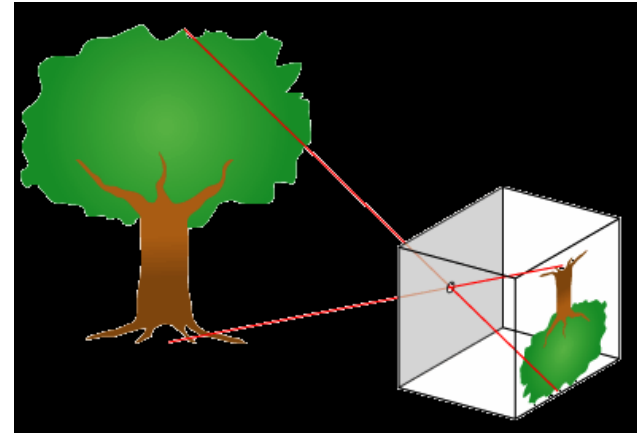


INF 1040

Syn, avbildning og digitale bilder

□ Temaer i dag :

1. Synssystemet vårt
2. Avbildning
3. Digitalisering av bilder



□ Pensumlitteratur: Læreboka, kapittel 12, 13 og 14.

Øyet og synssystemet vårt

❑ Motivasjon for å kunne noe om dette:

- Mesteparten av vår sensoriske input kommer via synssansen.

❑ Fleksibel optikk:

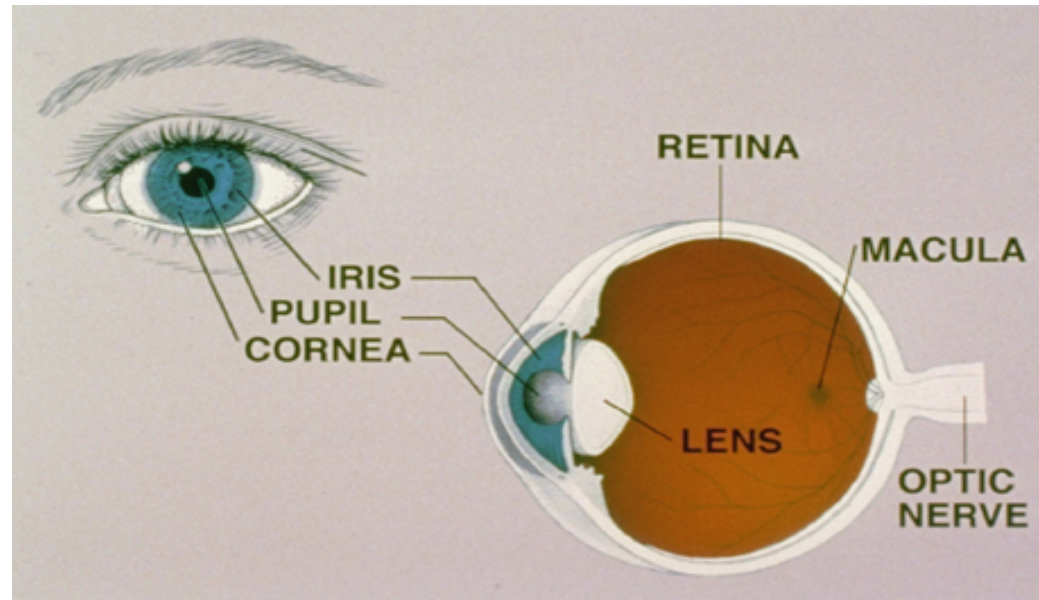
- Deformerbar linse

❑ Adaptiv detektor:

- Variabel oppløsning
- Logaritmisk respons
- Pre-prosessering

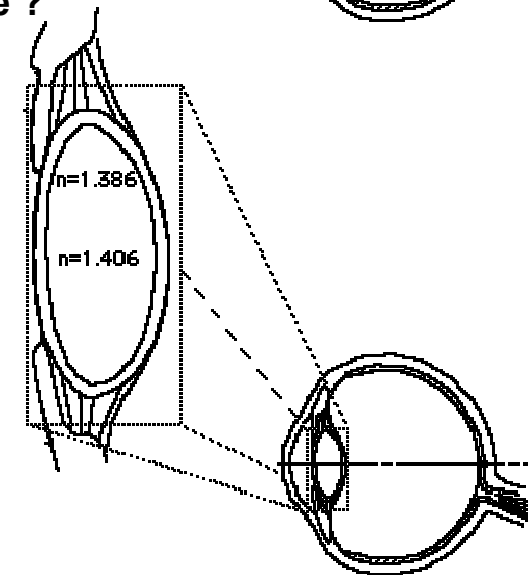
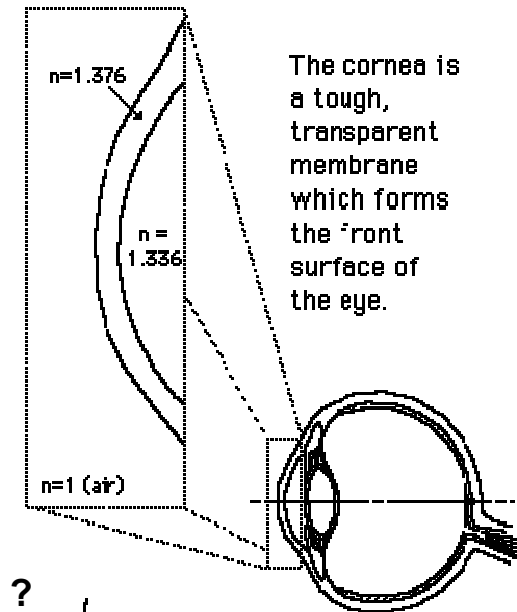
- Separate systemer for høylys- og lavlyssyn

❑ Enorm prosesserings- og lagringskapasitet i hjernen



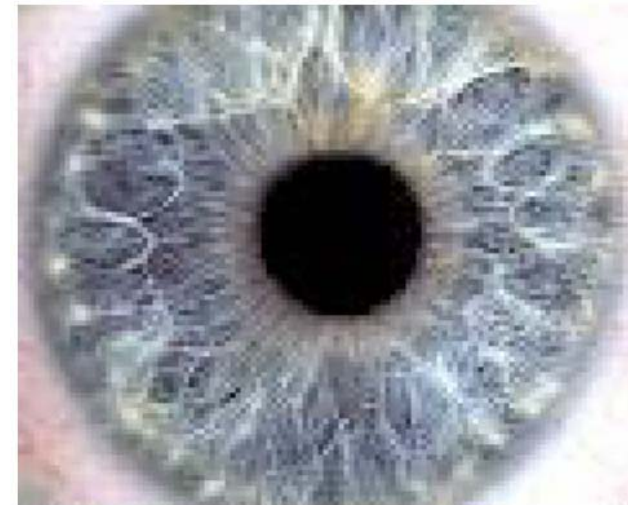
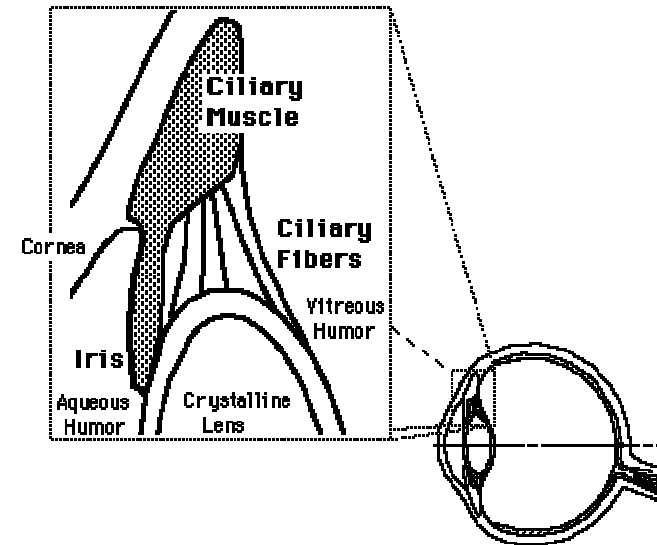
Øyets linsesystem

- ❑ Øyets linsesystem fokuserer lyset.
- ❑ Øyelinsen har en fokallengde, f , som er ca 1.5 cm.
- ❑ Linsestyrken angis ofte i "dioptr", $d=1/f$, der f er gitt i meter.
- ❑ Øyelinsen er vanligvis 67 d ($1/1.5 \cdot 10^{-2} \approx 67$), hvorav hornhinna (*cornea*) står for 45 d.
- ❑ Q: Hva betyr det at man korrigerer langsynthet med en +3.0 brille ?
A: Man bruker en konvergerende linse med $f = 1/3$ m.
- ❑ Q: Hva er fokallengden for en - 4.0 brille?
A: $f = 1/d = -1/4 = - 0.25$ m, divergerende linse.
- ❑ Øyelinsen er veldig spesiell:
den kan endre fokallengde.
- ❑ Evnen til å skifte fokus raskt (*akkomodasjon*) svekkes med alderen.



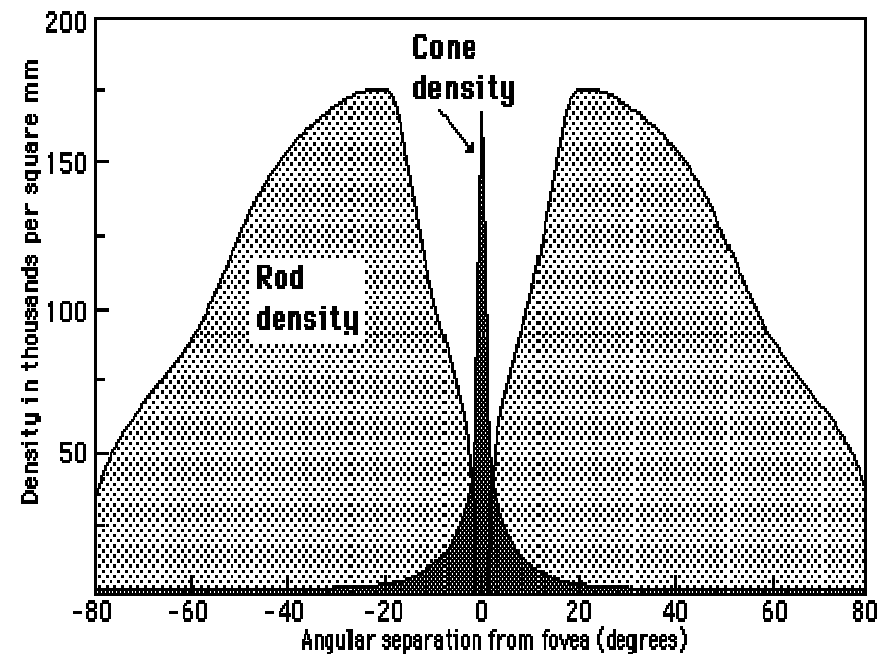
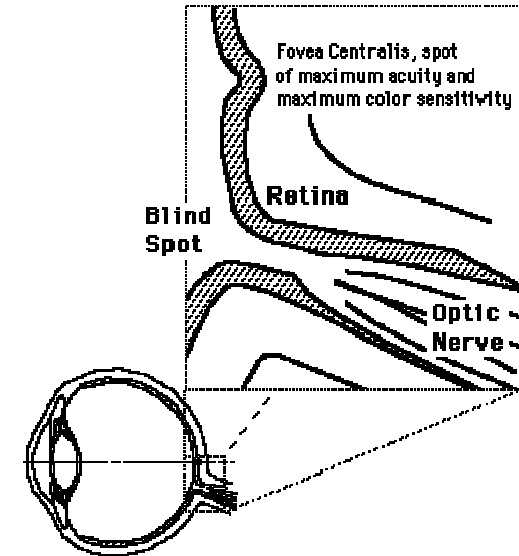
Iris og pupillen

- ❑ Iris er den fargede delen av øyet.
- ❑ Den fungerer som en blender:
 - Kraftig lys: lukker seg til diameter 2 mm
 - Svakt lys: åpner seg til ca 8 mm
- ❑ Digitale bilder av iris kan brukes til verifikasjon ved adgangskontroll
 - mønstret er tilstrekkelig unikt for hver person.
- ❑ Pupillen er den svarte åpningen - midt i iris - som slipper lys inn i øyet
 - lyset som går gjennom den blir absorbert i øyet og kommer ikke ut igjen



Netthinna (retina)

- ❑ Netthinna er det lysfølsomme laget bak i øyet.
- ❑ Dekker omtrent 65% av den indre flaten.
- ❑ Omtrent 130 millioner detektorer.
- ❑ To typer: staver ("rods") og tapper ("cones").
- ❑ Tappene er konsentrert i *fovea*.
- ❑ Stavene er fordelt over resten av netthinna.
- ❑ Detektorene vender bort fra lyset!
- ❑ Der synsnerven går ut av øyet, har netthinna en blind flekk .



Egenskaper ved synet

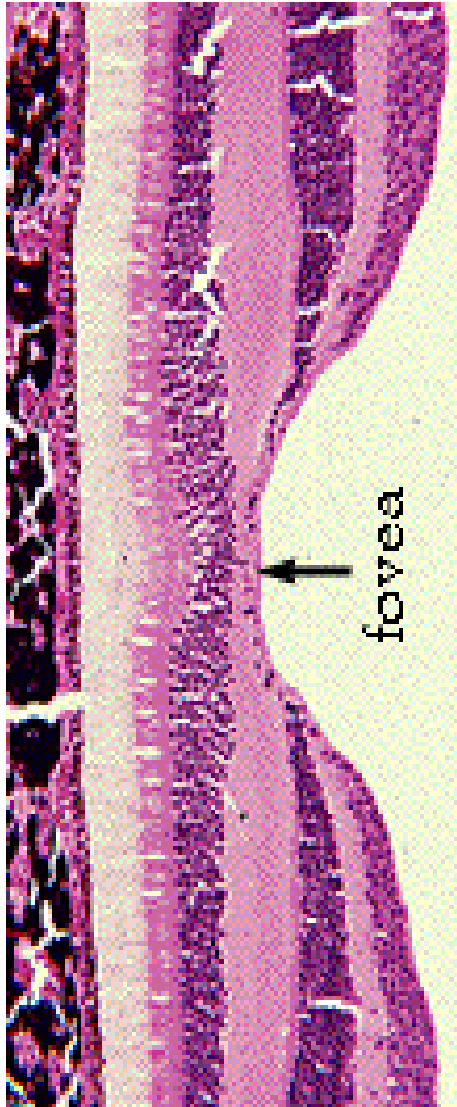
- **Vi kan se lysintensiteter over et intervall på 10 dekader**
 - "Blendings-intensiteten" er 10^{10} ganger så høy som den svakeste intensitet vi kan oppfatte.
- **Vi ser bare et visst antall nivåer samtidig.**
 - Den minste gråtone-forskjellen vi kan oppfatte er ca 2%.
 - Vi ser ca 50 forskjellige gråtoner samtidig.
 - Vi kan se mange flere fargenyanser samtidig.
- **Når øyet skifter fokus til et annet sted i bildet tilpasser synet seg et annet intensitetsnivå.**
 - Vi ser lokale intensitets-forskjeller, både i høylys og lav-lys.

Staver og tapper

□ To klasser av reseptorer:

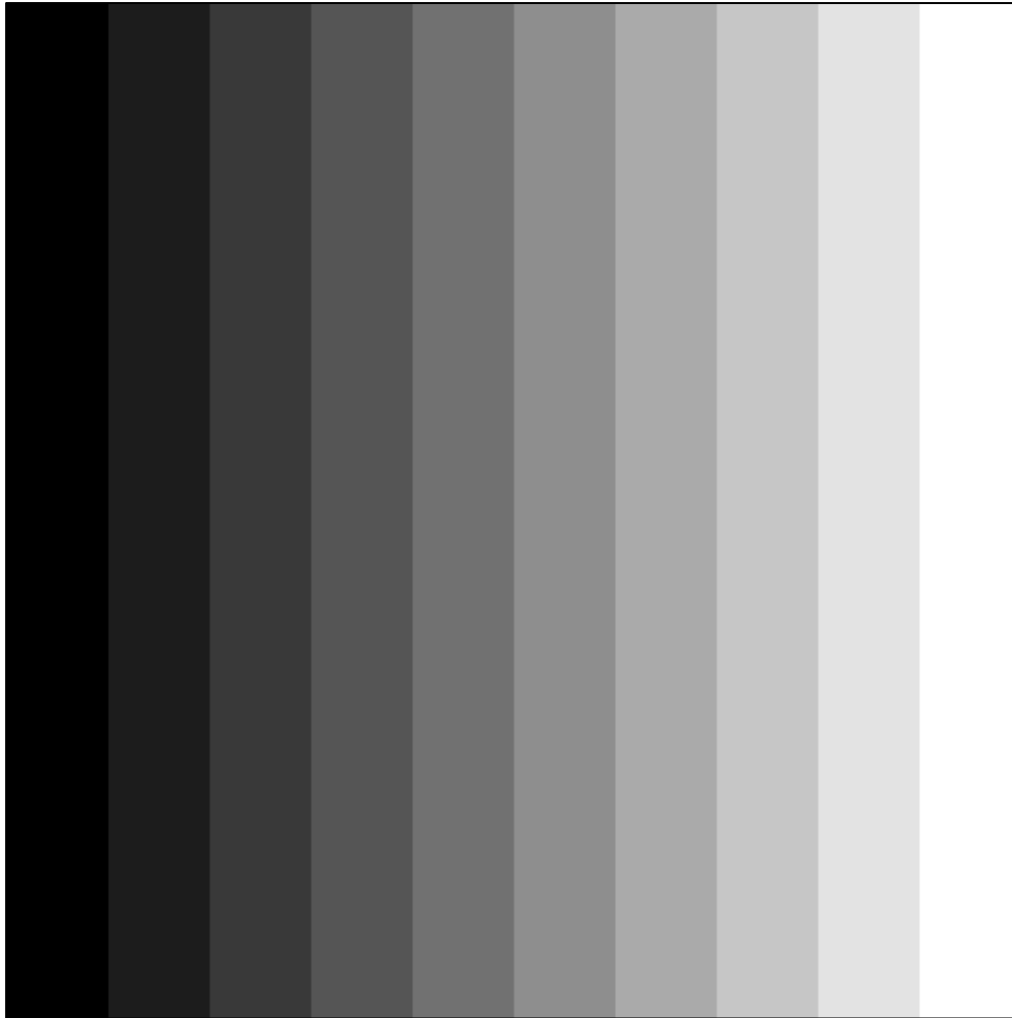
- Ca 120 millioner **staver** ("rods"), **spredd over hele netthinna**.
 - Flere koblet til hver nerve-ende => lav geometrisk oppløsning
 - Scotopisk (lav-lys) syn: dekker nedre 5 - 6 dekader
 - Gir bare gråtoner (½ time mørke => 10 000 ganger høyere følsomhet)
 - Er ikke følsomme for rødt lys
- Ca 7 millioner **tapper** ("cones"), **konsentrert i fovea**
 - Koblet til hver sin nerve-ende => høy geometrisk oppløsning
 - Fotopisk (høy-lys) syn: dekker øvre 5 - 6 dekader
 - Farge-følsomme: 3 typer (**R=700 nm**, **G=546nm**, **B=436 nm**)

Fovea



- ❑ Den gule flekken (*macula*) er ca 3 mm i diameter.
- ❑ **Fovea centralis** er ca 0.3 mm i diameter.
 - Overliggende cellelag borte
 - Mer lys til detektorene
 - Bare tapper (høylys, fargesyn)
 - Veldig høy tetthet => høy geometrisk oppløsning.
 - Hver tapp er koblet til en nerve-ende.
- ❑ Når vi ser direkte på et objekt, øker oppløsningen, fordi øyet **foveerer** – flytter bildet til fovea.

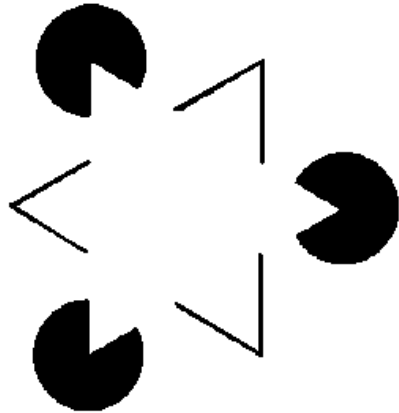
Nevrale prosessorer i netthinna



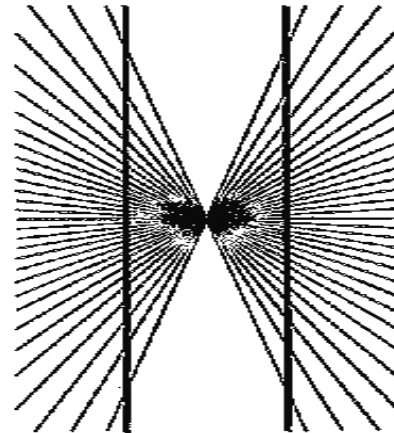
- Netthinna forsterker kanter.
- Stimulering av én del av netthinna undertrykker stimulering av en annen del.
- Dette øker kontrasten ved overgang mellom uniforme regioner i bildet.
- Kalles "Mach-bånd"

Optiske illusjoner

□ Illusoriske konturer



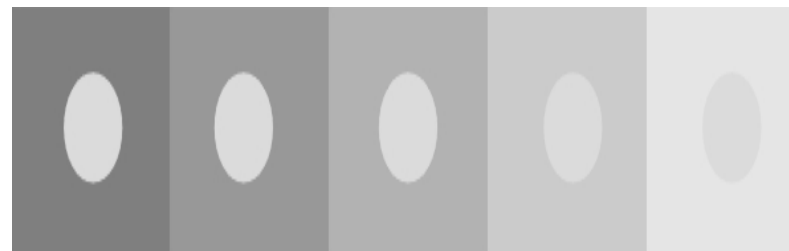
Rette og buete linjer



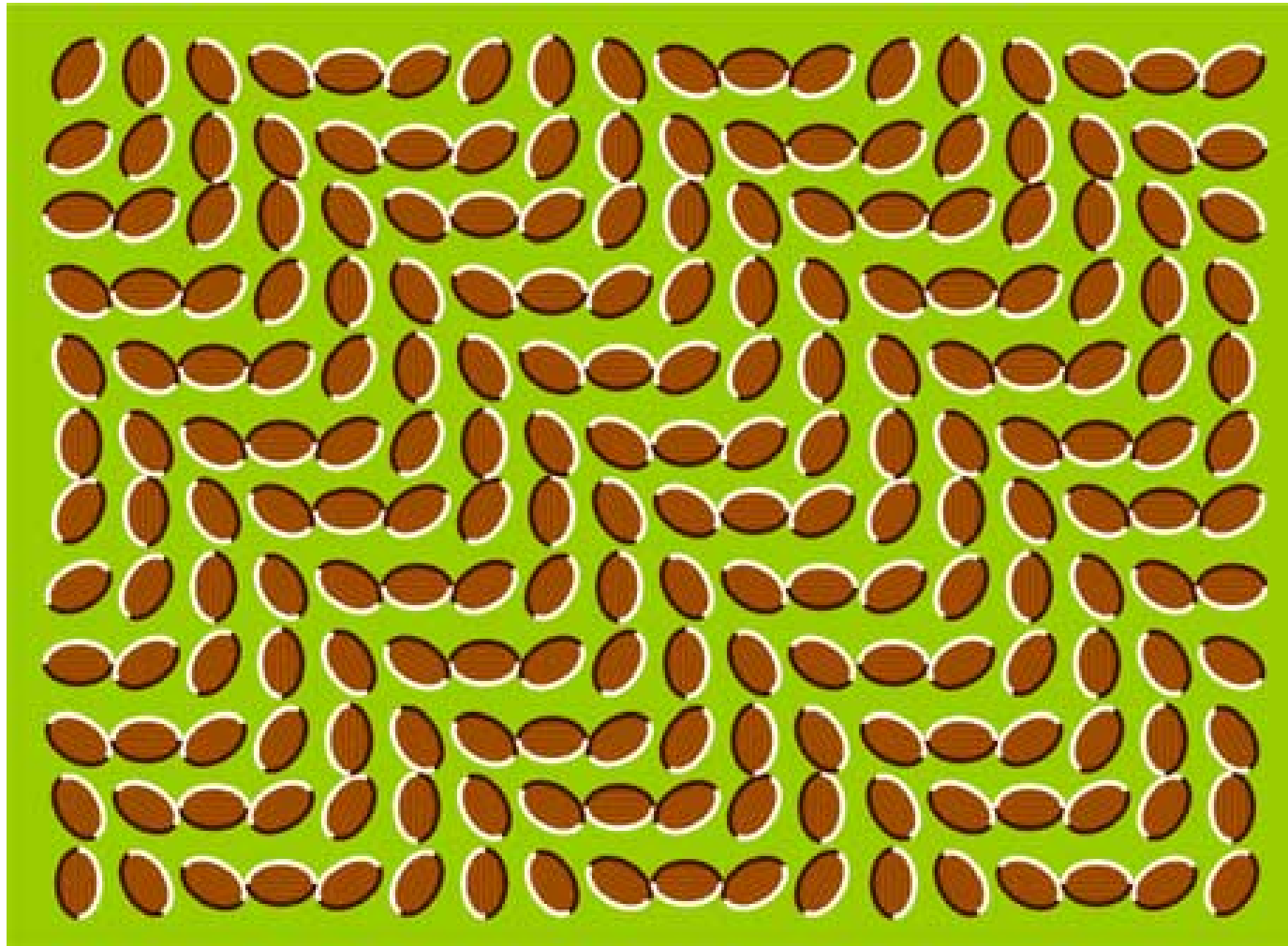
□ Multistabile bilder



Simultan kontrast



Optiske illusjoner – ”bevegelse”



Farge-ergonomi

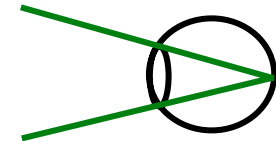
- ❑ Øynene stiller krav til arbeidsmiljøet
- ❑ Farger gir mer informasjon, hurtig identifikasjon, gir sammenhenger og assosiasjoner, øker motivasjonen.
- ❑ Jo flere farger, desto bedre ? Sannheten er som vanlig noe mer nyansert.
- ❑ Rødt øker blodtrykk, puls og svette midlertidig. Blått virker motsatt.
- ❑ Viktig at ikke overlesset fargebruk forvirrer.
- ❑ Få og lett gjenkjennelige farger.
- ❑ Samme lysstyrke og fargemetning.
- ❑ Stabile farger – minst mulig påvirket av rombelysning.
- ❑ **Minst mulig farge-stereopsi: Forskjellige farger fokuserer i ulike plan. Resultat: Øye-hjerne arbeider med re-fokusering => hodepine og trøtthet.**

"T-Rex and Me"

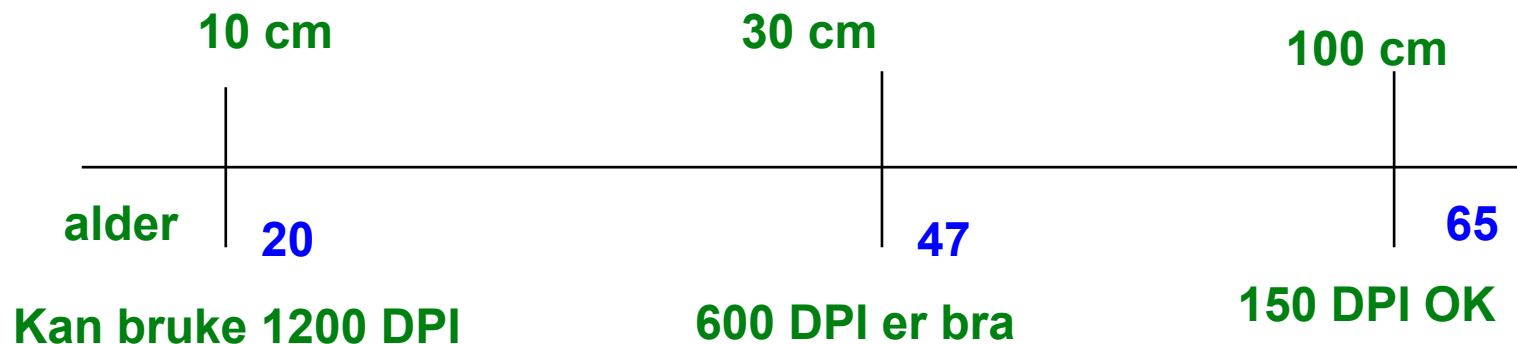
- ❑ I synshjernebarken (visual cortex) sitter flere sett av kant-detektorer, som finner kanter og linjer med forskjellige orienteringer (vinkler) og forskjellige tykkelser.
- ❑ Separate sett detektorer for høyre og venstre øye.
- ❑ Øyet skanner over objektet, og konsentrerer seg om de interessante, krumme kantene.
- ❑ I tillegg har vi flere typer raske øyebevegelser.
- ❑ Når øyet beveger seg raskt, er synet "slått av".
- ❑ Uten de raske øyebevegelsene, som gir nye reseptorer muligheten til å se bekrefte konturene av objektet, faller synet ut i løpet av sekunder.

Hvor fine detaljer kan vi se?

- Vi kan se ca. 60 svarte og 60 hvite rader per grad av synsfeltet.
- Et A4-ark holdt ca. 30 cm foran øyet
 - dekker et synsfelt på ca. 50° horisontalt og 40° vertikalt
- 50° horisontalt synsfelt => $50 \cdot 60 = 3\ 000$ vertikale linjer -> 6 000 piksler
- 40° vertikalt synsfelt => $40 \cdot 60 = 2\ 400$ horisontale linjer -> 4 800 piksler
- 6 000 piksler / 11 tommer (A4) → 550 DPI (dots per inch)



Vi kan fokusere skarpt ned til avstander:



Fra bilder til video

- ❑ Når vi lukker øynene, tar det litt tid før ”etter - bildet” forsvinner, spesielt hvis intensiteten er høy (i deler av) bildet.
- ❑ Bildet forsvinner gradvis (eksponensielt) fra retina.
- ❑ Det er en kort periode da vi ikke kan ta inn ny informasjon -- selv om øynene er åpne.
- ❑ Dette kan vi teste med periodiske lysblink.
- ❑ Det viser seg at ”critical flicker fusion frequency” øker logaritmisk med økende luminans.
- ❑ Den er så lav som 4 s^{-1} for lave lysstyrker, der bare stavene er virksomme.
- ❑ Den er ca 60 s^{-1} for kraftig lysstyrke, der bare tappene er virksomme, og konvergerer mot 80 s^{-1}

Luminans-variasjon

- ❑ Når lysblinkene kommer tett nok etter hverandre i tid, vil de oppfattes som et jevnt lys, uten "flicker".
- ❑ Den effektive oppfattede luminans vil være gjennomsnittet over belysnings-sykelen, som jo egentlig består av en lys og en mørk del.
- ❑ Dette betyr at vi kan variere den effektive luminans ved å holde den fysiske intensiteten til lyskilden konstant, og variere lengden av den mørke delen mellom lysblinkene.

Avbildning

- Avbildning er en prosess som produserer et bilde av en del av våre omgivelser.

- Visualisering er ikke avbildning.
- Et bilde, men ikke avbildning: 

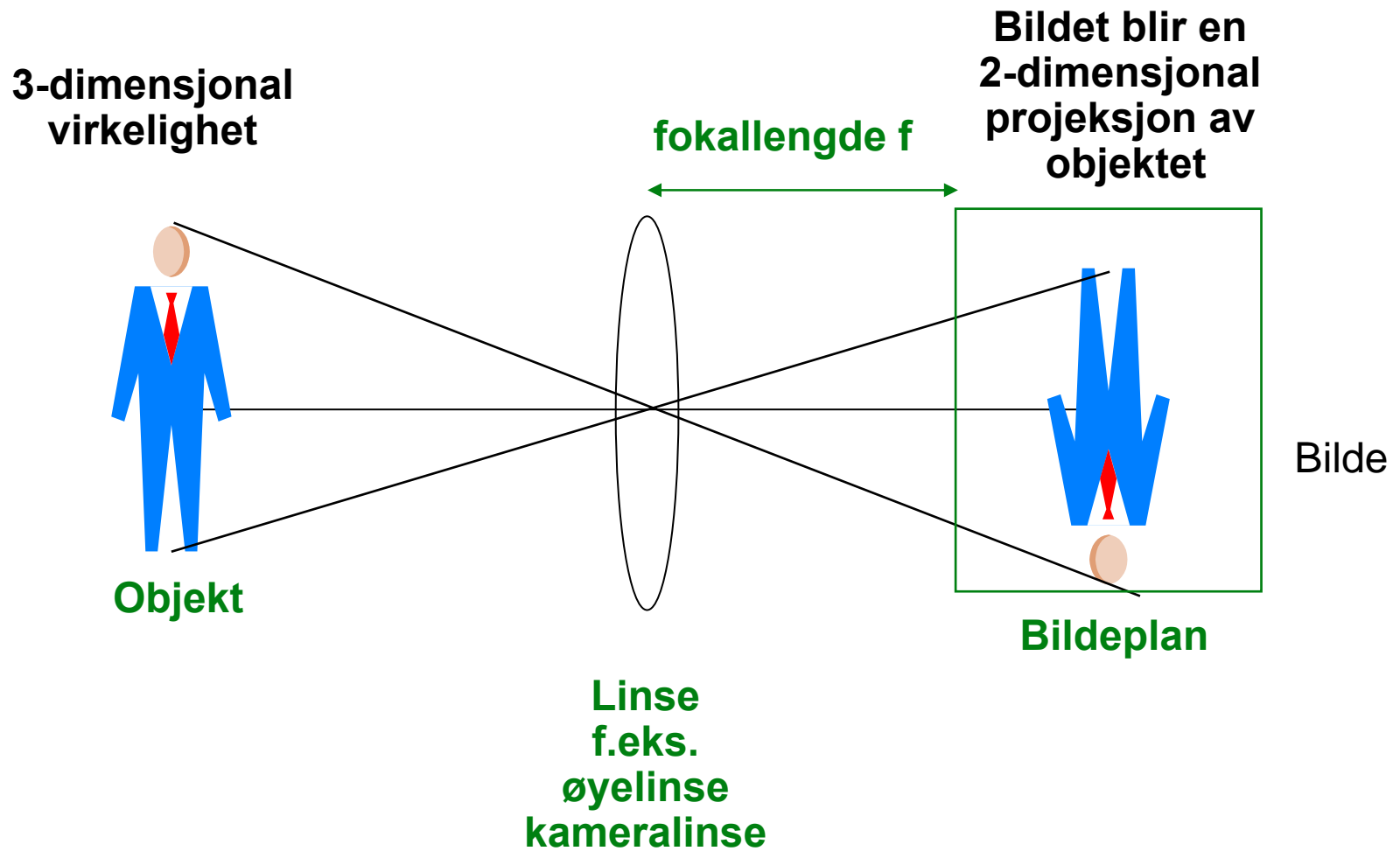
- Vi konsentrerer oss om digitale bilder.

- **Motivasjon for å kunne noe om dette:**

- *Hvor små må detektorene i bildeplanet være for å få med seg alle detaljene ?*
 - **Da må vi finne hvor store de minste synlige detaljene i bildet er, når vi kjenner linsens diameter og lysets bølgelengde.**
- *Hvor mange detektorer trenger vi for å dekke hele bildet ?*
 - **Da må vi finne ut hvor stort bildet av objektet blir, gitt at vi kjenner fokallengden til linsen, avstanden til objektet og objektets størrelse.**

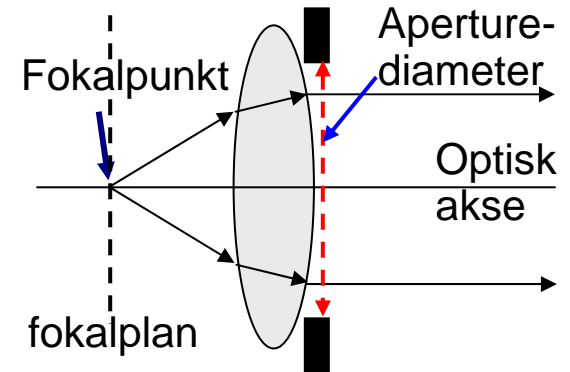


Kamera og optikk



”The lensmakers equation”

- En **konveks** linse vil samle lysstråler som er parallelle med **optisk akse** i **fokalpunktet**.
- Avstanden fra fokalpunktet til midten av linsen er **fokallengden**.
- Bildet av et fjernt objekt dannes i **fokalplanet**.
- Linsen kan blendes ned til en **aperture-diameter** \leq **fysisk diameter**.



- For de interesserte: Fokallengden avhenger av krumningsradiene:

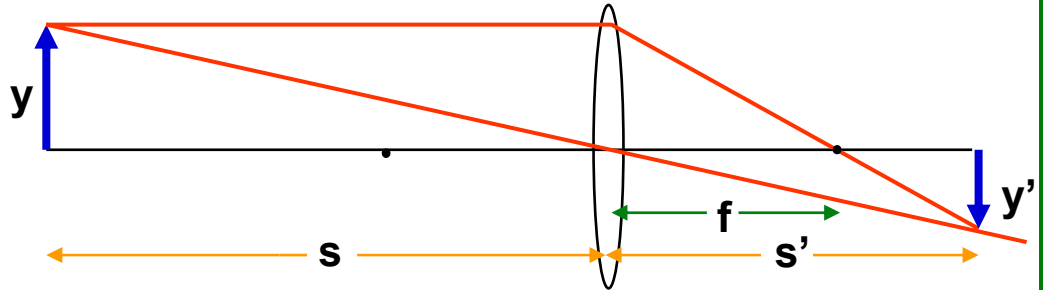
- ”Lensmakers equation” gir linsestyrken i **dioptre**, invers fokallengde:
- n = brytningsindeksen for glasset i linsen,
- R_1 og R_2 er krumningsradiene til linseflatene på forsiden og baksiden av linsen.

$$d = \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

- En veldig krummet linse har kort fokallengde, en flatere linse har lang fokallengde.

Objekt-bilde relasjonen (avsnitt 13.2.1)

- Lysstråler parallelle med optisk akse går gjennom fokuspunktet.



- Lysstråler gjennom lensens sentrum avbøyes ikke.

- En trekant til venstre og en til høyre for linsen gir oss

$$\frac{y}{s} = \frac{y'}{s'} \Rightarrow \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

- To trekanter med felles toppunkt i fokuspunktet til høyre for linsen gir

$$\frac{y}{f} = \frac{y'}{s' - f} \Rightarrow \frac{y'}{y} = \frac{s' - f}{f}$$

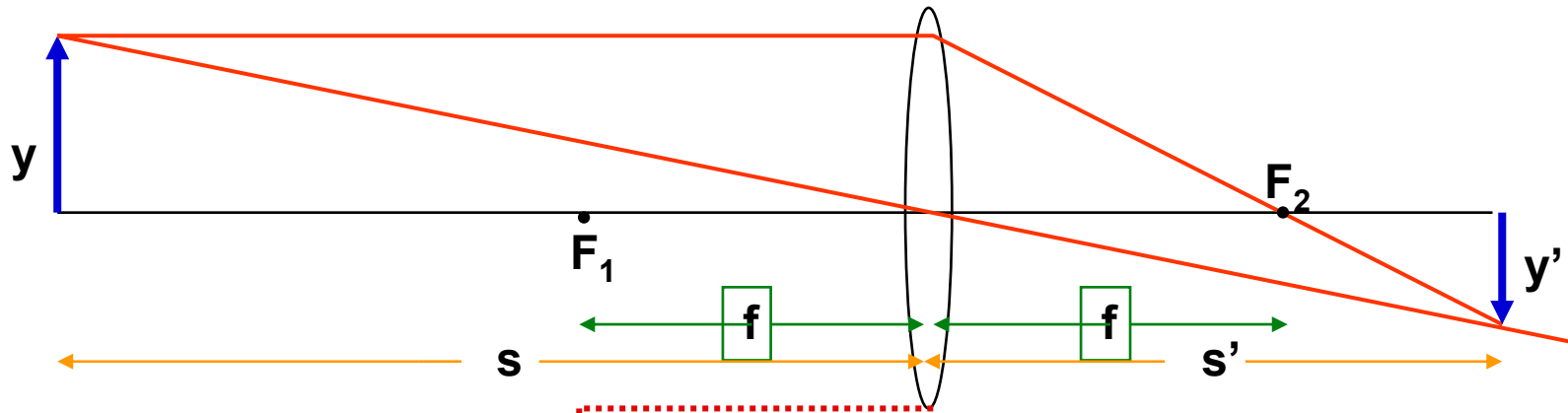
- To uttrykk for y'/y settes lik hverandre og gir

$$\frac{s'}{s} = \frac{s' - f}{f}$$

- Rydder vi litt og får ”objekt-bilde relasjonen”:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

Objekt-bilde relasjonen (avsnitt 13.2.1)



- Objekt-bilde relasjon: $1/s + 1/s' = 1/f$

Mer praktisk:

$$s' = \frac{s f}{(s - f)}$$

- Forstørrelse: $m = y'/y = s'/s$
- Hvor stort blir bildet? $y' = y s'/s$.

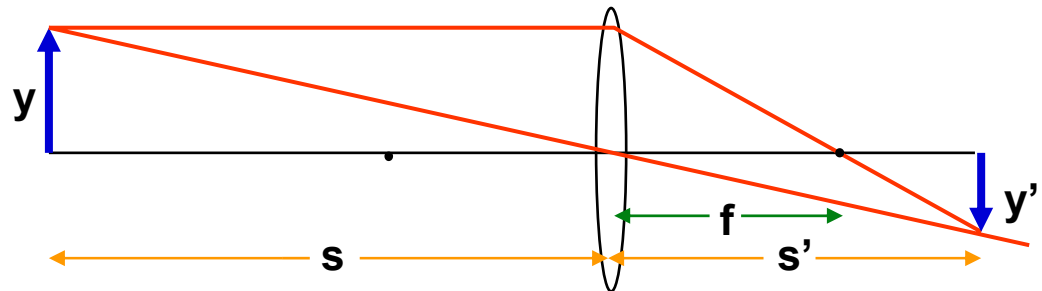
- Setter vi inn det uttrykket vi har for s' ovenfor, finner vi **et nyttig uttrykk for størrelsen på bildet i fokalplanet:**

$$y' = \frac{y f}{(s - f)}$$

Hvor stort blir bildet av Månen ?

- ❑ Hvor stort blir bildet av månen med $f = 50$ mm?
- ❑ Månen har en diameter på 3 476 km, og avstanden fra jorda til månen er 384 405 km.
- ❑ $s = 384\,405$ km, $f = 50$ mm, $y = 3\,476$ km i figuren vår

$$y' = \frac{y f}{(s - f)}$$



- ❑ Da blir $y' = yf / (s - f) = 3\,476 \text{ km} \cdot 50 \text{ mm} / (384\,405 \text{ km} - 50 \text{ mm}) = \underline{0.45 \text{ mm}}$.
- ❑ Dette bildet fyller bare 0.2 promille av arealet på en 24 · 36 mm film!

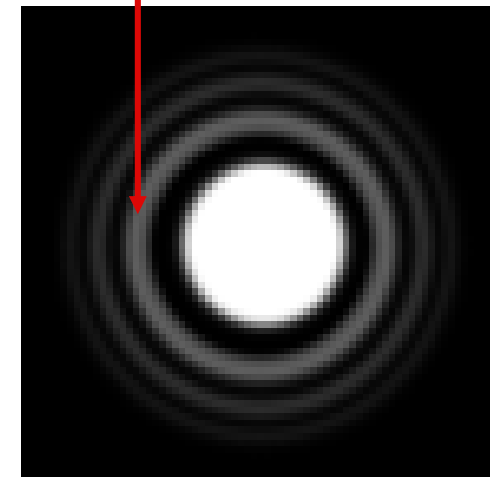
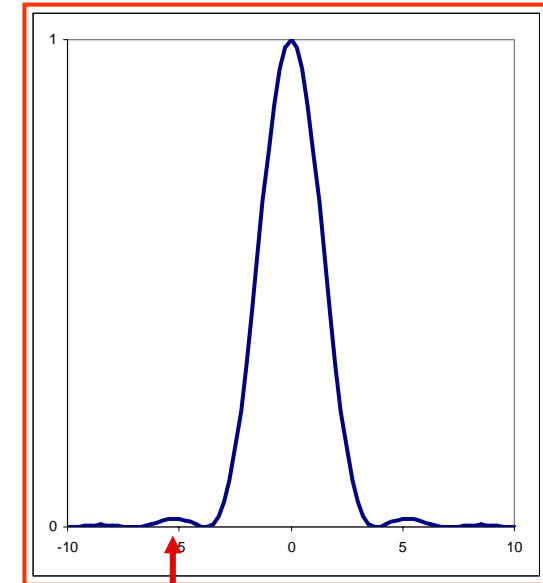
Synsfelt og perspektiv

- ❑ For et gitt bildeutsnitt vil fokallengden bestemme hvor stort synsfelt vi får.
- ❑ Hvis bildeutsnittet i fokalplanet er 24 · 36 mm:
 - $f = 28 \text{ mm}$ gir et vidvinklet synsfelt: 75° 
 - $f = 300 \text{ mm}$ zoomer inn synsfeltet til bare 8° . 
- ❑ Fokallengden kan forvrengte perspektivet.
 - Kort brennvidde gir stor nese i *en face* portrett.
 - Telelinser komprimerer dybden i bildet.
- ❑ "Normalobjektiver" gir samme perspektiv som øyet
 - $f = 50 \text{ mm}$ gir 47° synsfelt på 24 · 36 mm film
 - En liten detektor-brikke i et digitalkamera kan gi normalt perspektiv med en liten linse med kort brennvidde, men oppløsningen vil bli dårligere.



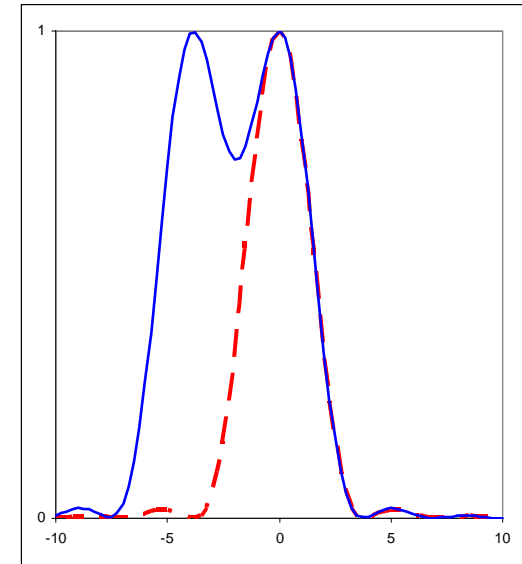
Punktspredningsprofil (PSF)

- **En linse avbilder ikke en punktkilde (for eksempel en stjerne) som et lite punkt.**
- **På grunn av diffraksjon vil en sirkulær linse avbilde en punktkilde som en lys flekk med mørke og lyse ringer rundt, der intensiteten til ringene avtar ganske raskt utover.**
- **Hver aperture har en "punktspredningsprofil" (PSF) eller diffraksjonsprofil.**
 - **PSF for en gitt aperture kan beregnes ved hjelp av enkle ligninger.**



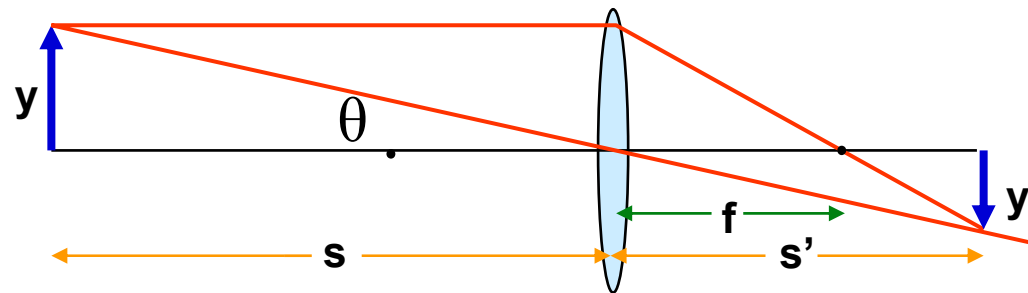
Rayleigh-kriteriet

- ❑ To lys-punkter kan akkurat adskilles i bildet hvis de ligger slik at sentrum i det ene diffraksjonsmønstret faller sammen med den første mørke ringen i det andre.
- ❑ Linse med diameter D , bølgelengde λ .
- ❑ La maksimum til den ene falle i første minimum til PSF for den andre.
 - Vinkelen mellom dem er da gitt ved
$$\sin \theta = 1.22 \lambda / D \text{ radianer.}$$
 - Dette er "Rayleigh-kriteriet".
 - *Vi kan ikke se detaljer mindre enn dette.*



Den minste detalj i et bilde ...

- ❑ Fokallengde: $f = 35 \text{ mm.}$
- ❑ F-tall: $f/D = 3 \Rightarrow D = f/3.$
- ❑ Avstand til objektet: $s = 3.5 \text{ meter.}$
- ❑ Bølgelengde: $\lambda = 500 \text{ nm.}$



- ❑ **Vinkelopløsningen, sett fra linsens sentrum, er gitt ved Rayleigh-kriteriet:**

$$\sin(\theta) = 1.22 \lambda / D = 1.22 \cdot 500 \cdot 10^{-9} \cdot 3 / 35 \cdot 10^{-3} = \underline{5.23 \cdot 10^{-3}}.$$

- ❑ **Q: Hva er avstanden y mellom to akkurat adskillbare punkter på objektet ?**

- ❑ **A: Gitt ved: $\text{tg}(\theta) = (y/s).$**

For små vinkler er $\sin(\theta) = \text{tg}(\theta) = \theta$, når θ er gitt i radianer.

$$y = 3.5 \cdot 5.23 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1.83 \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx \underline{0.2 \text{ mm.}}$$

- ❑ **Q: Hva er den tilsvarende avstanden y' i fokalplanet?**

- ❑ **A: $y' = y \cdot f / (s - f)$**

$$y' = 0.2 \cdot 35 / (3500 - 35) \text{ mm} \approx 0.002 \text{ mm} = \underline{2 \mu\text{m.}}$$

De minste detaljer i et bilde ...

- ❑ ... tatt med et kompakt digitalkamera ?
 - Kortere "brennvidde", $f = 5.8 \text{ mm}$, og $f/D = 3.1$.
- ❑ Q: Hva er nå den minste avstand y mellom to punkter på objektet som kan adskilles?
- ❑ A: Nå er linsediameteren $D = f / 3.1 = 5.8 \text{ mm} / 3.1 = 1.87 \cdot 10^{-3} \text{ meter}$.
 - Rayleigh-kriteriet: $\sin(\theta) = 1.22 \lambda / D = 1.22 \cdot 500 \cdot 10^{-9} / 1.87 \cdot 10^{-3}$
 - Men vi må fortsatt ha at $\text{tg}(\theta) = (y / 3.5)$, og $\sin(\theta) = \text{tg}(\theta) = \theta$.
 - Da får vi at $y = 3.5 \cdot 1.22 \cdot 500 \cdot 10^{-9} / 1.87 \cdot 10^{-2} \approx \underline{1.1 \text{ mm}}$.
 - Det mer moderne kameraet gir altså 5.5 ganger dårligere oppløsning.
- ❑ Q: Hva er den tilsvarende avstand y' i bildeplanet?
- ❑ A: Vi husker $y' = yf / (s - f)$, altså: $y' = 1.1 \cdot 5.8 / (3500 - 5.8) \text{ mm} \approx \underline{2 \mu\text{m}}$.
 - Kravene til fysisk samplingstetthet i bildeplanet er altså omtrent de samme.

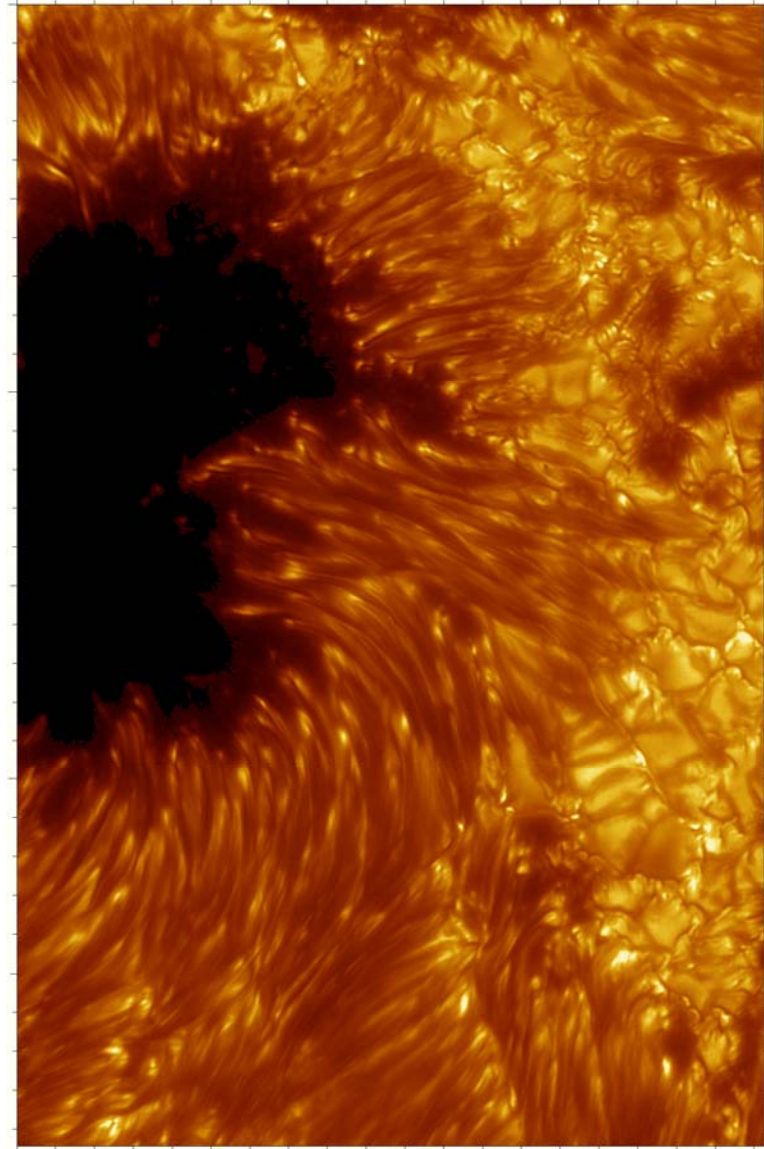
De minste detaljer i et bilde ...

... i et bilde tatt med et mobil-kamera ?

- Anta $f = 4 \text{ mm}$ og $f / D \approx 4$. Da er $D = f / 4 = 1$.
- På 3.5 meters avstand vil den minste synlige detaljen være
 - $y = 3.5 \cdot 1.22 \cdot 500 \cdot 10^{-9} / 1.0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx \underline{2.1 \text{ mm}}$.
 - En faktor 2 dårligere oppløsning enn det kompakte digitalkameraet.
- I bildeplanet er den minste detaljen gitt ved
 - $y' = yf / (s - f) = 2.1 \cdot 4 / (3500 - 4) \approx \underline{2.4 \mu\text{m}}$.
- Synsfelt er $47 \cdot 34$ grader, med $640 \cdot 480$ detektorer i fokalplanet.
 - På 3.5 meters avstand vil én detektor dekke $0.45 \cdot 0.45 \text{ mm}$.
 - Mer enn nok detektorer til å utnytte oppløsningen.
 - 2.3 ganger oversampling ($2.1 / 0.45 / 2 \approx 2.3$).

Eksempel på ekstremt høy oppløsning

- ❑ Et teleskop med 1 meter diameter har tatt noen av de aller beste bildene av Sola.
- ❑ For $\lambda = 600 \cdot 10^{-9}$ meter og $D = 1$ meter gir Rayleigh-kriteriet $\theta = 4.2 \cdot 10^{-5}$ grader
- ❑ Med en avstanden Jord - Sol $\approx 150 \cdot 10^6$ km blir teoretisk oppløsning ca 100 km.
- ❑ Eksempel: del av en solflekk.
- ❑ Merke langs bildekanten for hver 1000 km.
- ❑ Teleskopet benytter et "aktivt speil": bølgefronten til lyset analyseres på vei inn i teleskopet, og små stempler på baksiden av speilet korrigerer dets fasong i nær sann tid, slik at det kompenseres for luft-uroen.
- ❑ © *Swedish 1-meter Solar Telescope (SST), Royal Swedish Academy of Sciences.*



Andre sensorer enn øyet

- ❑ Aktive og passive sensorer: "belyse og se" eller bare "se".
- ❑ Optisk satellittbilde: Landsat
- ❑ Radarbilde fra satellitt: SAR
- ❑ Infrarødt satellittbilde
- ❑ Medisinsk ultralyd
- ❑ Røntgen og CT
- ❑ NMR – magnetisk resonnans
- ❑ Sonar, seismikk – lyd
- ❑ Mikroskopi
- ❑ Laser avstand scanner

Det elektromagnetiske spekteret

Fiolett:	0.400 - 0.446 μm
Blå:	0.446 - 0.500 μm
Grønn:	0.500 - 0.578 μm
Gul:	0.578 - 0.592 μm
Oransje:	0.592 - 0.620 μm
Rød:	0.620 - 0.700 μm

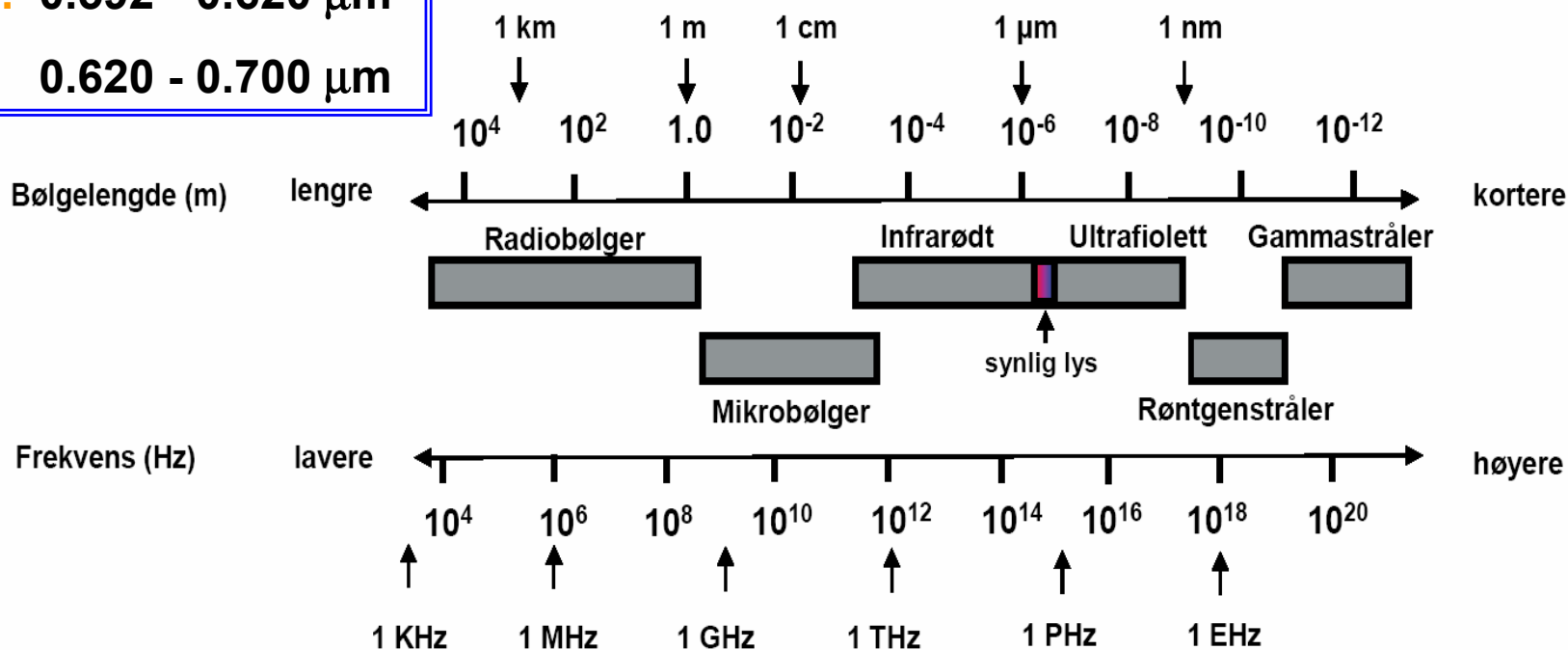
Sammenheng mellom bølgelengde og frekvens:

$$c = f \lambda \quad (\text{bølgeligningen})$$

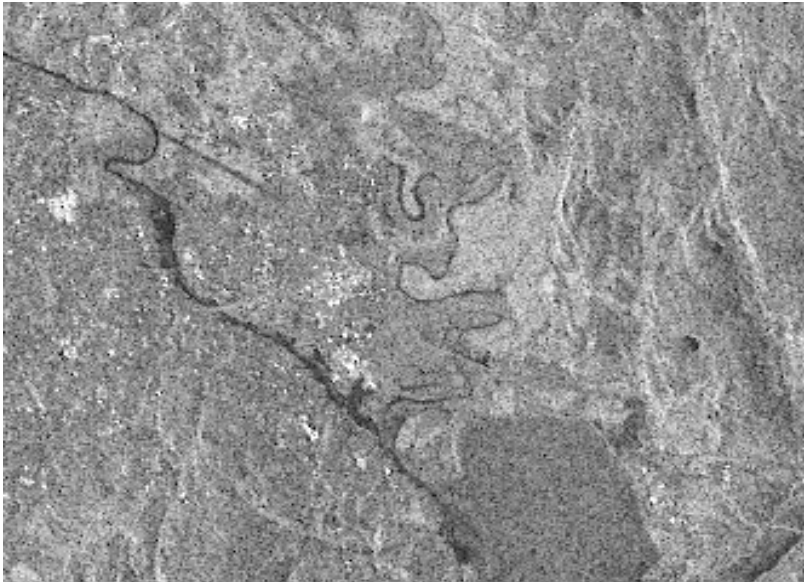
$$c = \text{lysets hastighet } (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})$$

$$\lambda = \text{bølgelengde (m)}$$

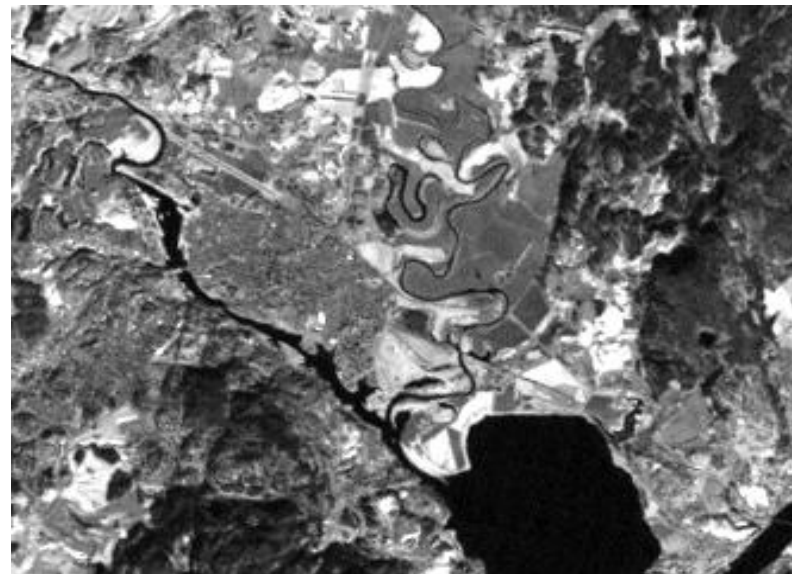
$$f = \text{frekvens (svingninger pr. sekund, Hz)}$$



Eksempel: radarbilde vs. optisk

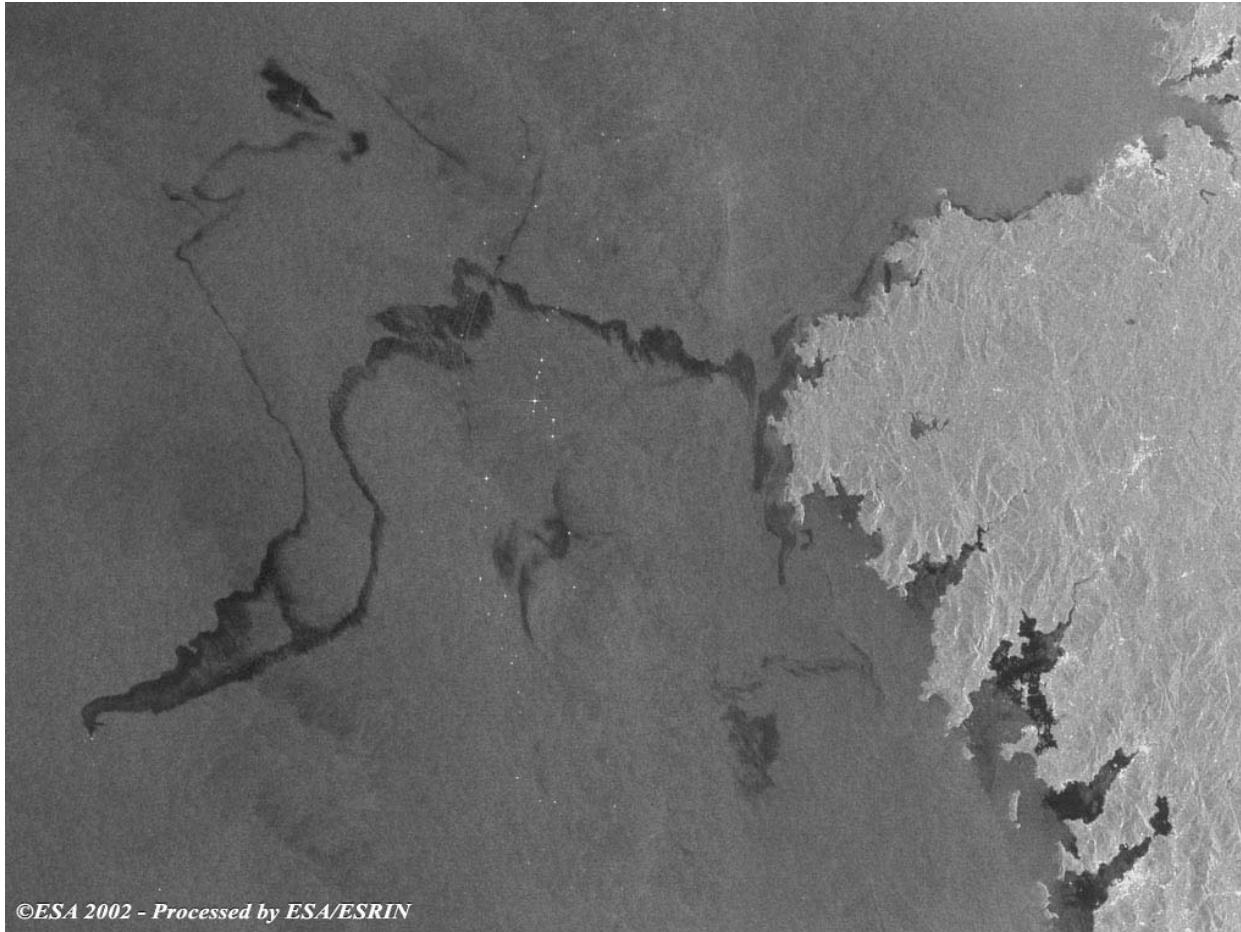


Bilde fra ERS-1 SAR-satellitten
Radaren viser røffheten på overflater



Landsat-bilde fra samme område

Eksempel: radarbilde av oljesøl fra skipsforlis



- ❑ Radar detekterer overflatens "røffhet".
- ❑ Olje demper vindbølger på vann.
- ❑ Radarbilder fra satellitt og fly kan overvåke oljesøl
 - Fra skipsforlis
 - Utslipp fra skip
 - Utslipp fra oljerigger
- ❑ Eksempel:
 - M/S Prestige, 2002.

© ESA

Satellittbilder med lav og høy oppløsning

- Lavoppløsningsbilder gir oversikt, f.eks innen meteorologi.

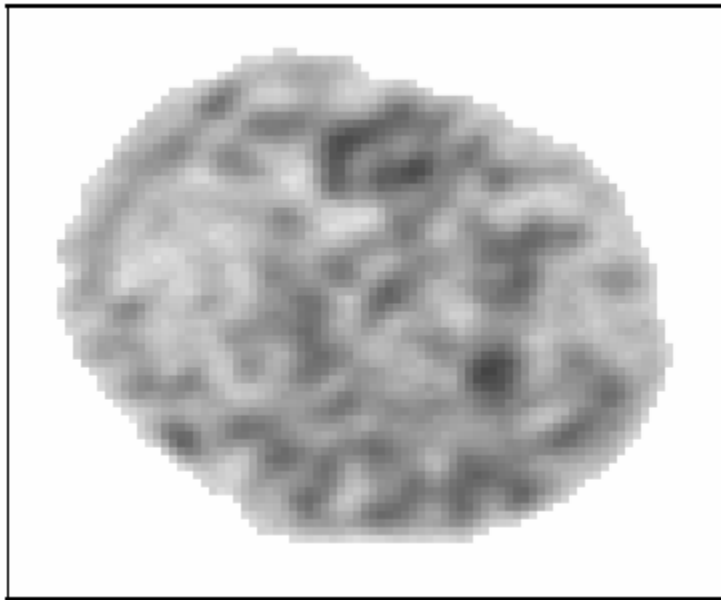


- Høyoppløselige bilder nyttige til kartlegging, arealplanlegging, spionasje, ...



Medisinsk mikroskopi

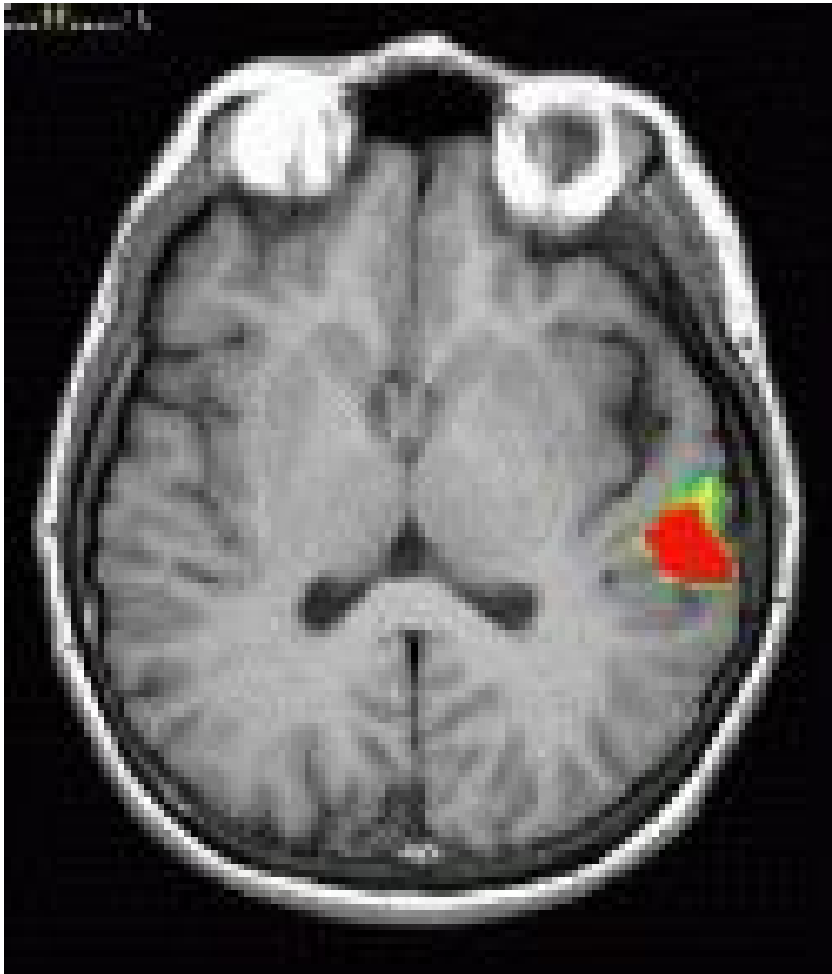
- ❑ Eksemplet viser mikroskopi-bilder av cellekjerener fra kreftsvulst i eggstokkene (ovarie) for en pasient med god prognose (venstre) og en pasient med dårlig prognose (høyre).
- ❑ Visuelt kan man ikke se forskjell, men med matematisk analyse av teksturen kan man klassifisere dem riktig.



CT og MR

- ❑ **Plasser røntgenkilden foran en pasient, og en detektor-matrise bak.**
 - Roter dette oppsettet sakte rundt pasienten – ta flere bilder.
 - Etterpå kan vi regne oss fram til absorpsjonen i hvert punkt i pasienten.
 - Vi får altså et 3-D røntgenbilde.
 - Kan ta snitt-bilder av dette volumet i de plan og de retninger vi ønsker.
 - Dette kalles” Computed Tomography”, forkortet CT.
- ❑ **Magnetisk resonans avbildning (MR) avbilder protonene i kroppen.**
 - Dette gjøres ved å eksitere hydrogen-atomene,
 - Registrerer hvordan atomene de-eksiteres.
 - Tiden dette tar er avhengig av vevstype og av sykdomstilstand.

Funksjonell MR



- ❑ Funksjonell MR (f MRI) avbilder de delene av vevet hvor oksygenforbruket er høyt eller endres mens man gjør opptaket.
- ❑ Kan f.eks avbilde de delene av hjernen som er i aktivitet når man utfører en spesiell oppgave.
- ❑ Eksempel:
axialt snitt fra lyttende person (Miami Childrens Hospital)
- ❑ Tilsvarende verbal aktivitet ligger nær dette området i hjernen (ved venstre tinning).

Flerdimensjonale bilder

- ❑ Et 2-D bilde er en projeksjon av et 3-D objekt.
 - For å gjenskape objektet i 3-D må vi ha flere 2-D projeksjoner.
 - Vi må løse ”korrespondanseproblemet”,
hvilke punkter i bildene svarer til samme punkt i virkeligheten.
 - Dette gjør hjernen vår. Kombinerer høyre og venstre bilde - *stereo-syn*.
- ❑ Laser avstandsmåler gir 2-D avbildning av den tredje dimensjonen.
- ❑ CT og MR gir 3-D bilder av organer inne i kroppen vår.
- ❑ Mikroskopi
 - **konfokal mikroskopi belyser og avbilder på flere dyp i vevet,**
 - **serielle tynne snitt av cellepreparater gir 3D bilder med meget høy oppløsning.**
- ❑ En tidssekvens av 2-D bilder kan sees på som et 3-D datasett.
- ❑ En tidssekvens av 3-D bilder kan betraktes som et 4-D bilde.
- ❑ Avbildning på flere bølgelengder for hvert tidspunkt gir et 5-D bilde.

Digitalisering i tre enkle steg

- Et kontinuerlig bilde er en reell funksjon $f(x,y)$ av to (eller flere) reelle og kontinuerlige variable.
- 1. Vi legger på et rutenett, og beregner gjennomsnittsverdien av $f(x,y)$ i hver rute.
 - Dette er samplingen.
 - Rutenettet er vanligvis kvadrater.
 - Vi har nå en reell funksjon $f'(x',y')$, der heltallene x' og y' gir nummereringen av rutene.
- 2. Vi skalerer $f'(x',y')$ slik at den passer innenfor det tall-området vi skal bruke som gråtoneskala.
- 3. Vi kvantiserer verdiene av $f'(x',y')$ til nærmeste heltall i gråtoneskalaen.
 - Vi har nå funnet $f''(x',y')$, som er en heltalls funksjon av to heltalls variable.

Viktige begreper

- ❑ Et **digitalt bilde** er en funksjon av to (eller flere) heltallsvariable $f(x,y)$ (x og y er heltall)
- ❑ Et 2-dimensjonalt digitalt bilde er en 2-dimensjonal array/matrise. Dette kalles **raster-representasjon**.
- ❑ Hvert element i matrisen kalles et **piksel**, og angis ved koordinater x og y .
- ❑ Tallverdien til hvert piksel angir **intensiteten** til pikslet.
- ❑ Lagres pikselverdiene i **matriser**, trenger vi ikke ta vare på koordinatene.

x

y

1	5	7	3	6	4
3	7	7	6	4	3
2	4	4	3	4	4
3	3	1	1	1	1
3	3	3	9	9	9
5	6	5	5	6	6

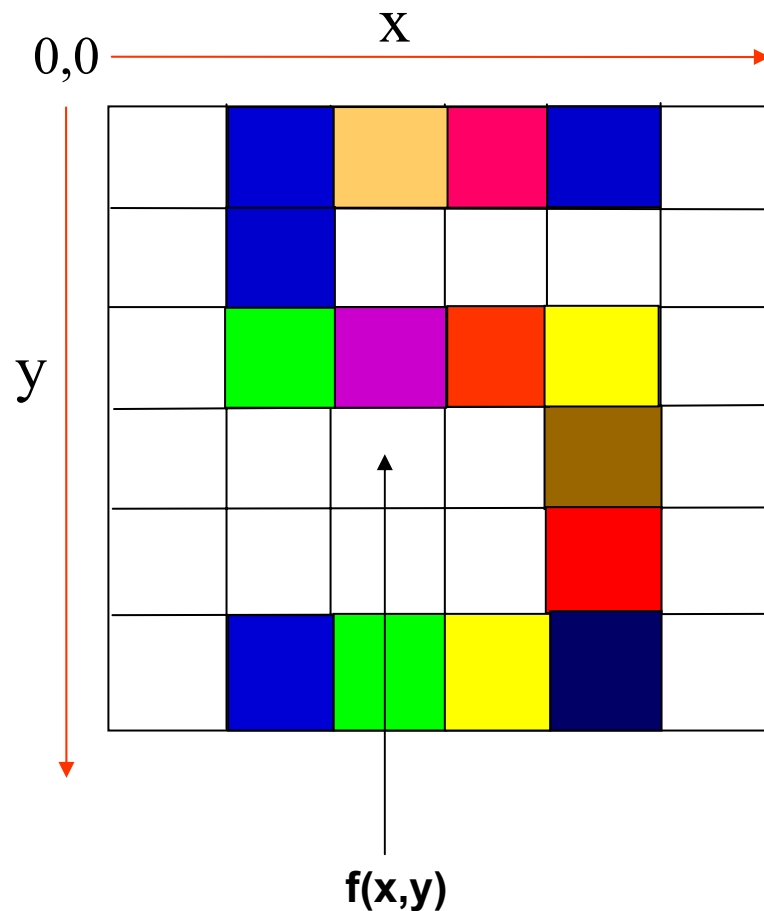
Merk: origo (0,0) er ofte oppe i venstre hjørne i bildet.

Det første pikslet kan ha indekser (0,0) eller (1,1)



Representasjon av digitale bilder

- ❑ $f(x,y)$ er bildeverdien i piksel (x,y) .
- ❑ $f(x,y)$ er et tall som forteller noe om intensiteten (lysstyrken) målt i punktet (x,y) .
- ❑ $f(x,y)$ kan også være en vektor, f.eks. (r,g,b) for et fargebilde.
- ❑ $f(x,y)$ må representeres med en gitt datatype (integer, byte, float etc.).



Eksempel - Pikseltyper

0	1	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	1	1	0
0	0	0	1	0
0	1	1	1	0

Bit

0	25	23	13	0
0	14	0	0	0
0	14	21	31	0
0	0	0	21	0
0	41	14	51	0

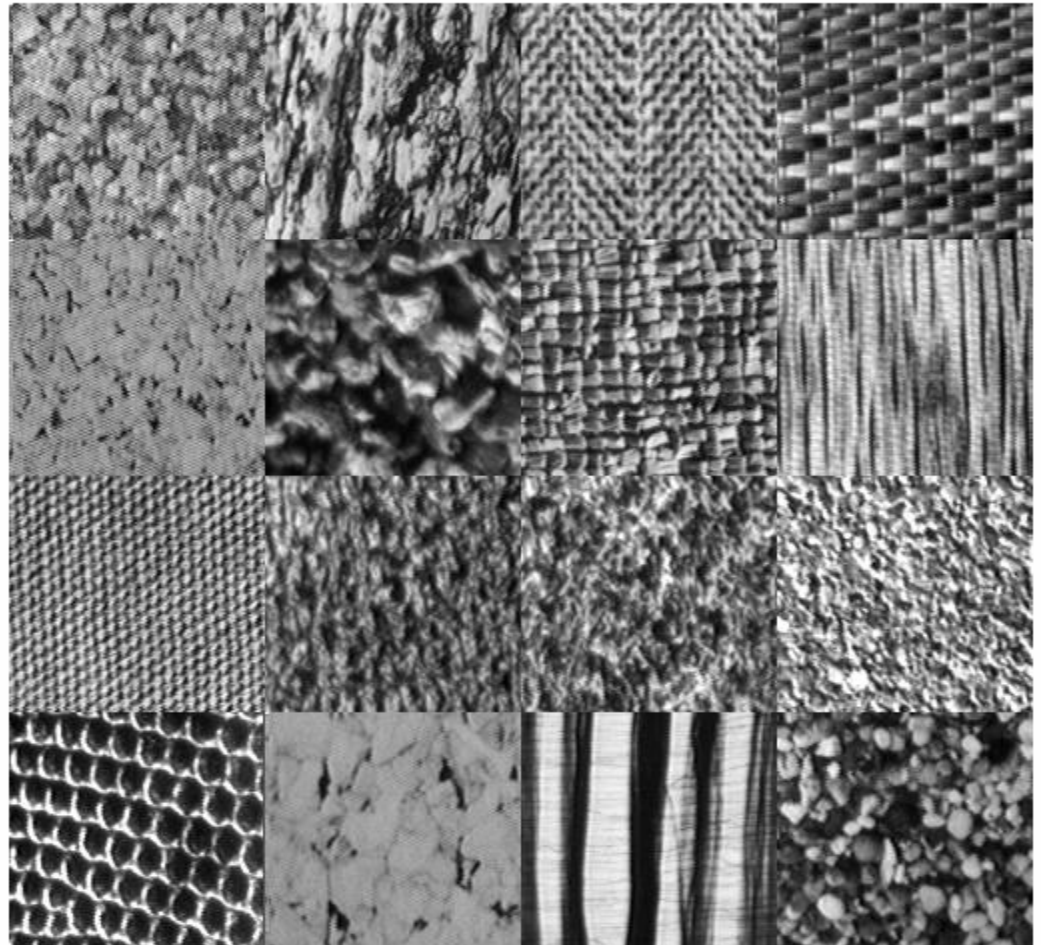
Byte

0.1	14.5	12.3	51.3	0.0
0.2	41.6	0.0	0.2	0.3
0.3	18.7	33.1	44.1	0.8
0.1	0.1	0.1	1.2	0.4
0	55.5	76.4	24.5	0.4

Real

Naturlige frekvenser i bilder

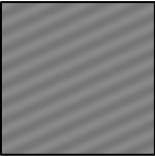
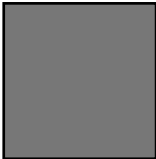
- Naturlige bilder:
har et "uendelig" sett
av frekvenser.
- Fourier-teori:
et bilde kan beskrives
ved en endelig sum
av sinus og cosinus-signaler
med ulike frekvenser.
- Digitale bilder består av et
endelig sett frekvenser.



Sampling

- ❑ Bildet varierer i intensitet med ulike frekvenser.
- ❑ Antar bildet inneholder av et endelig antall frekvenser.
- ❑ En høy frekvens beskriver et mønster som varierer hurtig i bildet, lav frekvens noe som varierer langsomt.
- ❑ Nyquist-kriteriet: Samplingsraten må minst være dobbelt så stor som den høyeste frekvensen i bildet.
 - Dette betyr: Vi må sample minst to ganger pr. periode av det objektet som varierer hurtigst i det kontinuerlige bildet.
- ❑ Det digitale bildet må altså ha **minst to piksler** pr periode for den minste periodisk struktur i det kontinuerlige bildet.
- ❑ I tillegg må vi ha god nok optikk til å avbilde slike strukturer !

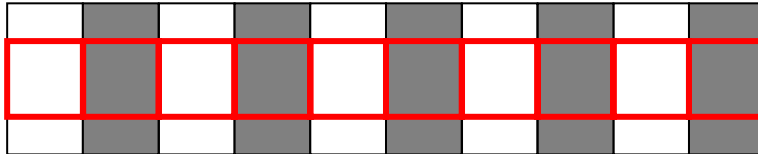
Kommentar om sampling av bilder

- ❑ Når et kamera tar bilde av et objekt, vil hvert piksel i bildet inneholde lys målt fra hele det området som pikselet dekker.
- ❑ **Eksempel: la oss si at 1 piksel dekker det området som er vist til høyre, og at dette lille området inneholder noe fin-struktur:** 
- ❑ **Dette representeres etter samplingen ved gjennomsnittlig lysstyrke i området:** 
- ❑ **Vi har målt en middelvei over et areal, og gjengir det likedan.**
- ❑ **Dermed er all struktur mindre enn pikselstørrelsen blitt visket ut.**
- ❑ Dette er forskjellig fra sampling av lyd, der samplet lages ved at man "fryser" lydstryken på et gitt tidspunkt.

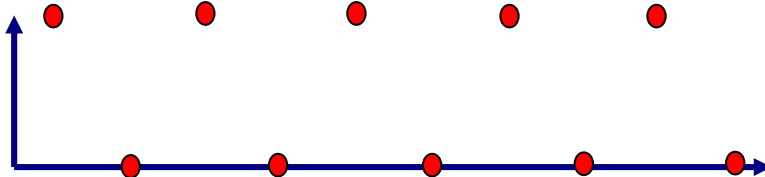
Nyquist ... på et stakitt ...

- Ta et analogt bilde av et stakitt med 10 cm sprosser og 10 cm mellomrom.

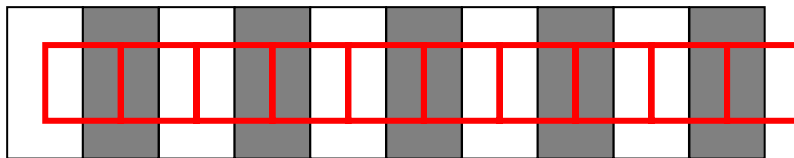
- Anta at det er to piksler per periode ...



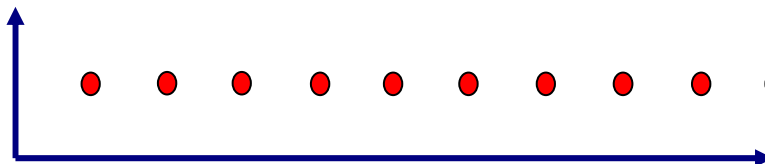
- Vi finner gjennomsnittintensiteten i hvert piksel ...



- Så forskyver vi pikslene $\frac{1}{4}$ periode ...



- Og ser at pikselverdiene blir helt annerledes ...

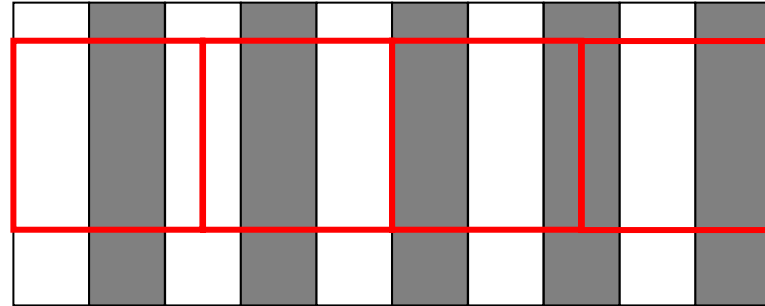


- Vi må ha MINST to piksler per periode!

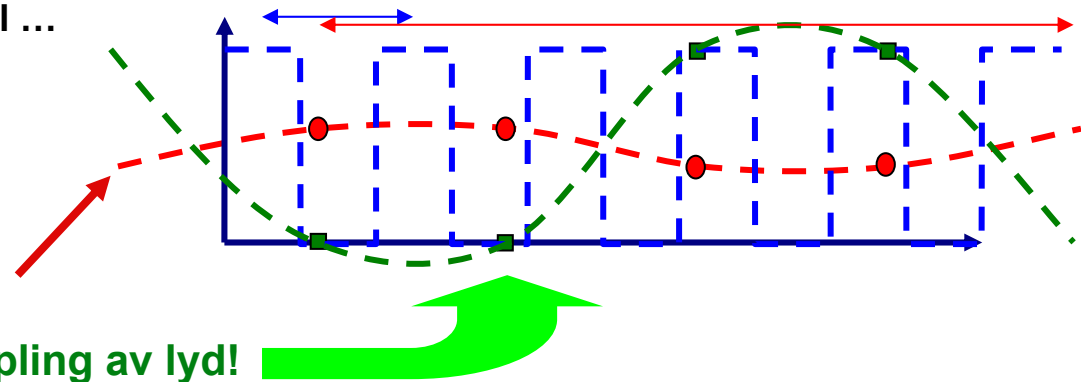
Et undersamplet Nyquist-stakitt ...

- Ta et analogt bilde av et stakitt med 5 sprosser og 5 mellomrom per meter.

- Vi har en periodisk struktur
 - $f = 5$ svingninger per meter
 - Periode $T = 20$ cm
- Anta at pikslene svarer til $25 \cdot 25$ cm, dvs $f_s = 4$ sampler per meter.



- Finner gjennomsnitt i hvert piksel ...
 - Amplituden reduseres ...
 - Vi får aliasing,
 $f_a = |f_s - f| = |4 - 5| = 1$
 - Perioden $T_a = 1/f_a = 1$ meter



- Dette er annerledes enn ved sampling av lyd!

- Vi får redusert amplitude i forhold til lydsampling
- Vi får samme aliasingfrekvens
- Vi kan få faseforskyvning

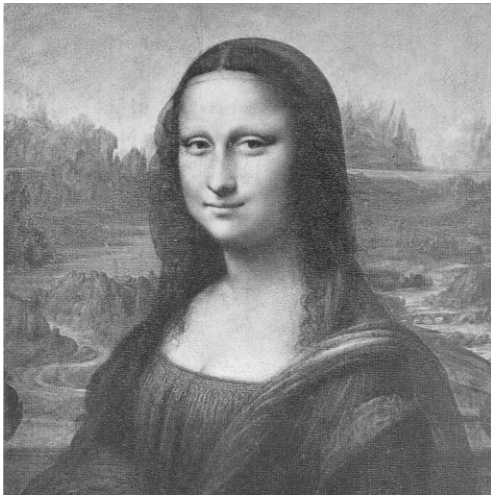
Valg av rutenett/gridstørrelser

- Gridstørrelsen er ofte gitt av sensorer:
 - Video: f.eks. 640 x 480 (kolonner · linjer)
 - Digitalt kamera: f.eks. 1024 · 768 (0.7 megapiksel)
 - Bedre kamera: 1760 · 1168 (2.1 megapiksel)
 - Enda bedre: 2272 · 1704 (4.0 megapiksel)
- Gridstørrelse og fokallengde bestemmer den romlige oppløsningen, gitt som en vinkel.
- Hvis vi kjenner avstand fra kamera til objektet som avbildes, kan vi angi **romlig oppløsning** som størrelsen av hvert piksel på objektet, for eksempel i meter.

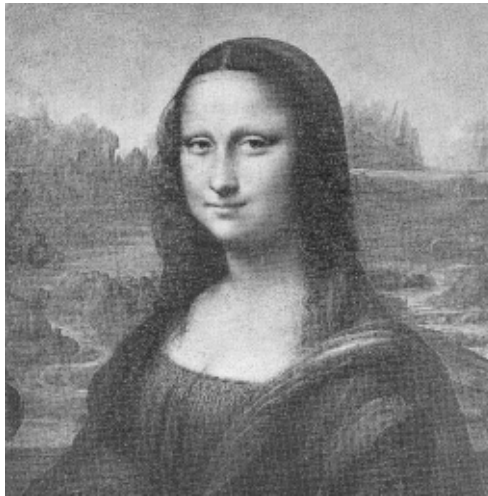
Romlig oppløsning avhenger av anvendelsen

- ❑ Et kamera på mobiltelefon skal sende bildet over en GSM-linje og har relativt dårlig oppløsning.
- ❑ Bilder på Internett skal også overføres raskt og ligger ofte lagret med dårlig oppløsning.
- ❑ Skal vi skanne inn et håndtegnet kart, må vi ha god nok oppløsning til at tekst og linjer kommer korrekt med.
- ❑ Skal vi ta bilder av jorden fra satellitt, kan vi enten dekke
 - et stort område med liten oppløsning (1km)
 - et mindre område med moderat oppløsning (10m)
 - et enda mindre område med veldig høy oppløsning (10 cm)

Eksempler - romlig oppløsning



512 · 512 piksler



256 · 256 piksler



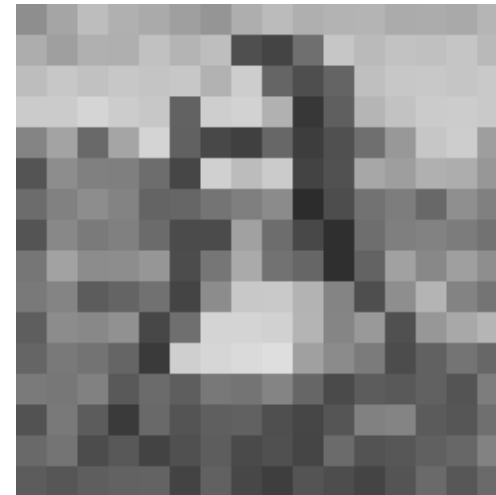
128 · 128 piksler



64 · 64 piksler

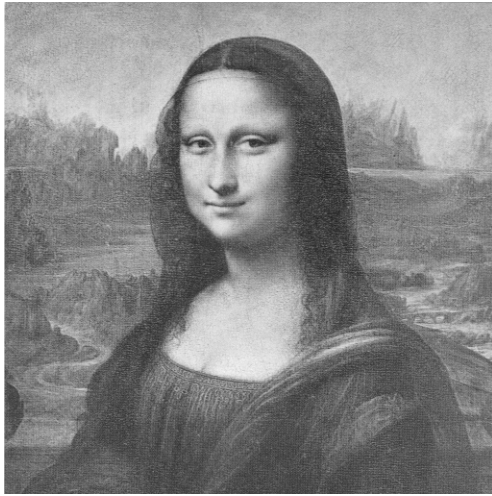


32 · 32 piksler



16 · 16 piksler

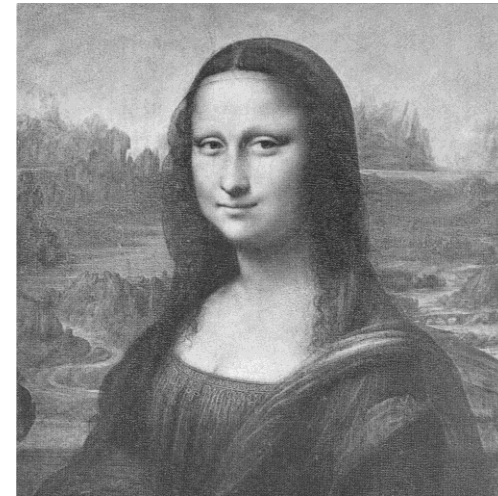
Eksempler - antall biter pr. piksel



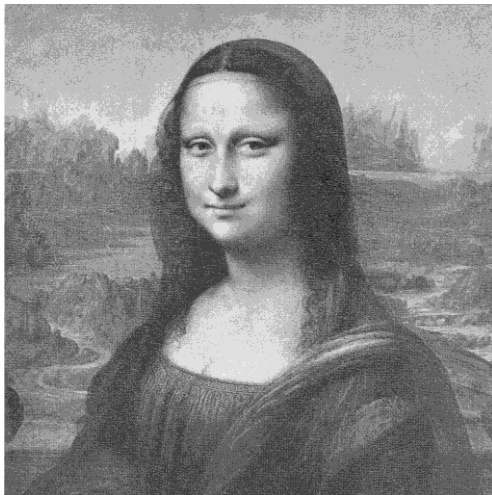
8 biter



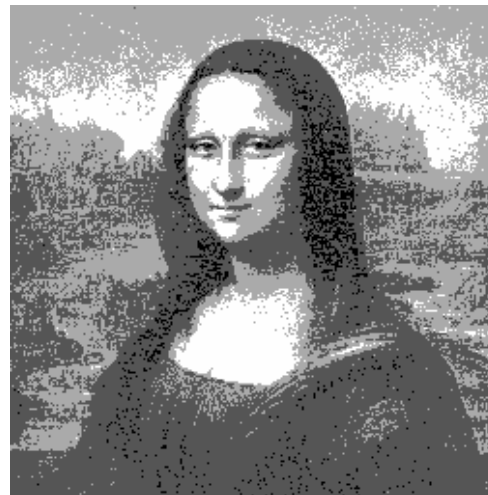
6 biter



4 biter



3 biter



2 biter



1 bit

Bitplan i et gråtonebilde

- Et 8 bits bilde har 8 **bitplan**.

- LSB forrest i figuren - bare tilfeldig støy.
- MSB bakerst i figuren.



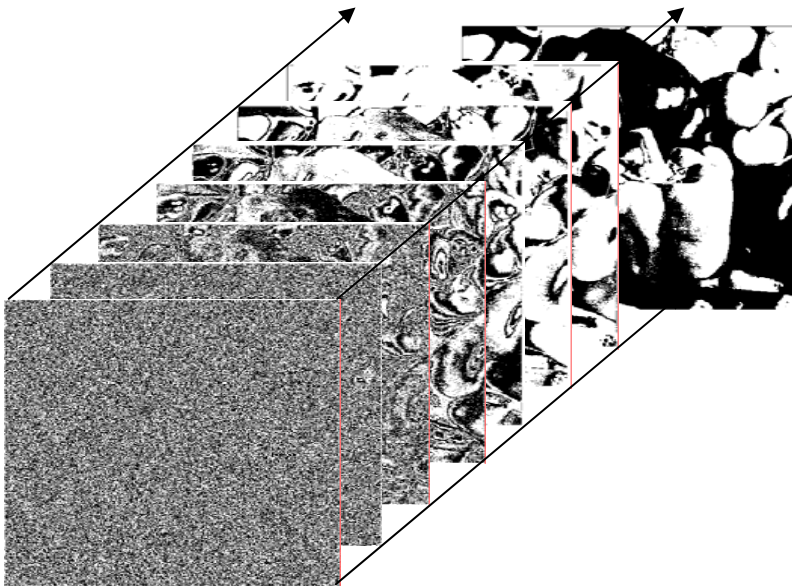
- Pikselverdien i (x,y) er gitt ved:

$$f(x,y) = b_0(x,y) \cdot 2^0 + \dots + b_7(x,y) \cdot 2^7 = \sum b_i(x,y) \cdot 2^i$$

- Se representasjon av tall, kapittel 7.

- Hvis bit 1- 6 i (x,y) = 1:

- $f(x,y) = 1+2+4+8+16+32+64 = 127$.
- MSB = 0 (svart) $\Rightarrow f(x,y) \in [0,127]$.
- MSB = 1 (hvit) $\Rightarrow f(x,y) \in [128, 255]$.
- **MSB-planet er en terskling av $f(x,y)$.**



Kvantisering og datatyper

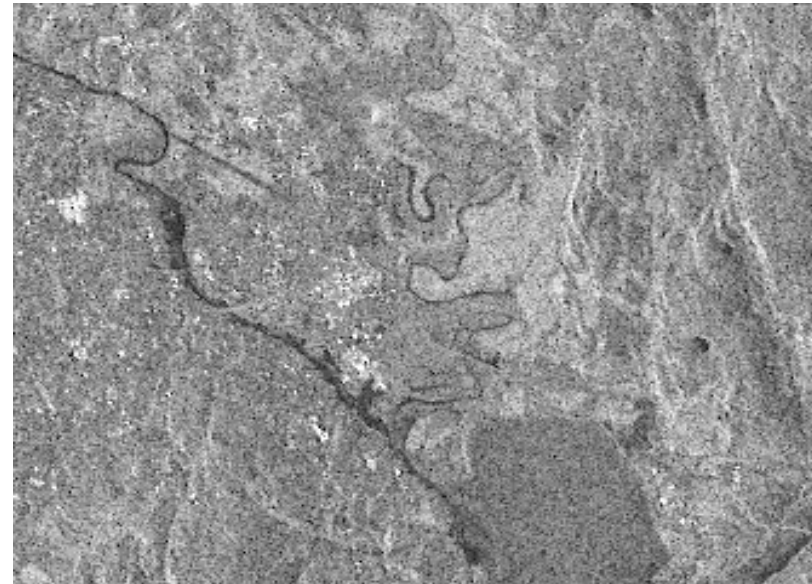
- ❑ Hvert piksel lagres vha. n bit
- ❑ Pikselet kan da inneholde verdier fra 0 til 2^n-1

- ❑ 8 bits bilder: 256 ulike verdier (0-255)
- ❑ 16 bits bilder: 65536 verdier
 - unsigned: fra -32 768 til 32 767
 - signed: fra 0 til 65 535
- ❑ 32 bits integer
- ❑ 32 bits float
- ❑ Merk: Display og videre bildeanalyse av det kvantiserte bildet stiller ulike krav til presisjon.

Eksempel: plassbehov

Radarbilde fra ERS-satellitten:

- ❑ Dekker 100 · 100 km
- ❑ Pikselstørrelse 20 · 20m
- ❑ 5000 · 5000 piksler



Utsnitt av ERS1 SAR bilde

8-biter per piksel: 25 MB

16 biter per piksel: 50 MB

32 biter per piksel: 100 MB

Bilder tar mye plass

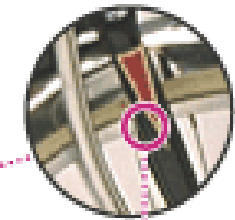
- ❑ En side i en lærebok er på 50 linjer a 80 tegn.
- ❑ Hvor mange bok-sider svarer et 4 Mpix fargebilde til ?
 $(4 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 8) / (50 \cdot 80 \cdot 8)$ bok-sider = $3 \cdot 10^3$ bok-sider
- ❑ Hvor stort må et 24 bits fargebilde være for at utsagnet ”et bilde sier mer enn 10 000 ord” skal være riktig ?
 $10\ 000 \text{ ord} \cdot 6 \text{ tegn/ord} \cdot 8 \text{ bits/tegn} / 24 \text{ bits/piksel} = 20\ 000 \text{ piksler}$,
altså et kvadratisk bilde med 141 piksler hver vei.
- ❑ For et gråtonebilde: $10\ 000 \cdot 6 \cdot 8 / 8 = 60\ 000$ piksler,
altså et kvadratisk bilde med 245 piksler langs aksene.

To representasjoner for bilder

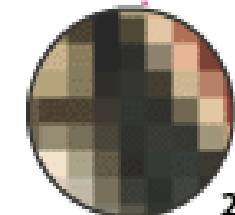
- ❑ Det er to fundamentalt forskjellige måter å representere et bilde på:
 1. **Lagre alle pikselverdiene (gråtoneverdi, eller fargekomponenter)**
 2. **Lagre en parametrisert beskrivelse av bildets innhold**
- ❑ Den siste metoden krever at bildet deles opp i objekter, og at hvert objekt beskrives ved en rekke parametre.
- ❑ Dette forutsetter
 1. Enten at bildet er forholdsvis enkelt (skisser, tegninger, CAD, kart, ...)
 2. Eller at det brukes veldig mange parametre for å generere noe som ligner på et naturlig bilde ("virtual reality").
- ❑ I det siste tilfellet er det naturlig å la objekter ha overflate-egenskaper (varierende farge, refleksjonsegenskaper, tekstur, etc.).

Raster- eller vektor-bilde

- ❑ Rasterbilder er enkle å lage
- ❑ Tåler ikke mye forstørrelse
- ❑ Krever mye lagringsplass

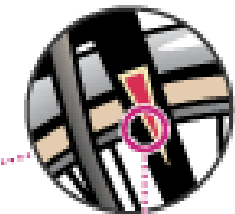
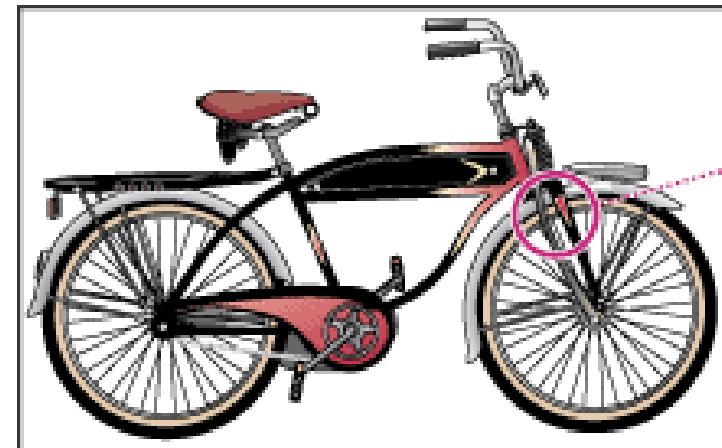


3:1



24:1

- ❑ Vektorbilder må konstrueres
- ❑ Krever god programvare
- ❑ Tåler mye forstørrelse
- ❑ Krever mindre lagringsplass



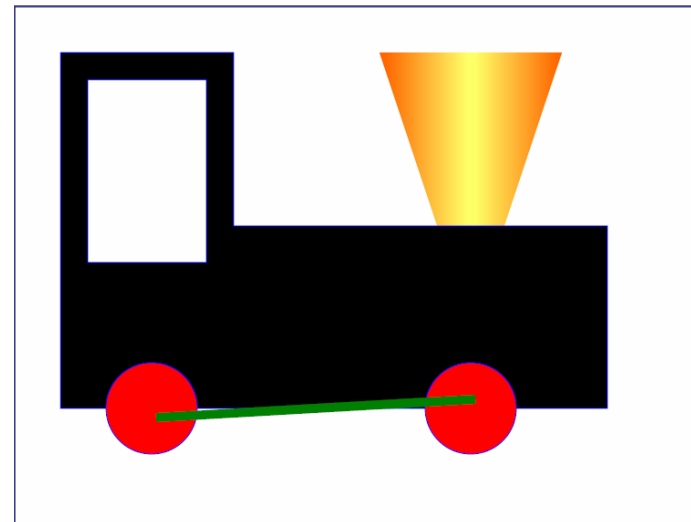
3:1



24:1

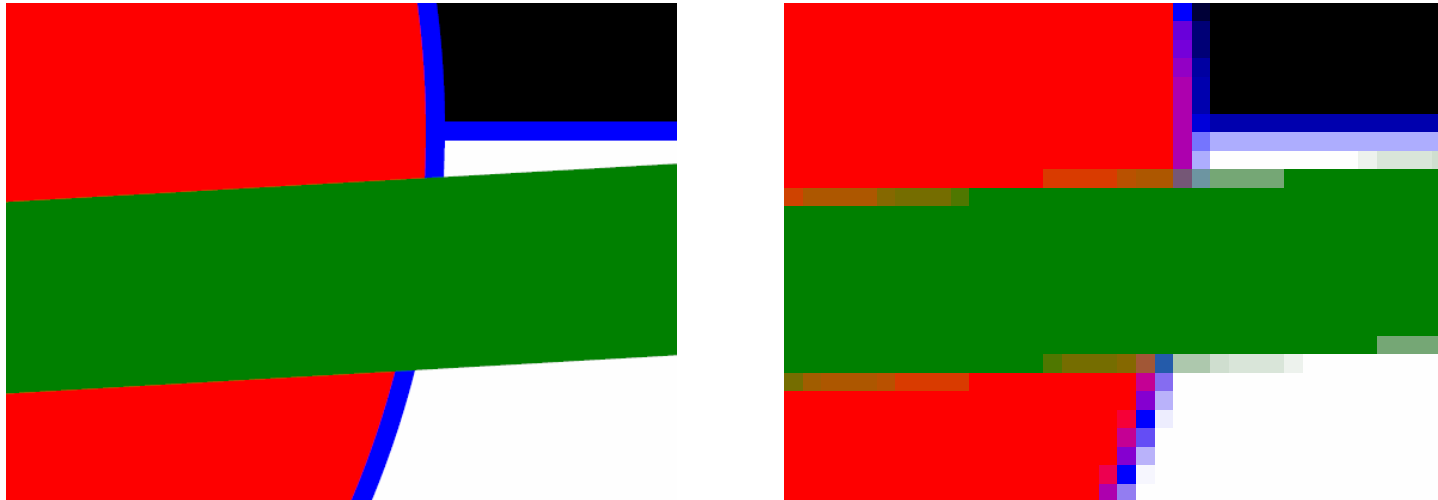
Scalable Vector Graphics (SVG) – XML vektorgrafikk

- ❑ SVG er et språk for å beskrive 2-D grafikk i XML.
- ❑ Egner seg best for regulære, konstruerte former
- ❑ Et objekt kan ligge foran / bak et annet objekt.
- ❑ Naturo scener kan oppnås ved hjelp av "støy" og fraktaler.
- ❑ Grafiske objekter kan grupperes og transformeres.
- ❑ Transformasjoner kan nøstes, man kan ha transparente masker, filtre og templater.



Vektor og raster

- ❑ Vi kan forstørre deler av et vektorbilde uten at det går ut over bildekvaliteten.
- ❑ For rasterbilder er dette begrenset av pikselstørrelsen.
- ❑ Merk at vektorbilder også må konverteres til rasterbilder før framvisning.



Animasjon

- ❑ Når objektene er beskrevet som vektor-grafikk, kan man flytte på øye-punktet, og få fram et nytt bilde av objektene.
- ❑ Hvis øyet beveger seg langs en parametrisert bane, vil man få en sekvens av resultat-bilder.
- ❑ Man kan legge på fade-in og fade-out effekter.
- ❑ Objekter kan endre størrelse, form og farge underveis.
- ❑ Objekter kan bevege seg i forhold til hverandre, og rotere.
- ❑ Netto-effekten er en animasjon.
- ❑ Er animasjonen tilstrekkelig kompleks, kan "bilde"-sekvensen se ganske virkelighetsnær ut, uten at det er lagret noen bilder.

Litt om digitale kart

- **Digitale kart ligger lagret på vektorform:**
 - **Regioner ligger som flater**
 - **Veier ligger som linjer**
 - **Bygninger o.l. ligger som punkter med en viss størrelse.**
 - **Stedsnavn ligger som tekst**
 - **Høydekurver ligger som linjer**
 - **Vann ligger som konturer**

- **Kartene ligger med mange lag, f.eks. for M711-serien:**
 - **Stedsnavn, bygg og anlegg, høydepunkt, bygg og anlegg, veier, markslagsgrenser, samferdsel, høydedata, kommunegrenser, fylkesgrenser, vannkontur, elver, etc.**

Dette bør du ha fått med deg i dag ...

- ❑ **Hornhinna og øyelinsen danner et bilde på netthinna.**
- ❑ **Øyelinsen kan forandre form slik at den kan fokusere på objekter på ulike avstander uten å endre avstanden mellom linsen og bildet.**
- ❑ **I netthinna er det ca 130 millioner lysfølsomme detektorer.**
 - **Ca 120 millioner staver er svært lysfølsomme, men ser ikke farger.**
 - **6-7 millioner tapper gir oss et fargesyn med høy geometrisk oppløsning.**
- ❑ **I synshjernebarken sitter mengder av kantdetektorer som finner kanter og linjer i bildet**
 - **Separate detektorer for hvert øye, for ulike orienteringer og tykkelser.**
- ❑ **Vi kan se ca 60 svarte linjer på hvit bunn per grad i synsfeltet.**
- ❑ **Vi kan bare oppfatte ca 60 lysblink per sekund**

Dette bør du ha fått med deg i dag ...

- ❑ Et 2-dimensjonalt digitalt bilde er en 2-dimensjonal heltalls matrise (array).
- ❑ Hvert tall i matrisen svarer til et lite (oftest kvadratisk) område i det opprinnelige analoge bildet.
- ❑ Hvert tall i matrisen kalles et piksel ("picture element").
- ❑ I gråtone-bilder angir piksel-verdien hvor lyst / mørkt det lille området i det opprinnelige bildet er.
- ❑ I fargebilder er piksel-verdien en vektor (3 heltall).
- ❑ Hvert piksel har implisitte romlige koordinater (x,y), gitt ved posisjonen i matrisen.

Dette bør du også ha fått med deg ...

- ❑ Det digitale bildet må ha **minst to piksler** pr periode for den minste periodisk struktur i det kontinuerlige bildet.
- ❑ Vi må ha god nok optikk til å avbilde slike strukturer !
Vinkelopløsningen er gitt ved $\sin \theta = 1.22 \cdot \lambda / D$.
- ❑ Vi velger en **kvantisering** som tilfredsstill de krav som display og/eller senere bildebehandling og analyse stiller.
- ❑ Digitale bilder krever generelt mye lagringsplass.
- ❑ Vektorrepresentasjon kan være et alternativ til rasterbilder.