

Vorname: _____ Name: _____
Matrikelnummer: _____ Studiengang: _____
Prüfungsraum: _____ Sitzplatz-Nr.: _____

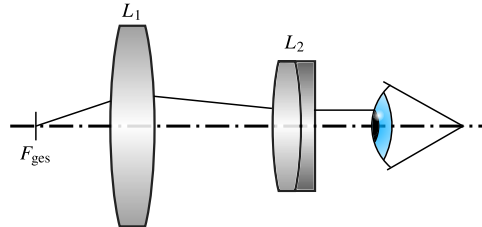
Aufgabe 1: Fragen über Fragen**(18 Punkte)**

- a) Wie hängen Brechungsindex und Lichtgeschwindigkeit zusammen? Bewegt sich das Licht schneller in Glas oder in Luft/Vakuum? Was bedeutet die optische Weglänge (engl.: „OPD“)? (2 Punkte)
- b) Beschreiben Sie kurz den Effekt der Totalreflexion und nennen Sie eine sinnvolle Anwendung. (1 Punkt)
- c) Nennen Sie zwei Vorteile, die eine variable Blende im optischen System bietet. (1 Punkt)
- d) Bei der Diskussion von Feld und Pupillenlagen findet man für Beleuchtungssysteme die Begriffe „Köhlersche“ oder „Kritische“ Beleuchtung. Was ist der Unterschied und wohin wird jeweils die Lichtquelle abgebildet? (1 Punkt)
- e) Beim Augenarzt wird Ihnen ein Visus von 0,5 (oder 50 %) wegen Myopie diagnostiziert. Was bedeutet dies und welchen Sehwinkel können Sie noch erkennen? Was wäre eine geeignete Gegenmaßnahme? (2 Punkte)
- f) Der sogenannte graue Star (Katarakt) ist eine Trübung der Augenlinse, welche Absorption und Streuung verursacht. Durch welches Gesetz können Sie diese Vorgänge beschreiben? Im Mittelalter wurde als Therapie einfach die komplette Augenlinse entfernt (der Star gestochen). Wieviel Brechkraft (in Prozent oder Dioptrien) haben die Patienten dadurch eingeblüßt? (2 Punkte)
- g) Das menschliche Auge hat bei der Abbildung auf die Netzhaut viele nützliche Eigenschaften. Nennen Sie 3 Vorteile, die das Auge gegenüber einem einfachen technischen Kamerasystem (Sensor mit periodischen Pixeln + einfache feste Linse) mitbringt. (1,5 Punkte)
- h) Fourieroptik: Sie übertragen mit einem optischen System das Bild einer Person. Auf dem Bild sind leider störende horizontale Streifen zu sehen. Können Sie diese Streifen optisch oder per Bildverarbeitung ausblenden? Was müssten Sie dazu tun (gern mit Skizze)? (3 Punkte)
- i) Eine OP-Beleuchtung soll 3000 lx auf dem Operationsgebiet liefern. Was bedeutet die Einheit „Lux“? Welche Wellenlänge würden Sie wählen, wenn Sie nur an der maximalen Lux-Zahl interessiert sind und warum? (1,5 Punkte)
- j) Hyperspektrale Bildgebung ist eine Mischung aus Abbildung und Spektroskopie. Nennen Sie zwei Arten von Spektrometern, um das Spektrum eines Bildpunktes zu erfassen. (1 Punkt)
- k) In Abhängigkeit von der Intensität können mit Lasern folgende Prozesse ausgelöst werden: Photochemie, Ablation, Koagulation, Photodisruption. Sortieren Sie die Begriffe entsprechend der notwendigen Laser-Intensität. (2 Punkte)

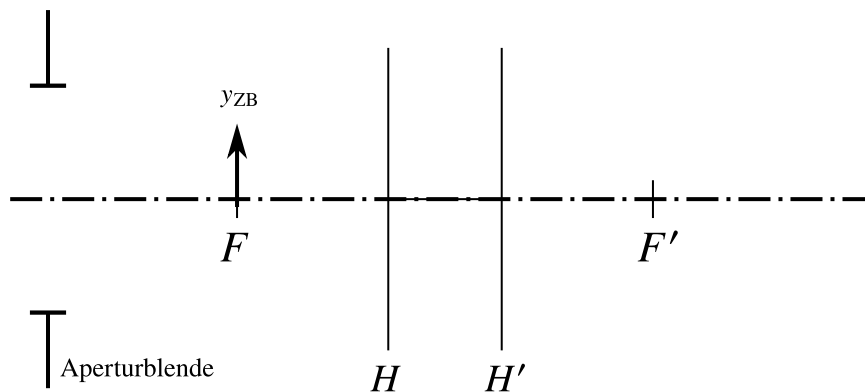
Aufgabe 2: Kellner-Okular

(17,5 Punkte)

In der Mikroskopie wird unter anderem das nach dem Erfinder benannte Kellner-Okular verwendet, welches aus einer sphärischen Einzellinse und einem Achromat zur Farbkorrektur besteht (s. Skizze). Gehen Sie zunächst von einem zweilinsigen System aus, welches aus zwei idealen dünnen Sammellinsen L_1 und L_2 besteht. Beide Linsen haben eine Brechkraft von 40 dpt und sind in einem Abstand von 10 mm zueinander angebracht. Alle Linsen befinden sich an Luft ($n = 1$).



- Bestimmen Sie die Gesamtbrennweite f'_{ges} des Okulars. (2 Punkte)
- Wo liegen die objekt- und bildseitigen Hauptebenen? (2 Punkte)
- Welche Vergrößerung ergibt sich für das Okular? (1 Punkt)
- Wo muss das Zwischenbild bezüglich L_1 positioniert werden? (1,5 Punkte)
- In der unten dargestellten Skizze sind die Hauptebenen H und H' des Gesamtsystems des Okulars, das abzubildende Zwischenbild y_{ZB} sowie die Aperturblende nicht maßstabsgetreu eingezeichnet. Konstruieren Sie die Abbildung des Zwischenbildes sowie die Austrittspupille des Systems. (6 Punkte)



- Beim Hineinsehen wird die Eintrittspupille des Auges in der Austrittspupille des Okulars positioniert. Bestimmen Sie, wie weit das Auge von Linse L_2 entfernt sein muss, wenn die Aperturblende 32 mm links von Linse L_1 platziert wird. Ermitteln Sie außerdem, welchen Durchmesser die Aperturblende sinnvollerweise haben muss, wenn der Eintrittspupillendurchmesser des Auges eines erwachsenen Menschen etwa 6 mm beträgt. (3 Punkte)
- Gehen Sie nun bei Linse L_2 von einem verkitteten Achromat aus. Das Glas der Sammellinse hat einen Brechungsindex im mittleren (grünen) Wellenlängenbereich von 1.5 und eine Abbe-Zahl von 64. Das Glas der Zerstreuungslinse hat einen Brechungsindex bei derselben Wellenlänge von 1.6 und eine Abbe-Zahl von 32. Wie groß sind jeweils die Einzelbrechkraften des Achromaten? (2 Punkte)

Aufgabe 3: Digitalmikroskop (8 Punkte)

Ein Digitalmikroskop besteht aus einem Objektiv der Brennweite $f'_{\text{Obj}} = 16 \text{ mm}$ und einer Tubuslinse, welche auf einen pixelierten Bildsensor mit 1024×768 Pixeln und einer Pixelgröße von $5 \mu\text{m}$ abbildet. Die Umrandung der Objektiv-Linse dient hier als Aperturblende und hat einen Durchmesser von 10 mm . Die Probe befindet sich in der objektseitigen Brennebene des Objektivs und soll im Durchlicht mit einer LED der mittleren Wellenlänge $\lambda = 500 \text{ nm}$ beleuchtet werden. Gehen Sie von idealen Einzellinsen an Luft aus.

- Mit dem Mikroskop sollen Strukturgrößen von $2 \mu\text{m}$ erfasst werden können. Ist dies möglich? (1,5 Punkte)
- Die Struktur soll mit einem Abbildungsmaßstab von $\beta' = -10$ auf den Sensor abgebildet werden. Welche Brennweite ist somit für die Tubuslinse erforderlich? (1,5 Punkte)
- Wie groß ist das Feld, das mit dem Mikroskop beobachtet werden kann? (2 Punkte)
- Im Datenblatt der Beleuchtungs-LED ist ein Lichtstrom von $0,3 \text{ lm}$ angegeben. Um Farbfehler zu vermeiden wird das Licht der LED zusätzlich gefiltert, wobei der Filter etwa 80% des gesamten Lichtes absorbiert. Bestimmen Sie den Strahlungsfluss, der auf den Sensor trifft, unter der Annahme einer Visibilität von $V(500 \text{ nm}) = 0,32$. (2 Punkte)
- Das Licht trifft den Bildsensor gleichmäßig, wobei eine Bestrahlungsstärke von mindestens $10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ nötig ist, um Rauscheffekte zu unterdrücken. Wird dies durch die Beleuchtung gewährleistet? (1 Punkt)

Aufgabe 4: Spektrometeraufbau mit dehnbarem Gitter (8 Punkte)

Ein einfacher Spektrometeraufbau bestehe aus einem Gitter und einer dahinter befindlichen Linse der Brennweite $f' = 20 \text{ mm}$ sowie einer Photodiode, auf die jeweils die erste Beugungsordnung der verschiedenen Wellenlängen abgebildet werden soll. Als Besonderheit besteht das Gitter aus einem elastischen Material, sodass sich dieses dehnen und damit die Gitterperiode verändern lässt. Auf das Gitter fällt senkrecht kollimiertes weißes Licht ein.

(Plancksches Wirkumsquantum $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

- Fertigen Sie eine beschriftete Skizze des Aufbaus mit angedeutetem Strahlengang an. (1,5 Punkte)
- Im „entspannten“ Zustand hat das Gitter eine Periode von $2 \mu\text{m}$. In welchem Abstand senkrecht zur optischen Achse der Linse muss die Photodiode platziert werden, damit Licht der Wellenlänge 400 nm auf diese trifft? (2 Punkte)
- Um welchen Faktor muss das dehnbare Gitter gestreckt werden, damit Licht der Wellenlänge 700 nm auf die Photodiode trifft? Die Position der Photodiode ist dabei unverändert. (3 Punkte)
- Wieviele Photonen der Wellenlänge 700 nm müssen auf die Photodiode treffen, wenn für die Signalauswertung eine Energie von 2 pJ angesammelt werden muss? (1,5 Punkte)