



KTH Tillämpad Fysik

Tentamen i

SK1140, Fotografi för medieteknik

SK2380, Teknisk fotografi

2017-05-31, 8-13, FB52-54

Uppgifterna är lika mycket värda poängmässigt och är inte ordnade i svårighetsgrad.
För godkänt krävs 50 % av max. poängtalet.

Ändrat till 55 % från och med 2018

Det kan hända att data ges som du inte behöver använda för problemets lösande.
Det kan också hända att någon nödvändig data saknas och att du måste anta rimligt värde.

Hjälpmedel: Formelblad "Radiometrisk och fotometrisk storheter." (bifogad med tentamen)
Miniräknare

Observera: Skriv namn på ALLA papper som lämnas in.
Skriv bara på en sida av papperet. (Tentorna kommer att scannas)
Skriv ALDRIG mer än EN lösning per papper.

**Såvida inte annat sägs, motivera alla svar
och förklara alla införda beteckningar,
gärna genom att rita figurer!**

Uppgift 1

Du är på fjällvandring och besöker den vackra Abisko-jåkka kanjon, som du naturligtvis vill föreviga med din APS-kamera (sensorstorlek 15,8 mm x 23,6 mm, 16 megapixlar) med zoom-objektiv (18-55 mm, ljusstyrka 3,5-5,6). Du står uppe på en brant klippa med en hisnande utsikt nästan 20 m ovanför det strömmande vattnet och håller kameran riktad rakt nedåt. För att få en välkomponerad bild behöver du få med 10 till 15 m av kanjons bredd i höjdledd på sensorn. Bilden ska printas ut på en bläckstråleskrivare i storlek A4 (21 cm x 30 cm) utan att beskäras.

- Vilken brännvidd ska du välja för att få så stort djupintryck, d.v.s. "häftigt" perspektiv, som möjligt i bilden?
- För vilka betraktningssavstånd blir djupintrycket i bilden större än i verkligheten?

Uppgift 2

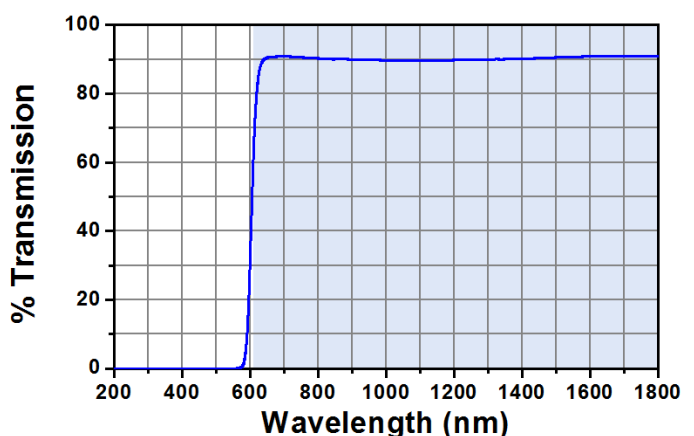
Inför en pensionsavtackning vill man förstora upp ett fotografi där jubilaren syns tillsammans med kungen i randig skjorta och sätta upp förstoringen över presentbordet. Fotografiet är 10 cm x 15 cm stort och taget med en analog småbildskamera. En flatbäddsskanner med 600 ppi finns tillgänglig för att skanna fotot som digital bild (ppi = pixels per inch, 1 inch = 25,4 mm) samt en skrivare som kan skriva ut bilder med 300 ppi. Möjliga utskriftsformat är A4 (210 x 297 mm), A3 (297 x 420 mm), A2 (420 x 594 mm), A1 (594 x 841 mm) och A0 (841 x 1189 mm).

- Finns det någon risk för att det ska uppkomma Moiré-effekter i kungens randiga skjorta vid inskanningen (i fotografiet har ränderna en ortsfrekvens av 5 mm^{-1})?
- Vilket är det största format som kan väljas på den förstörade bilden så att det fortfarande är skrivarens pixelering som främst begränsar upplösningen?
- Förstoringen är tänkt att betraktas ifrån ett avstånd av cirka 1,5 m. Vilket är det största format som kan väljas på den förstörade bilden utan att pixeleringen syns på detta avstånd? Det mänskliga ögat har en upplösningssförmåga motsvarande 1,5 linjepar/mm på 1,5 m avstånd.

Uppgift 3

Färgfilter för fotografiska ändamål tillverkas genom att blanda in färgade pigment i glas. Här bredvid visas transmissionskurvan för ett sådant filter.

- Hur fungerar filtret och hur kommer en bild tagen genom detta filter se ut jämfört med utan filter (med samma inställningar)? Förklara och rita histogram för respektive färgkanal!



- Hur kommer SNR för respektive färgkanal förändras med detta filter? Förklara varför!

Uppgift 4

Det finns fotobelysning i olika prisklasser, en av det billigare slaget beskrivs på följande sätt:

”Foto- och videobelysning med 48 högintensiva LED. Fästs i kamerans tillbehörssko. Stapelbar. Färgtemperaturen kan ställas i tre lägen med hjälp av medföljande diffusionsfilter (3200-5400 K). Ljusflöde: 440 lm. Räckvidd: ca 1,5 m. Drivs med 2x AA-batterier (medföljer ej).”

Uppskatta högsta respektive lägsta belysning som denna lampa rimligen skulle kunna ge på ett motiv som befinner sig 1,5 m framför kameran!



Uppgift 5

Bifogat till denna tentamen finns de tekniska specifikationerna för ett kameraobjektiv (3 sidor från en tysk tillverkare). Objektivet är tillverkat för en systemkamera med fullformatssensor (24 mm x 36 mm). Använd specifikationerna för att svara på följande frågor:

- Vilken typ av objektiv är detta (normal, vidvinkel, tele eller zoom)? Motivera ditt svar!
- Vilken ljusstyrka har objektivet?
- Med hur stor faktor kan belysningen i sensorplanet ändras med hjälp av objektivet? Svara med kvoten $E_{\max}/E_{\min}$ under förutsättning att avstånd, motivets ljusnivå och sensorns känslighet är oförändrade.
- Vad kallas fenomenet som beskrivs i grafen ”Relative Illuminance” och vad beror det på?

Uppgift 6

Använd samma kameraobjektiv och tekniska specifikationer som i uppgiften ovan för att svara på följande:

- Hur stor del av bilden kommer en liten stuga (12 m lång och 3 m hög) uppta om den fotograferas på ett avstånd av 10 meter med objektivet i uppgiften ovan (och fullformatssensor används)?
- På vilket avstånd måste man stå för att stugan ska uppta samma andel av bilden om man istället använder objektivet tillsammans med ett kamerahus med APS-sensor (15.8 mm x 23.6 mm)?

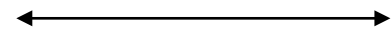
Uppgift 7

Den optiska avbildningskvaliteten presenteras ofta med hjälp av MTF, så även för kameraobjektivet i uppgift 5 och 6. Dock varierar MTF med läget i bildplanet och med bländartalet. Därför har tillverkaren här valt att presentera MTF-värden för ortsfrekvenserna 10, 20 och 40 mm^{-1} i bilden som funktion av läge i bildplanet (där 0 mm representerar bildens mitt, dvs optiska axeln) i två olika grafer - den övre för $f/2$ och den undre för $f/4$. Vid en provfotografering finner man att objektivets upplösningssgräns är 0,60 respektive 0,8 mm^{-1} i motiv på avståndet 2 m. Beräkna och skissa hur MTF varierar som funktion av ortsfrekvensen i bilden för bildplanets mitt vid bländartal 4!

Uppgift 8

Den sista tabellen i de bifogade tekniska specifikationerna visar objektivets skärpedjup (DOF, depth of field) vid olika bländartal och motivavstånd.

- Vilka inställningar ger störst skärpedjup?
- Rita en figur som förklarar varför skärpedjupet beror av bländartalet!
- Du ska fotografera grannens lilla chihuahua rakt framifrån med detta objektiv. Instruktionerna är att få så bra bildkvalitet som möjligt med skärpa hela vägen från nos till svans och samtidigt låta hunden fylla upp så stor del av bilden som möjligt. Vilket bländartal och motivavstånd väljer du att använda?

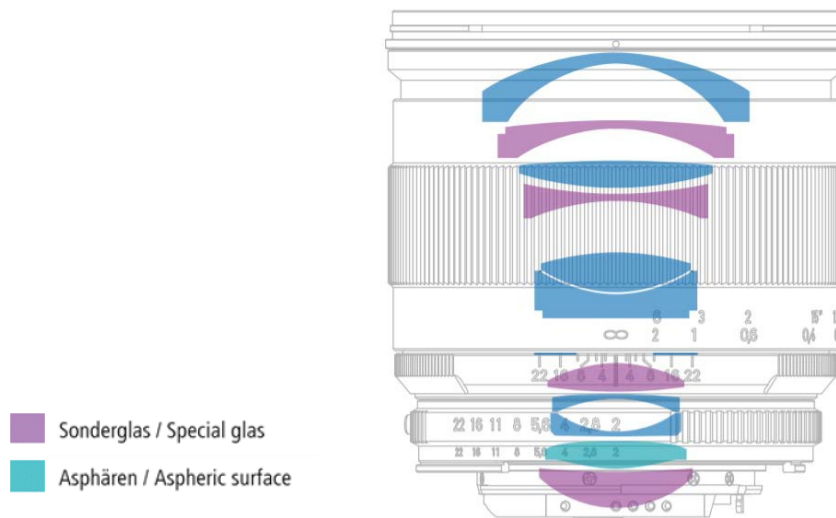


~ 40 cm

Lycka till!

Linda Lundström

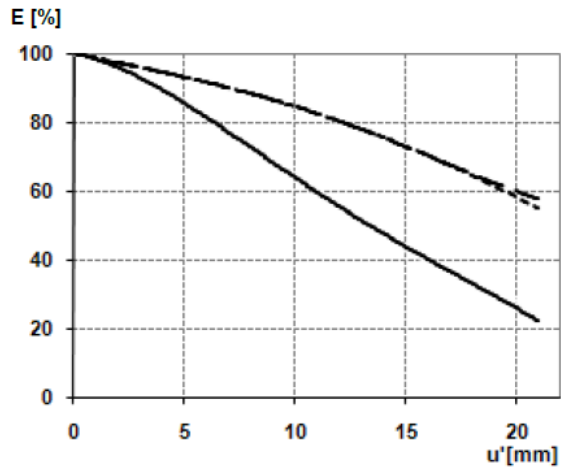
Technische Daten/Technical Specifications



Brennweite/Focal length	25 mm
Blendenbereich/Aperture range	f/2 – f/22
Linsen / Gruppen/Lens elements / Groups	11/10
Fokussierbereich/Focusing range	0,25 m (9.84") – ∞
Arbeitsabstand/Free working distance	0,13 m (5.12") – ∞
Bildfeld*/Angular field* (diag. / horiz. / vert.)	81° / 71° / 51°
Bildkreisdurchmesser/Diameter of image field	43 mm (1.69")
Anlagemaß/Flange focal distance	ZF.2: 46,50 mm (1.83") ZE: 44,00 mm (1.73")
Objektfeld bei Naheinstellung* Coverage at close range (MOD)*	219 x 144 mm (8.62 x 5.67")
Abbildungsmaßstab bei Naheinstellung Image ratio at MOD	1:5.9
Filterdurchmesser/Filter thread	M67 x 0.75
Lage der Eintrittspupille (vor der Bildebene) Entrance pupil position (in front of image plane)	89,4 mm (3.50")
Drehwinkel des Fokussierings (inf – MOD) Rotation angle of focusing ring (inf – MOD)	123°
Durchmesser max./Diameter max.	ZF.2: 71 mm (2.80") ZE: 73 mm (2.87")
Durchmesser des Fokussierings Diameter of focusing ring	ZF.2: 71 mm (2.80") ZE: 73 mm (2.87")
Länge (ohne Objektivdeckel)/Length (without lens caps)	ZF.2: 71 mm (2.80") ZE: 74 mm (2.91")
Länge (mit Objektivdeckeln)/Length (with lens caps)	ZF.2: 95 mm (3.74") ZE: 98 mm (3.86")
Gewicht/Weight	ZF.2: 570 g (1.26 lbs) ZE: 600 g (1.32 lbs)

* bezugnehmend auf das 24x36mm Format/referring to 36 mm format

Relative Beleuchtungsstärke/Relative Illuminance

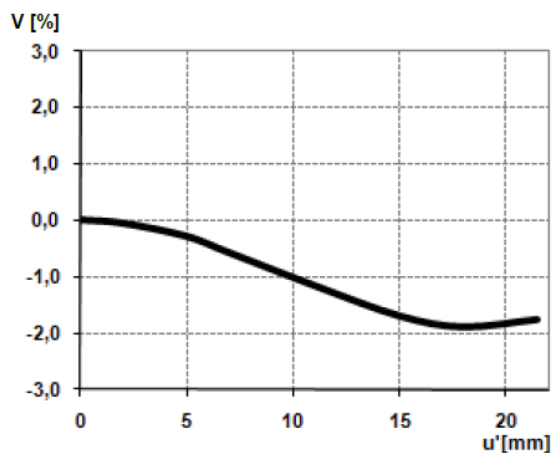


Die relative Beleuchtungsstärke zeigt die Abnahme der Bildhelligkeit von der Mitte des Bildes zu den Ecken. Angabe in Prozent.

The relative illumination shows in percent the decrease in image brightness from the image center to edge.

— Blendenzahl: $k = 2$ / f-number = 2.0
 ... Blendenzahl: $k = 4$ / f-number = 4.0
 --- Blendenzahl: $k = 5,6$ / f-number = 5.6

Relative Verzeichnung/Relative Distortion



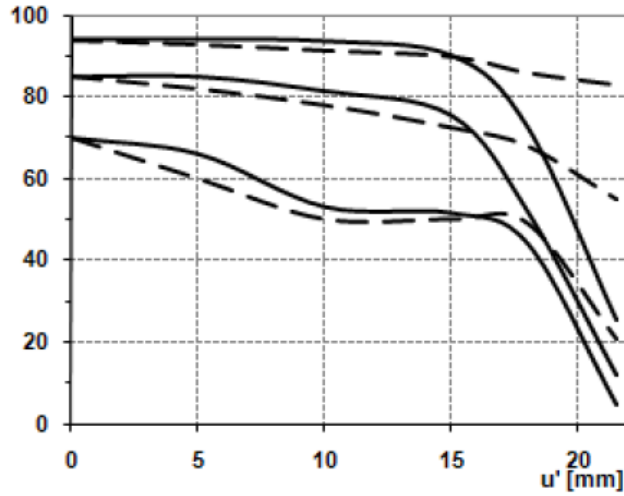
Die Relative Verzeichnung zeigt die Abweichung der aktuellen von der idealen Bildhöhe.

The relative distortion shows in percent the deviation of the actual from the ideal image height.

Angaben für unendlich.
 Data for infinity.

MTF Charts

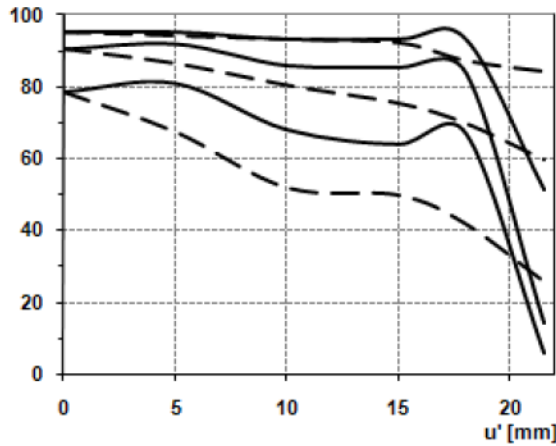
MTF [%]



Blendenzahl: $k = 2 / f\text{-number} = 2.0$

— Sagittal
... Tangential

MTF [%]



Blendenzahl: $k = 4 / f\text{-number} = 4.0$

— Sagittal
... Tangential

Modulationsübertragung MTF als Funktion der Bildhöhe (u') und Spaltorientierung. Weißes Licht. Ortsfrequenzen $R=10, 20$ und 40 Perioden/mm. // Modulation transfer MTF as a function of the image height (u') and slit orientation. White light. Spatial frequencies $R=10, 20$ and 40 cycles/mm.

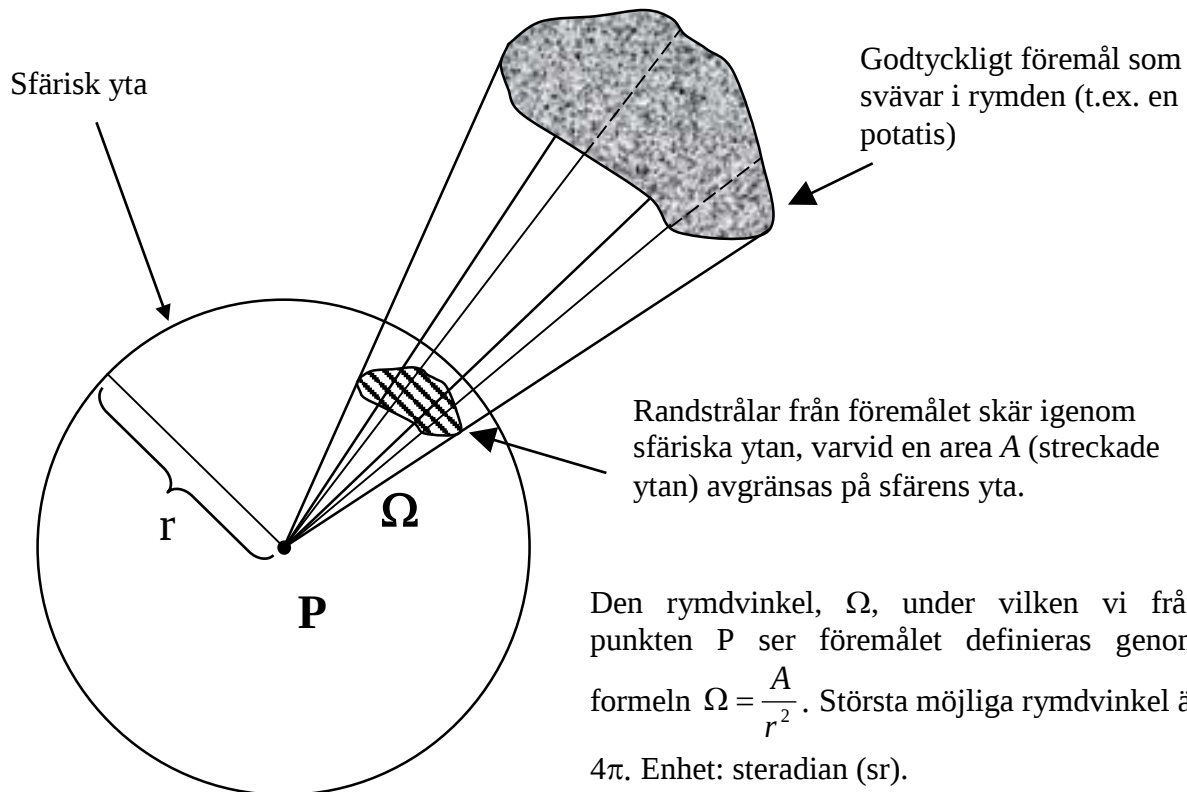
Schärfentiefe/Depth of Field (DOF)*

Engraved Distance	f/2		f/2.8		f/4		f/5.6		f/8		f/11		f/16		f/22	
Meter	from	to	from	to	from	to	from	to	from	to	from	to	from	to	from	to
infinity	11,50	∞	8,20	∞	5,80	∞	4,20	∞	2,90	∞	2,20	∞	1,50	∞	1,10	∞
2m	1,75	2,34	1,67	2,52	1,56	2,80	1,44	3,50	1,30	5,20	1,20	14	1	∞	0,8	∞
1m	0,93	1,08	0,91	1,11	0,88	1,17	0,83	1,26	0,78	1,43	0,72	1,71	0,65	2,60	0,57	7,70
0,60m	0,58	0,62	0,58	0,63	0,57	0,64	0,55	0,66	0,54	0,69	0,52	0,73	0,49	0,82	0,46	0,97
0,40m	0,39	0,41	0,39	0,41	0,38	0,42	0,38	0,43	0,37	0,44	0,36	0,45	0,35	0,49	0,33	0,53
0,30m	0,30	0,30	0,30	0,31	0,29	0,31	0,29	0,31	0,29	0,32	0,28	0,32	0,27	0,33	0,27	0,35
0,25m	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,26	0,24	0,26	0,24	0,26	0,24	0,27	0,23	0,28

* Schärfentiefetabelle für das 24x36mm Format, Zerstreuungskreis 0.029mm (D/1500), gerundet auf 0.01m // Depth-of-field table for sensor format 24x36mm, circle of confusion 0.029mm (D/1500), rounded to 0.01m

Formelblad: Radiometriska och fotometriska storheter

Begreppet rymdvinkel



Radiometri

Utstrålning:

$$\text{Radians, } R = \frac{d^2 P}{dA d\Omega \cos \vartheta} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{sr}} \right].$$

För svartkroppsstrålare är

$$R = 1.80 \times 10^{-8} \times T^4, \text{ där } T = \text{temperaturen i Kelvin.}$$

Instrålning:

$$\text{Irradians, } I = \frac{dP}{dA} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Fotometri

Handlar om hur starkt ögat uppfattar strålningen. Därför omvandlas strålningseffekten med hjälp av ögats spektrala känslighetskurva. Istället för strålningseffekt, får vi då **ljusflöde, Φ** , som har sorten **lumen (lm)**.

Utstrålning:

$$\text{Luminans, } L = \frac{d^2 \Phi}{dA d\Omega \cos \vartheta} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2 \text{sr}} \right].$$

För en svartkroppsstrålare beror L bara på temperaturen. För en perfekt matt reflekterande yta beror L på reflektionsförmågan och hur kraftigt den belyses.

Instrålning:

$$\text{Belysning, } E = \frac{d\Phi}{dA} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux} \right]$$

Lösningar: SK1140, Fotografi för medieteknik SK2380, Teknisk fotografi 2017-05-31

Uppgift 1

- Störst djupintryck i den utskrivna bilden fås med kortast brännvidd (detta gäller oberoende av betraktningsavstånd). Dock måste vi även uppfylla att mellan 10 och 15 meter av kanjons bredd kommer med i bilden. Avbildningsskalan ger att $M = h'/h \approx f/a$ ($b \approx f$), där $a = 20$ m, $h' = 15,8$ mm och h är mellan 10 och 15 m. Kortast brännvidd fås för störst h , d.v.s. 15 m, då blir $f = 21$ mm.
- Djupintrycket i bilden blir större än i verkligheten om bilden betraktas ifrån ett avstånd som är längre än avståndet s för korrekt perspektiv. Avståndet s är det avstånd som ger samma synvinkel från bild till öga som från motiv till kamera: synvinkel från bild till öga $= h/a = 15 \text{ m} / 20 \text{ m} = h_{\text{bild}}/s = (21 \text{ cm})/s$ ger $s = 28 \text{ cm}$. Betraktningsavstånd längre än 28 cm ger ett större djupintryck i bilden än vad det var i verkligheten.

Uppgift 2

- Upplösningskriteriet! För att undvika Moiré-effekter måste bilden skannas in med en samplingsfrekvens som är mer än 2 ggr ortsfrekvensen, i detta fall 10 mm^{-1} . Inskanning med 600 ppi innebär en samplingsfrekvens av $(600 \text{ pixlar/inch}) / (25,4 \text{ mm/inch}) = 23,6 \text{ pixlar/mm}$. Det finns alltså ingen risk för Moiré-effekter i den randiga skjorta vid inskanning.
- Skrivarens upplösning är 300 dpi, alltså hälften så stor som skannerns 600 ppi. Det innebär att det borde gå bra att skriva ut en 2 gångers förstoring, d.v.s. $20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \approx \text{A4}$. Största format som kan väljas är A4.
- En ortsfrekvens på $1,5$ linjepar/mm motsvarar $1/3 \text{ mm}$ linjebredd, vilket då blir den högst tillåtna pixelstorleken: $1/3 \text{ mm/pixel}$. Inskanningen sker med $23,6 \text{ pixlar/mm}$ (se svar till a)), alltså $0,0423 \text{ mm/pixel}$, vilket innebär att det inskannade fotografiet kan förstoras $(1/3)/0,0423 = 7,87$ ggr innan pixlarna blir synliga för ögat. Det innebär att format upp till $(10 \times 15 \text{ cm}) \cdot 7,87 = 78 \times 118 \text{ cm}$ ska fungera. Största format som kan väljas är nu A0.

Uppgift 3

- De inblandade färgpigmenten absorberar ljus med våglängder kortare än 600 nm (dvs blått och grönt). Bilden tagen med filtret kommer därför att ha en röd färgton. Histogram med filter: blått kommer endast visa mycket låga pixelvärdena trots korrekt exponering utan filter, grönt blir på ungefär samma sätt (lite av det röda ljuset kommer förmodligen att läcka genom färgfilterna i sensorns Bayer-mask). Rött kommer uppvisa samma typ av histogram med och utan filtret, dock kommer histogrammet med filter att vara förskjutet något emot lägre pixelvärden eftersom filtret transmitterar 90 % av de långa våglängderna.
- $\text{SNR} = \text{Signal-brus-förhållandet}$ (medelvärde / standardavvikelse av pixelvärdena) blir mycket lågt för blått och grönt oberoende av vad det var tidigare eftersom nästan ingen signal finns med filter (bruset domineras av mörkersignal och elektroniskt brus). För den röda färgkanalen minskar signalen med en faktor 0,9, bruset minskar också fast inte lika fort (fotonbrus $\sim \sqrt{\text{signalen}}$), så SNR för rött sjunker bara marginellt med filter.

Uppgift 4

Det saknas uppgift om spridningsvinkel! Man får göra uppskattningar av bästa och värsta scenario. I bästa fall är ljuset samlat inom en motiv-area som precis motsvarar vad som avbildas på sensorn. Om vi antar ett normal objektiv (d.v.s. $f \approx$ diagonalmåttet på sensorn) så fås en motiv-diagonal som är lika stor som avståndet 1,5 meter, vilket ger en sidlängd av $0,69 \times 1,04$ m och en motiv-area av ca $0,7 \text{ m}^2$ och $E = 440 \text{ lm} / 0,7 \text{ m}^2 \approx 600 \text{ lux}$. I värsta fall sprider lampan i en halvsfär $\Omega = 2\pi$ steradianer $= A/r^2$, vilket på avståndet 1,5 meter ger en motiv-area av ca 14 m^2 och $E = 440 \text{ lm} / 14 \text{ m}^2 \approx 30 \text{ lux}$.

Uppgift 5

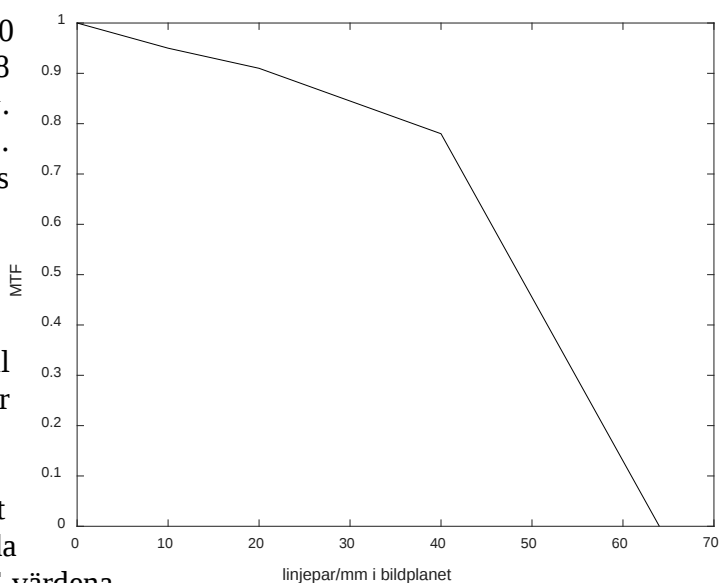
- Vidvinkel, $f (=25\text{mm}) < (0,9 * \text{diagonalmåttet på sensorn } (=0,9*43 \text{ mm}))$. Syns även i att "angular field" är 81° på diagonalen.
- Ljusstyrka = objektivets lägsta bländartal = 2.0.
- Belysningen beror på bländartalet², som kan ändras från 2 till 22, alltså med en faktor $22^2/2^2 = 121$ ggr. Alternativt: 7 bländarsteg ger faktorn $2^7=128$ ggr.
- Belysningen avtar mot bildens kant på grund av större infallsvinkel mot sensorn (längre avstånd och större belyst yta) = $\cos^4$ -avfallet (avsnitt 9.10 och 9.13 i kompendiumet). Vid låga bländartal fås även vinjettering, då allt ljus genom bländaröppningen inte når bildens kant.

Uppgift 6

- Med $f=25 \text{ mm}$ och $a=10 \text{ m}$ blir avbildningskalan att $M=h'/h \approx f/a = 0,0025$ ggr ($b \approx f$). Bildens storlek på sensorn blir alltså $h' = Mh = 7,5 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$, vilket motsvarar 31% i vertikalledd ($7,5 \text{ mm} / 24 \text{ mm}$) och 83% ($30 \text{ mm} / 36 \text{ mm}$) i horisontalledd.
- Bildens storlek h' ska nu alltså vara $(0,31*15,8) \text{ mm} \times (0,83*23,6) \text{ mm}$. Samma svar oberoende av vilken ledd vi räknar på. T.ex. horisontalledd: $h = 12 \text{ m}$, $h' = 19,67 \text{ mm}$ ger $M = 0,00164$ ggr och $a = 15 \text{ m}$. Man måste alltså stå längre bort eftersom ett 25 mm objektiv på ett kamerahus med APS-sensor inte längre är något vidvinkel objektiv.

Uppgift 7

Avläsning i den undre grafen vid $u' = 0$ mm ger $\text{MTF} \approx 0,95, 0,91$ respektive $0,78$ för ortsfrekvenserna $10, 20, 40 \text{ mm}^{-1}$. Vid 0 mm^{-1} är $\text{MTF} = 1$. Gränsfrekvensen där $\text{MTF} = 0$ fås genom att räkna om $0,8 \text{ mm}^{-1}$ i motivet på 2 m till ortsfrekvens i bilden: $M = h' / h \approx f / a = \text{ortsfrekv}_{\text{motiv}} / \text{ortsfrekv}_{\text{bild}}$, där $f/a = 0,0125$ ggr, vilket ger gränsfrekvensen i bilden till $0,8 \text{ mm}^{-1} / 0,0125 = 64 \text{ mm}^{-1}$. Se figur här bredvid!



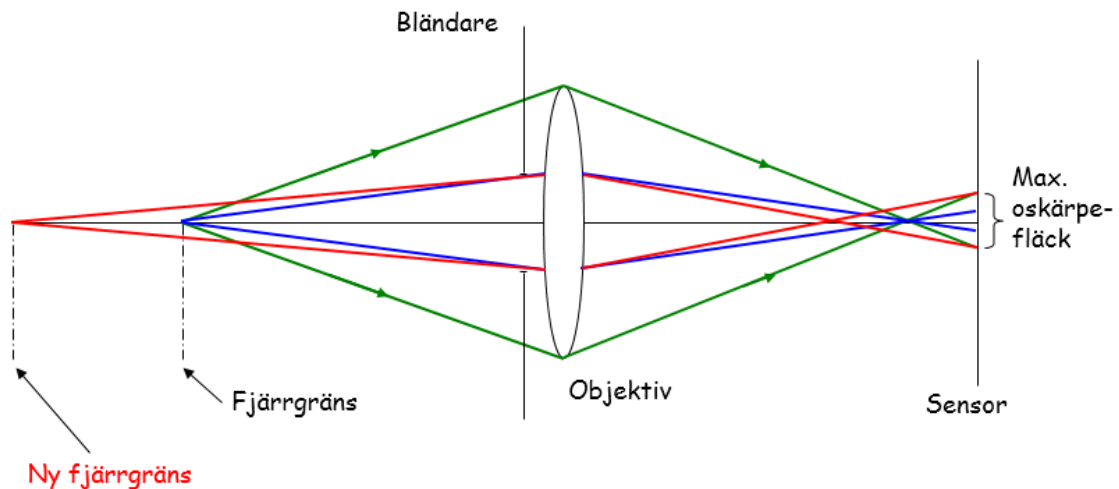
(Extra info: Bildkvaliteten sjunker utåt kanten av bilden, dvs vid sneda infallsvinklar, och då sjunker MTF-värdena.

Framförallt uppkommer sned astigmatism, vilket innebär att olika linje-orienteringar avbildas

med olika skärpa. I de tekniska specifikationerna är MTF-graferna därför angivna för två linjeriktningar, tangential (tangentiell) och sagittal (radiell), jämför med figur 17.10 i kompendiumet. Detta påverkar dock inte svaret på uppgiften eftersom man där bara är intresserad bildens mitt och där finns ingen sned astigmatism.)

Uppgift 8

- Avläsning i tabellen ger att största slärpedjup (från 0,8 m till ∞) fås vid bländartal 22 och motivavstånd 2 m.
- Se figur, fjärrgränsen kan flyttas längre bakåt och skärpedjupet blir därmed större vid mindre bländaröppning:



- Behöver ett skärpedjup på minst 40 cm och vill kunna gå nära för att fylla upp bilden ordentligt. Närmsta möjliga motivavstånd är 0,6 m och fås för $f/22$, men vid så små bländaröppningar påverkas bildens skärpa av diffraktion. Bästa bildkvalitet fås för lägre bländartal. T.ex. skulle $f/5,6$ med $a=1$ m ge det önskade skärpedjupet (från 0,83 m till 1,26 m) och bra bildkvalitet. På avståndet $a=0,83$ m blir avbildningsskalan $M = h' / h \approx f / a = 0,03$ ggr, så om hunden också är $h = 40$ cm hög ger det $h' = 12$ mm, vilket innebär att hunden upptar ungefär halva bilden.