2 \cdot \frac{\pi \cdot (1 \text{ mm})^2}{500 \text{ nm}}$$

$$z \pm 12,566 \text{ m} \quad (7) = 411 \text{ m}$$

Aufgabe V: Mikroskop (8 Punkte)

a)

$$\Gamma = \frac{-t}{f'_{obj}} \cdot \frac{250 \text{ mm}}{f'_{oku}} \quad (7)$$

$$f'_{oku} = \frac{-150 \text{ mm}}{30 \text{ mm}} \cdot \frac{250 \text{ mm}}{-20} = 62,5 \text{ mm} \quad (7)$$

b)

$$d = f'_{obj} + t + f'_{oku} = 30 \text{ mm} + 150 \text{ mm} + 62,5 \text{ mm} = 242,5 \text{ mm} \quad (7)$$

c)

$$f'_{Mikro} = -\frac{f'_{obj} \cdot f'_{oku}}{t} = -\frac{30 \text{ mm} \cdot 62,5 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} = -12,5 \text{ mm} \quad (2)$$

d)

$$d = f'_{obj} + \frac{t}{2} = 30 \text{ mm} + 75 \text{ mm} = 105 \text{ mm} \quad (1)$$

$$\Gamma = -\frac{f'_{TL}}{f'_{obj}} \cdot \frac{250 \text{ mm}}{f'_{oku}} = -\frac{75}{30} \cdot \frac{250 \text{ mm}}{62,5 \text{ mm}} = -10 \quad (7)$$

Abstand TL zu Objektiv

Aufgabe VI: Bildkonstruktion (8 Punkte)

