
INF 2310 – Digital bildebehandling

Forelesere våren 2013:

Fritz Albregtsen

Andreas Kleppe

Temaer i dag

- Praktisk informasjon
- Kursopplegg
- Motivasjon for kurset
- Hva er bildebehandling?
- Aktiviteter i bildebehandling på IFI
- Videre studietilbud
- Start pensum
 - Kapittel 1 + 2.1-2.2 i læreboka.

Kontakter

- Fritz Albregtsen
 - Rom 4459 (4.etg.)
 - Email: fritz@ifi.uio.no
 - Tlf: 22 85 24 63 / 911 63 005

- Andreas Kleppe
 - Rom 4468 (4.etg.)
 - Email: andrekle@ifi.uio.no

- Kontakt oss pr. mail eller telefon

- Gruppelærer: Sigmund Rolfsjord (sigmunjr@ifi.uio.no)

Lærebok

- R.C. Gonzalez and R.E. Woods
 - "Digital Image Processing", Third Edition
Pearson/Prentice Hall, 2008.
- Noe tilleggsstoff blir lagt ut (pdf-filer)
- Pensumliste: Legges ut på fil – oppdateres.
- Pensum i INF4300 hentes fra samme bok!
- Ukeoppgaver: Vi kommer til å bruke MATLAB
 - "Digital Image Processing using MATLAB"
kan komme til å bli nyttig.
 - Kjøp IKKE BARE denne!

WEB-sider

<http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF2310/>

- Forelesningsplan/forelesningsfoiler (pdf - 4:1)
- Kursopplegg
- Ukeoppgaver
- Obliger
- Pensum-liste fra lærebok pluss tilleggsstoff
- Eksamensinformasjon
- Beskjeder

Kursopplegg

- Forelesninger tirsdager 14:15-16, Perl 2453.
 - Merk: Mandag 14:15-15:00 (3438 CamI) blir vanligvis ikke brukt.
 - Unntak: Noen mandagstimer brukes til gjennomgang av teori, eksempler og eksamensoppgaver
- Gruppeundervisning:
 - Regneoppgaver
 - Programmeringsoppgaver
- Obligatoriske oppgaver:
 - To obliger må være godkjent innen gitte frister

Gruppeundervisning

- Gruppe 1, torsdag 10:15-12, Prolog (OJD 2465)
- Første gruppe 1: **torsdag 31. januar 2013**
- Aktiviteter i gruppetimene:
 - Løse programmeringsoppgaver
 - Få hjelp til å løse regneoppgaver
- **Løsningsforslag/hint til løsning gis fortløpende ...**
 - Bruk dem med vett! Løs oppgavene sjøl først!
- Obligene ligner på ukeoppgaver.....
- Eksamen ligner på obliger som ligner på ...
- **"How to succeed by really trying":**
GJØR OPPGAVENE!

Vurdering og eksamen

- To obliger må være godkjent
 - Kombinasjon av programmering og regneoppgaver
- Skriftlig midtveiseksamen (19.03.2013, kl 15:00)
 - Teller ca. 30% av karakteren
- 4t skriftlig avsluttende eksamen (04.06.2013, kl 09:00)
 - Teller ca. 70% av karakteren
 - Ingen hjelpemidler tillatt til avsluttende eksamen.
 - Bokstavkarakterer (A-F)
 - Karakteren fastsettes på bakgrunn av total score og helhetsvurdering i etterkant av avsluttende eksamen.

Hva lærer du i INF2310?

- Hva gjør egentlig *gimp* eller *Photoshop* med bildene?
- Hva kan jeg gjøre med bildene fra mitt digitalkamera?
- Bakgrunn for multimedia
 - TIFF, GIF, PNG, PBM, JPEG?
 - Bilderepresentasjon, kompresjon, formater, fargerom
 - Bildeforbedring - hvordan "redde" dårlige foto
- Grunnlag for videre studier i bildebehandling
 - Filtrering av bilder
 - Kantdeteksjon
 - Geometriske operasjoner
 - Segmentering – hva inneholder bildet?
- Programmering i MATLAB
 - "Læring ved programmering"

Forelesningsplan - temaer

	14	15	16	17	18	19	20		
Januar	21	22	23	24	25	26	27	Introduksjon	Fritz/Andreas
	28	29	30	31	01	02	03	Sampling og kvantisering	Fritz
Februar	04	05	06	07	08	09	10	Geometriske operasjoner	Fritz
	11	12	13	14	15	16	17	Gråtonemapping	Fritz
	18	19	20	21	22	23	24	Histogrambaserte operasjoner	Fritz
	25	26	27	28	01	02	03	Naboskapsoperasjoner, konvolusjon	Andreas
Mars	04	05	06	07	08	09	10	Ikke-lineære filtre	Andreas
	11	12	13	14	15	16	17	Midtveis-repetisjon	Fritz/Andreas
	18	19	20	21	22	23	24	Midtveis-eksamen, 19.03.2013	
	25	26	27	28	29	30	31	<i>Påske, ingen forelesning</i>	
April	01	02	03	04	05	06	07	<i>Påske, ingen forelesning</i>	
	08	09	10	11	12	13	14	Fourier II	Andreas
	15	16	17	18	19	20	21	Fourier II	Andreas
	22	23	24	25	26	27	28	Kompresjon og koding I	Andreas
Mai	29	30	01	02	03	04	05	Kompresjon og koding II	Andreas
	06	07	08	09	10	11	12	Segmentering	Fritz
	13	14	15	16	17	18	19	Morfologi	Andreas
	20	21	22	23	24	25	26	Fargerom og fargebilder	Fritz
	27	28	29	30	31	01	02	Repetisjon	Fritz/Andreas
Juni	03	04	05					Eksamen, 04.06.2013 (4 timer)	

Undervisning denne og neste uke

- I dag: Introduksjon, kap 1 + kap. 2.1 – 2.2
- Neste: Sampling, kvantisering, lagring.
- Merk: Første gruppe **torsdag 31.01.2013**

Bildebehandling vs. bildeanalyse

- **BILDEBEHANDLING**

- gir et *forbedret* eller *komprimert* bilde som resultat.
- produserer et bilde som er "bedre" å se på,
- eller mer egnet for videre, automatisert bildeanalyse
- Eller en komprimert representasjon av bildet.

- **BILDEANALYSE**

- Hva inneholder bildene – *objektgjenkjenning*
- trekker ut informasjon som er viktig for å ta en beslutning eller styre en prosess i en eller annen anvendelse.
- *informasjonen* er mye mindre enn mengden av *data* som finnes i et bilde eller i en bildeserie.

- **INF2310 GIR EN GRUNDIG INNFORING
I BILDEBEHANDLING**

Videre studier i bildeanalyse ved IFI

- **INF 4300 : Digital bildeanalyse – (H)**
 - Hvordan lage algoritmer som gjenkjenner objekter i bilder?
 - Prosjektoppgave: løs en praktisk oppgave i bildeanalyse
 - Krever mere matematikk enn INF 2310
 - Lineær algebra/matriser
 - Komplekse tall
 - Statistikk / klassifikasjon
- **INF 5300 : Utvalgte emner i bildeanalyse – (V)**
 - Konkrete temaer relatert til anvendelser
 - Ofte koblet til master-oppgaver / doktorgrads-prosjekter
 - Undervises annet hvert år!

Hva brukes bildeanalyse til?

- Medisinske applikasjoner, bl.a. ultralyd, MR, celleprøver
- Industriell inspeksjon
- Trafikkovervåkning
- Tekstgjenkjenning, dokumentbehandling og kart
- Koding og kompresjon
- Biometri
 - identifikasjon ved ansiktsgjenkjenning, fingeravtrykk eller iris
- Jordobservasjon fra satellittbilder
- Havbunnskartlegging
- Kartlegging av oljereservoarer (seismikk)

Eksempler på hovedoppgaver

- Egenskapsuttrekking for hyperspektrale bilder
- Egenskapsutvelging ved optimering for høydimensjonale data
- Distribuert segmentering av cellebilder
- Segmentering og parametrisering av lever-svulster
- Gjenfinning av et gitt ansikt i en videosekvens
- Segmentering av oljesøl i satellittbilder
- Kombinasjon av bilder fra ulike medisinske sensorer
- Overflateanalyse av trevirke
- Estimering av snødekning i radarbilder
- Bil-deteksjon i høyoppløselige bilder (radar og optisk)

EKSEMPEL: DITT NYE PASS

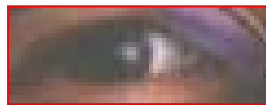
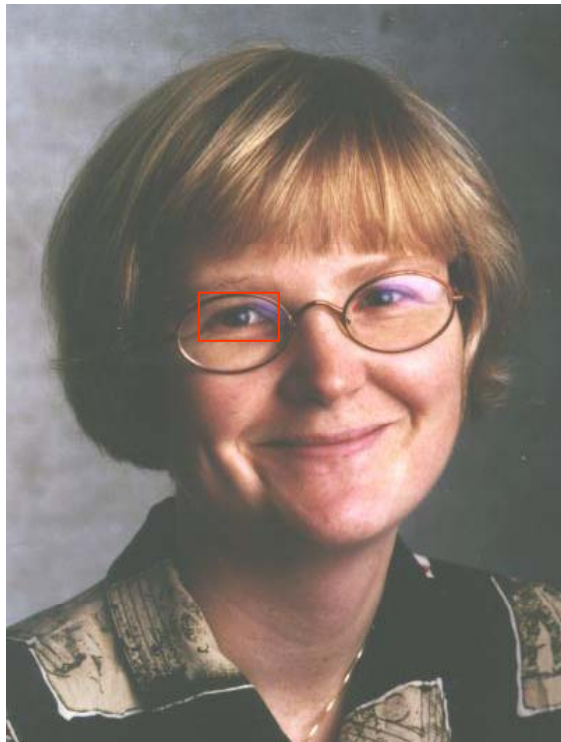
- Norske pass vil snart inneholde biometriske data, f.eks.
 - Fingeravtrykk
 - Iris
 - Ansiktsgjenkjenning
 - Stemmeidentifikasjon
- USA krever at nye pass må ha biometriske data med ansikt og fingeravtrykk.
- Testing av IRIS-scanning og fingeravtrykk-scanning på flere flyplasser.

EKSEMPEL: ANSIKTSGJENKJENNING

- Vi gjenkjenner ansikter lett
 - Dette er noe av det første vi lærer
- Spesialisert oppgave
- Vi bruker både helheten og delene
 - grove trekk bestemmer kjønn
 - øvre del av ansiktet viktigst
 - analyserer ansiktsuttrykk samtidig
- Lettest å gjenkjenne pene ansikter
- Greit å kjenne igjen ansikter som er opp-ned, men vanskelig hvis delene er på feil sted.

EKSEMPEL: IRIS-IDENTIFIKASJON

- Iris er unik (til orden 1 av 10^{35})

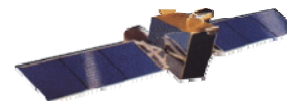


- Finn øyne i (et nær-infrarødt) bilde
- Finn iris
- Trekk ut egenskaper fra iris
- Matche egenskaper med database
- Krever høy oppløsning i bildene
 - Minst 200 piksler på iris-diameteren
 - Minst 90 nivåer mellom iris og "sclera"
 - Minst 50 nivåer mellom iris og pupillen

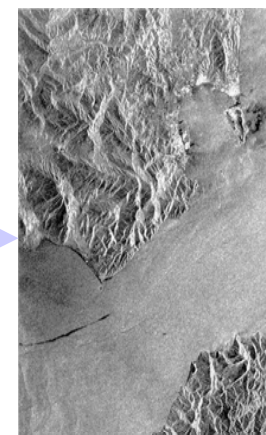
EKSEMPEL: OVERVÅKNING AV OLJEUTSLIPP



Tankbåt som slipper ut olje



Radarbilde av oljesølet



EKSEMPEL: SKOGKARTLEGGING

Fra bildene kan vi avgjøre:

- Treslag/alder
- Klart til å hugges?
- Tømmervolum

Endring over tid:

- Skogens helsetilstand
- Blir det mindre skog i Europa?
- Bevares regnskogen i Brasil?



EKSEMPEL: VIDEOANALYSE/OVERVÅKNING

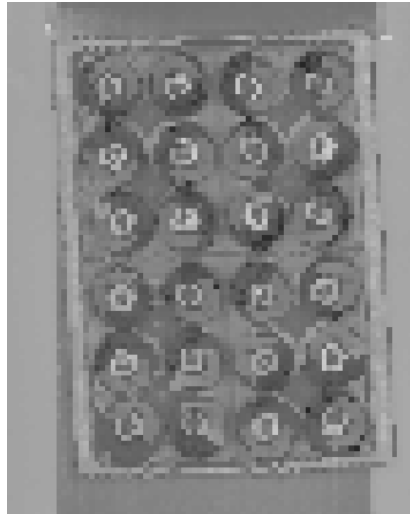


**Trafikktelling: hvor
mange biler
passerer et punkt?**



**Overvåkning
av bevegelser
innendørs**

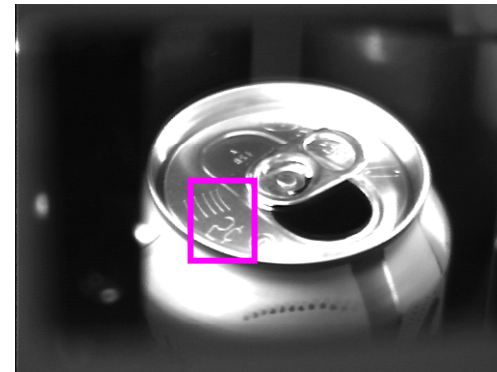
EKSEMPEL: RETUR AV FLASKER / BOKSER



Bilde fra Tomras kasseautomat.

Hvor mange flasketuter er det?

Hvor stor blir panten?

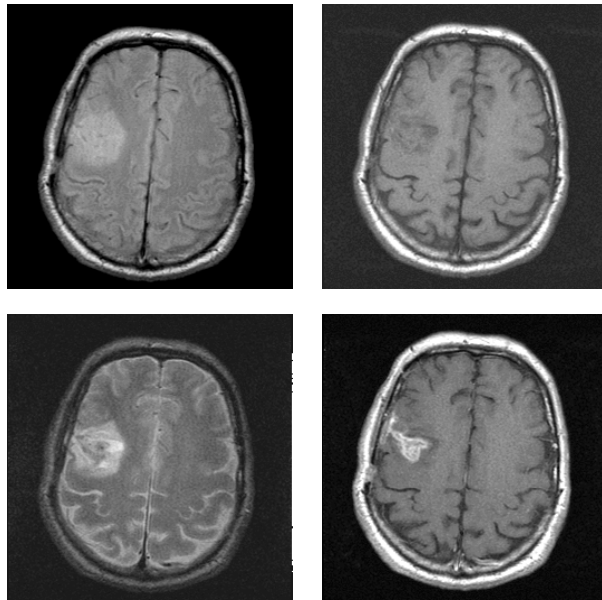


Pant av amerikanske bokser.

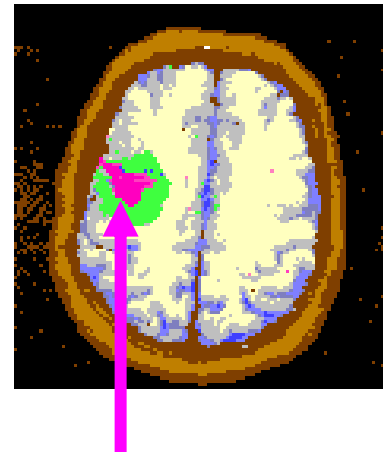
Hva står på boksen?

Hvor stor blir panten?

EKSEMPEL: VEVSKLASSIFIKASJON I MR-BILDER



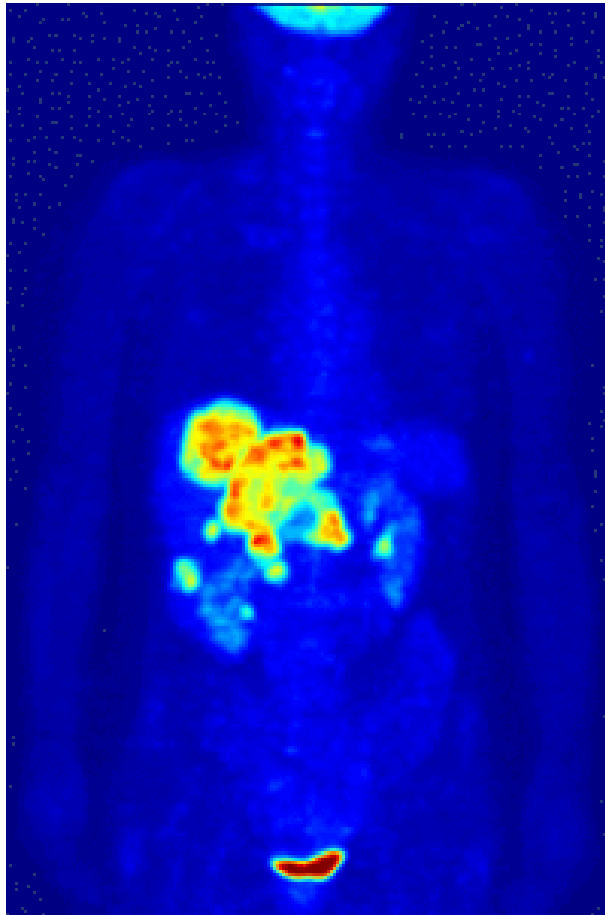
MR-bilder av hjernen



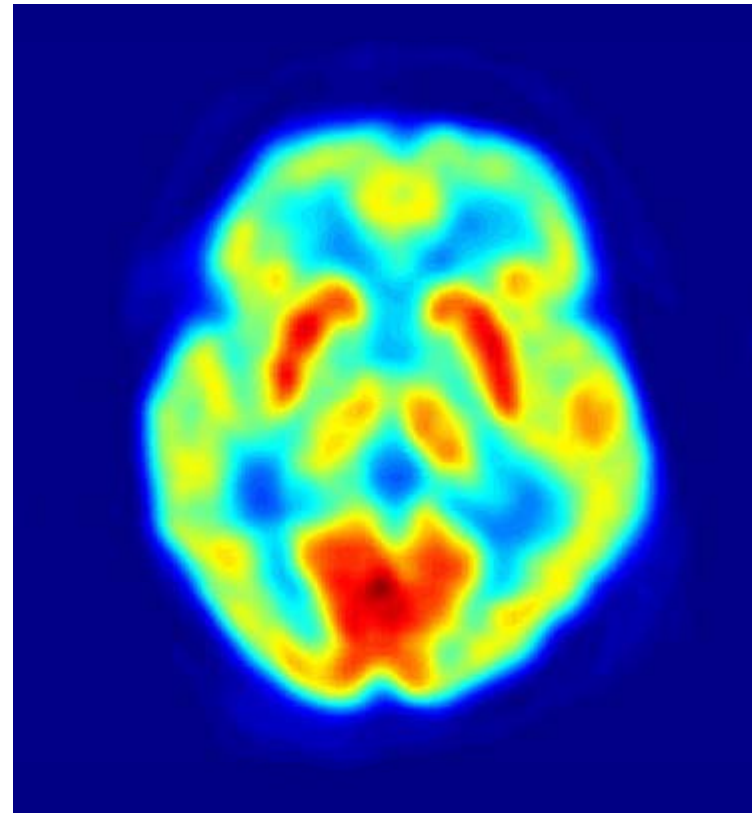
**Klassifisert i
vevstyper,
svulst markert i
rødt**

EKSEMPEL: PET-BILDER

Maximum intensity projection
of typical full body ^{18}F FDG



PET scan of human brain



Øyet og synssystemet vårt

- Mest sensorisk input via synssansen.

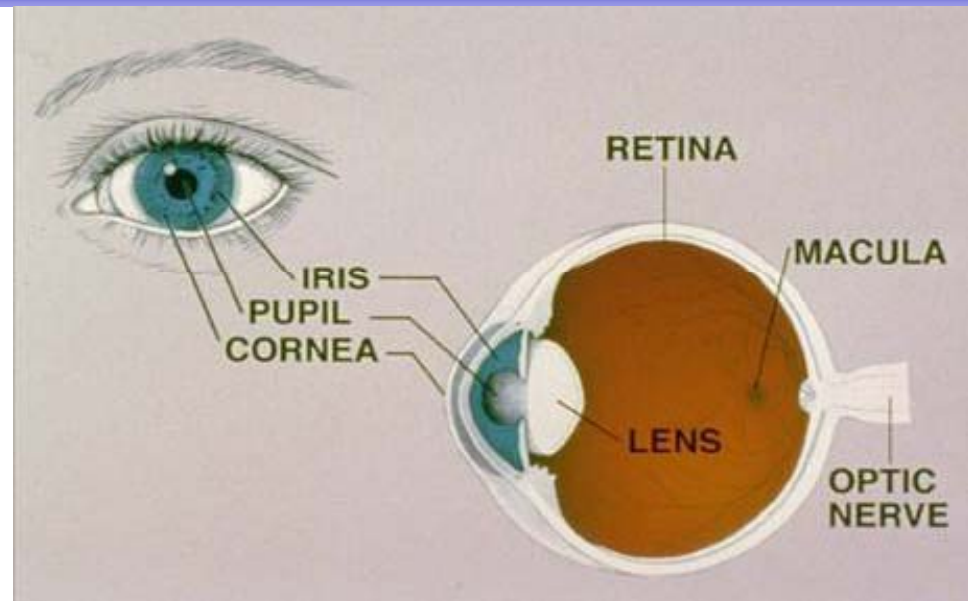
- **Fleksibel optikk:**

- Deformerbar linse

- **Adaptiv detektor:**

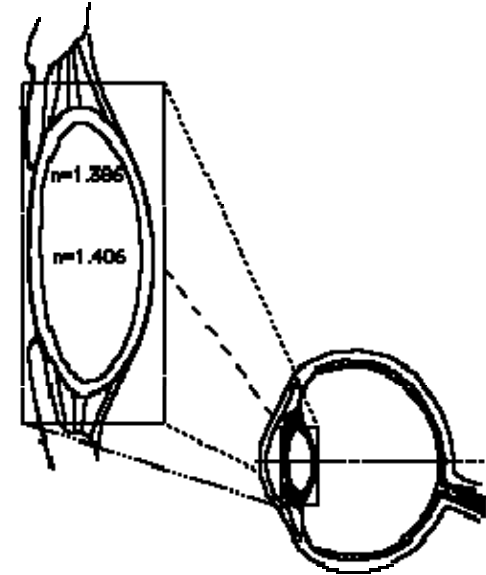
- Variabel geometrisk oppløsning, logaritmisk respons
- Pre-prosessering i netthinna
- Separate systemer for høylys- og lavlyssyn

- **Enorm prosesserings- og lagringskapasitet**



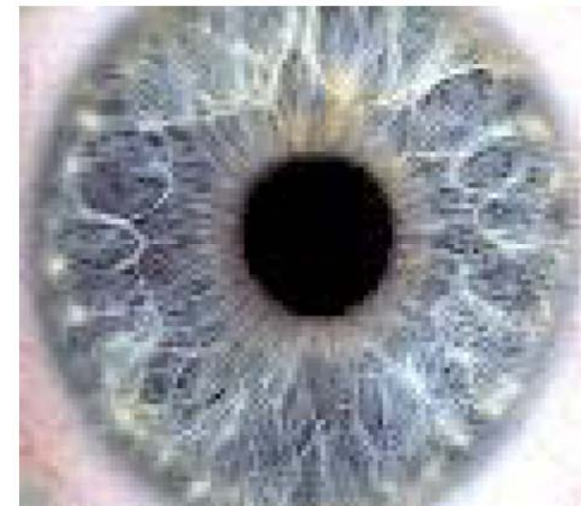
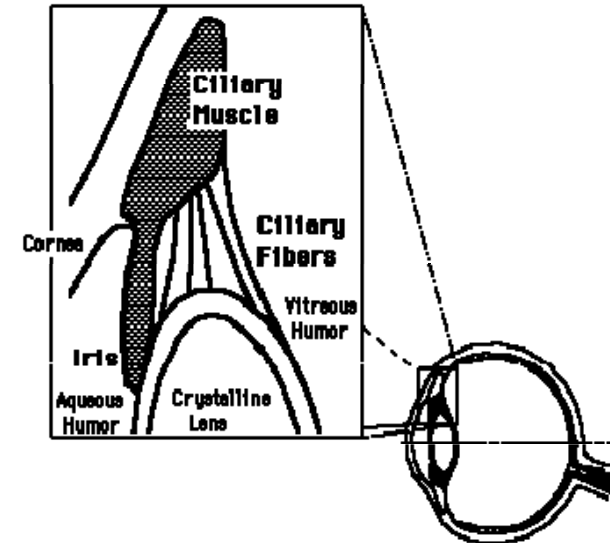
Øyets linsesystem

- Øyets linsesystem fokuserer lyset.
- Fokallengde, $f \approx 1.5$ cm.
- Angis ofte i "dioptre",
 - $d=1/f$, der f er gitt i meter.
- Øyelinsen er vanligvis 67 d, hvorav hornhinna står for 45 d.
- Øyelinsen er veldig spesiell:
 - den kan endre fokallengde.
- Evnen til å skifte fokus raskt (*akkomodasjon*) svekkes med alderen.



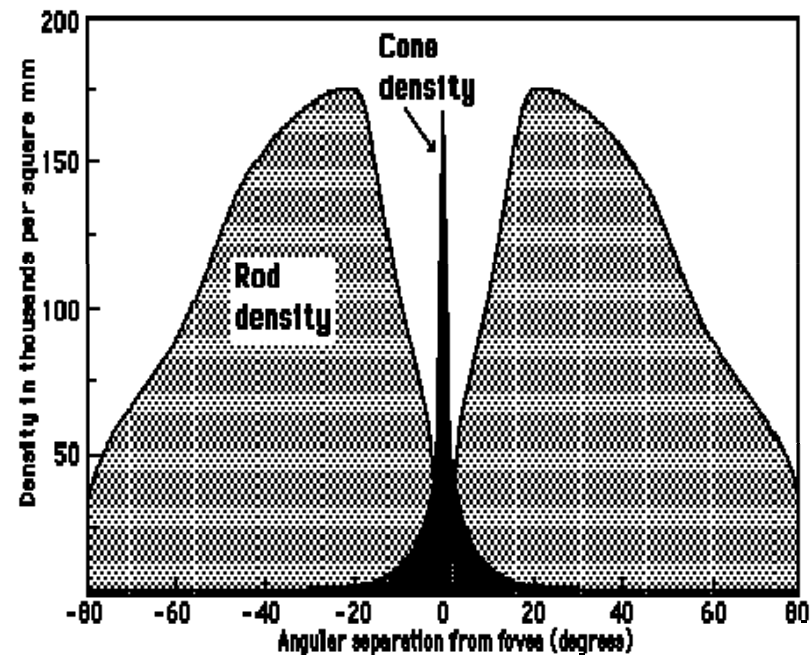
Iris og pupillen

- Iris:
 - den fargede delen av øyet.
 - fungerer som en blender.
 - mønstret brukes til verifikasjon.
- Pupillen
 - den svarte åpningen i iris
 - Kraftig lys: diameter ≈ 2 mm
 - Svakt lys: diameter ≈ 8 mm
 - slipper lys inn på netthinna
 - lyset kommer ikke ut igjen



Netthinna (retina)

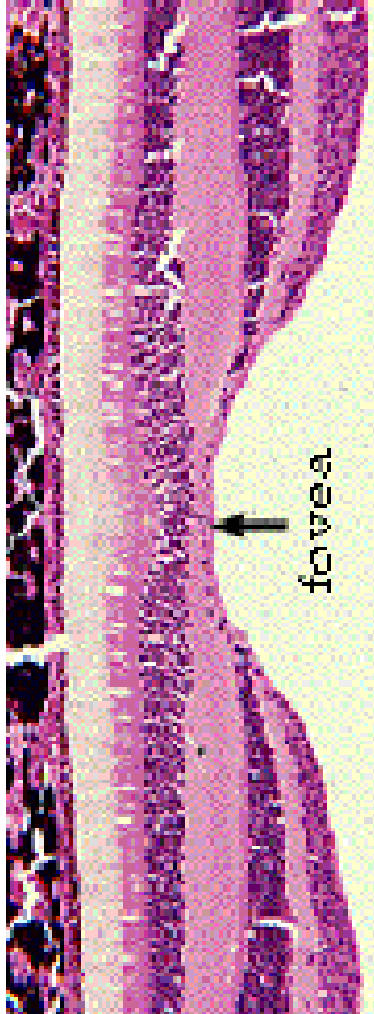
- Netthinna er det lysfølsomme laget bak i øyet.
- Dekker omtrent 65% av den indre flaten.
- Omtrent 130 millioner detektorer.
- To typer detektorer:
 - staver ("rods")
 - tapper ("cones").
- Detektorene vender bort fra lyset!



Staver og tapper

- Ca 120 millioner **staver** ("rods"), over hele netthinna.
 - Flere koblet til hver nerve-ende
 - => lav geometrisk oppløsning
 - Scotopisk (lav-lys) syn: dekker nedre 5-6 dekader
 - Gir bare gråtoner
 - $\frac{1}{2}$ 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****G****B**)

Fovea

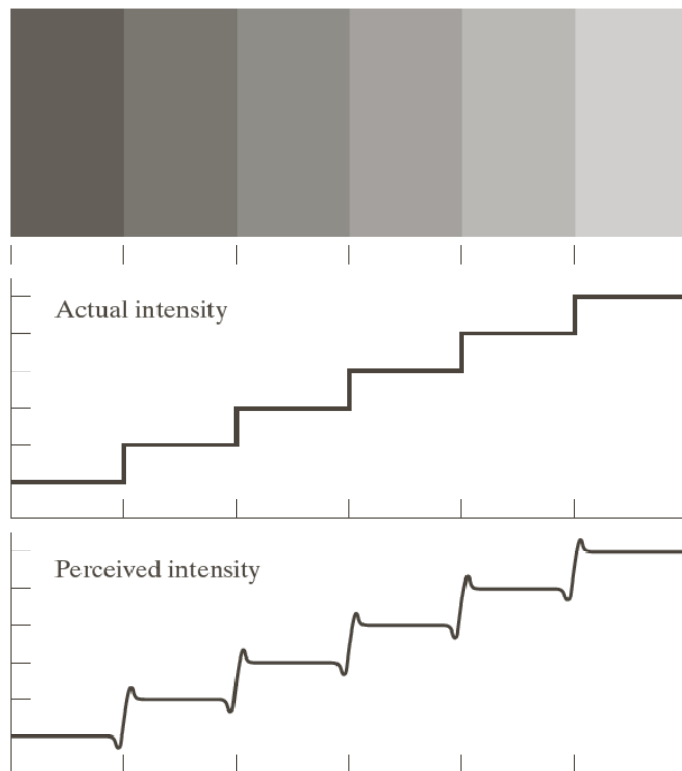


- *Fovea centralis* er ca 0.3 mm i diameter.
 - Overliggende cellelag borte
 - Mer lys til detektorene
 - Bare tapper (høylys, fargesyn)
 - Veldig høy tetthet
 - => høy geometrisk oppløsning.
 - Hver tapp er koblet til en nerve-ende.
- Når vi ser direkte på et objekt, øker oppløsningen, fordi øyet **foveerer**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

Egenskaper ved synet

- Vi kan se lysintensiteter over et stort intervall:
 - "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 oppfatter: 2%
 - => $ca\ 50$ forskjellige gråtoner, men mange flere farger.
- Når øyet skifter fokus til et annet sted i bildet med et annet bakgrunnsintensitetsnivå, tilpasser øyet seg dette og ser fint lokale intensitets-forskjeller.

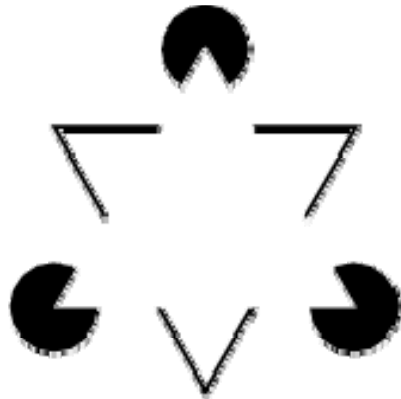
Nevrale prosessorer i netthinna



- Forsterker kanter.
- Stimulering av én del undertrykker stimulering av en annen del.
- Øker kontrasten ved overgang mellom uniforme regioner.
- Kalles "Mach-bånd"

Noen optiske illusjoner

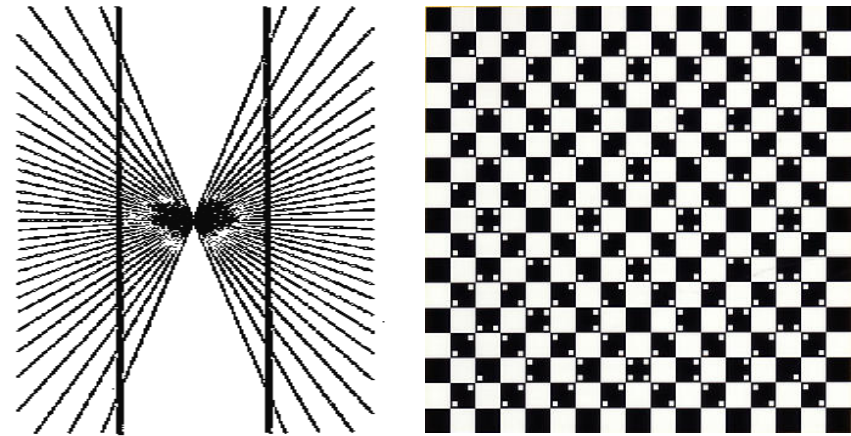
- Illusoriske konturer



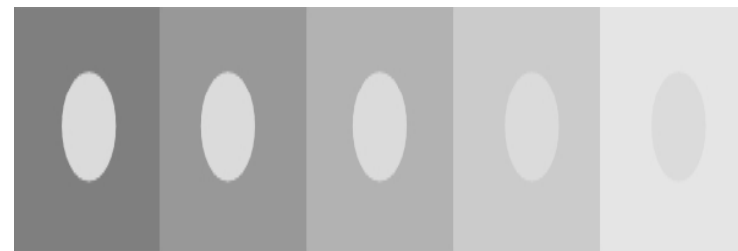
- Multistabile bilder



Rette og buete linjer

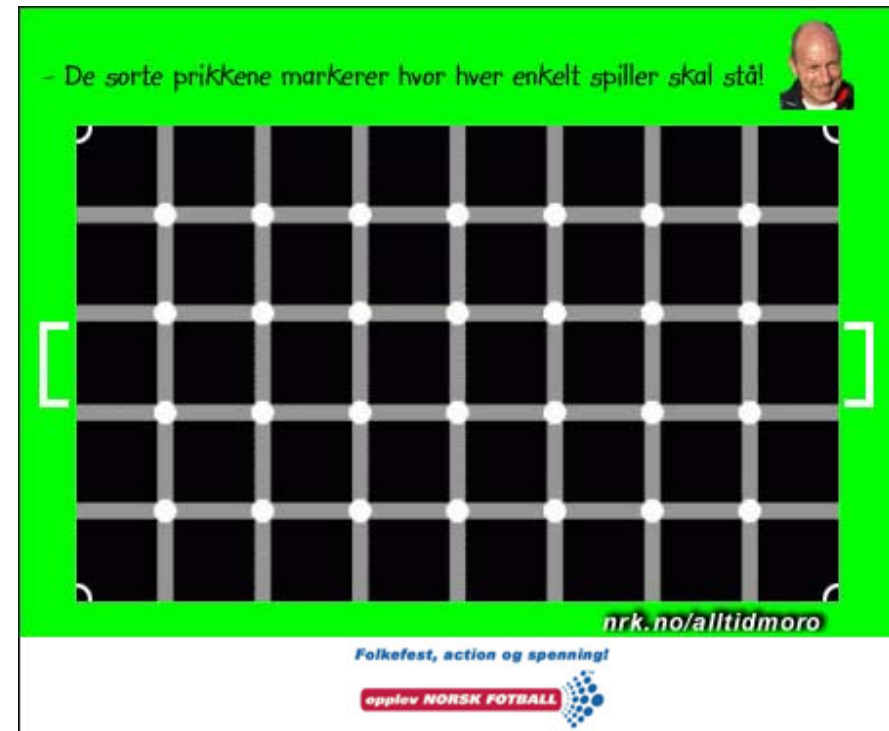
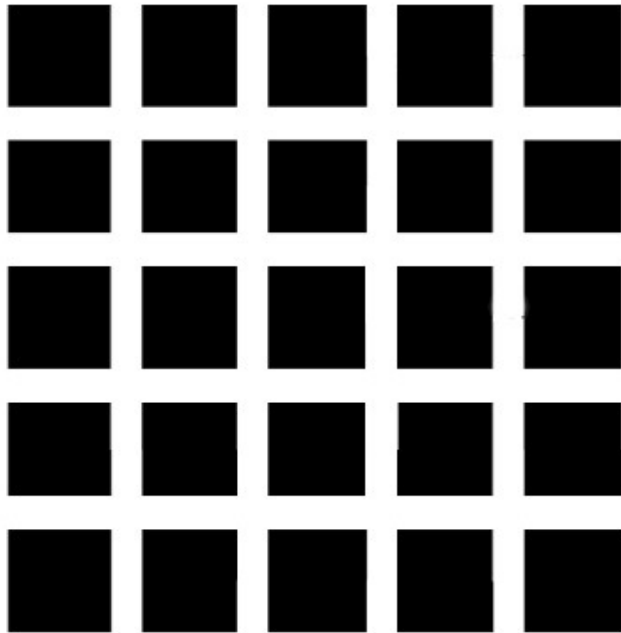


Simultan kontrast



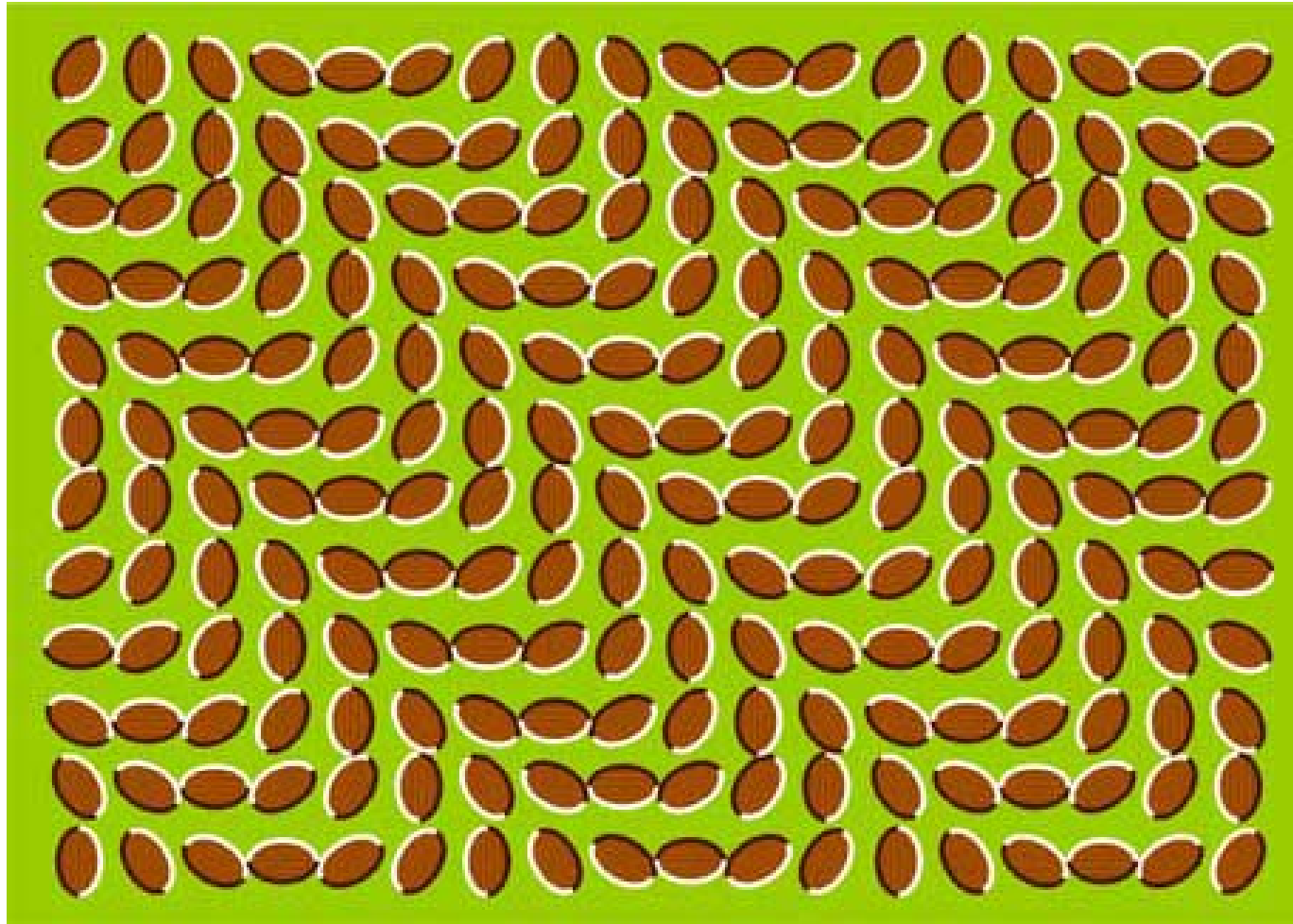
"Hermann-grid"

- Hva er årsaken til denne effekten?



- Svaret kommer i en senere forelesning!

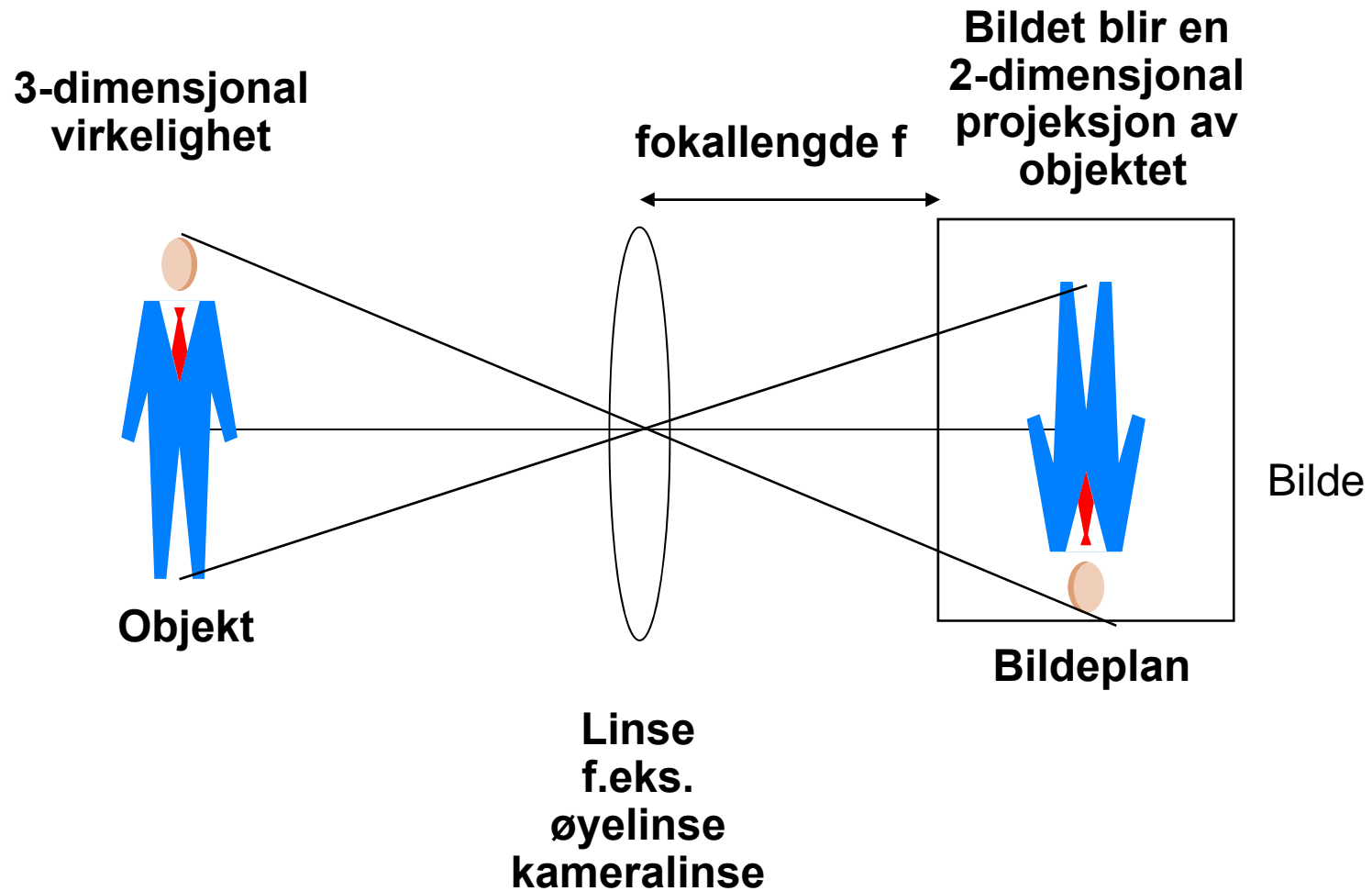
Optiske illusjoner – “bevegelse”



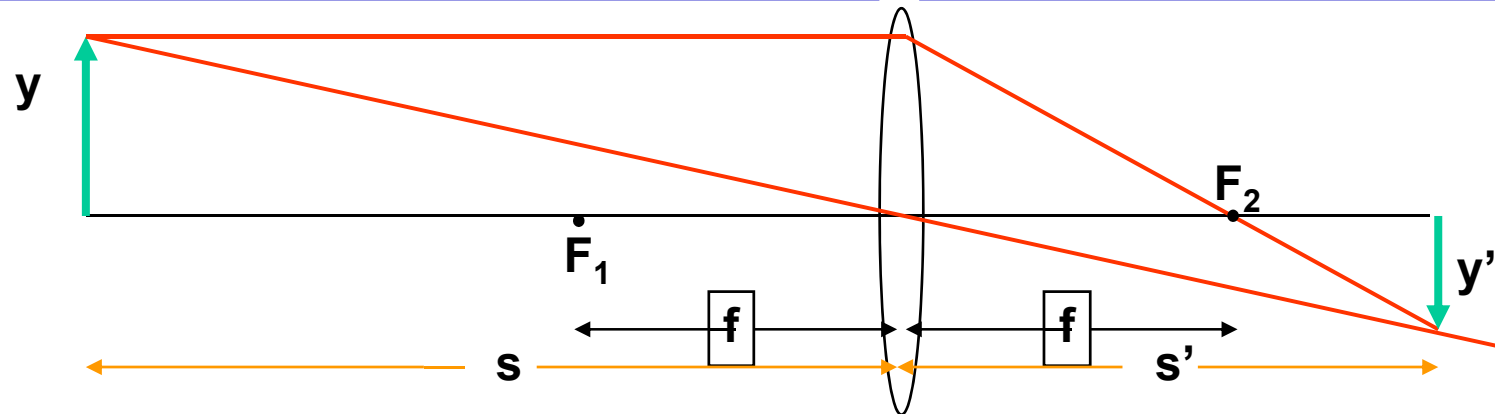
"T-Rex and Me"

- I synshjernebarken (visual cortex) har vi
 - flere sett av kant-detektorer,
 - finner kanter og linjer
 - med forskjellige orienteringer (vinkler),
 - forskjellige tykkelser.
 - Separate sett detektorer for høyre og venstre øye.
- Øyet skanner over objektet,
 - mest over interessante, krumme kanter.
- I tillegg har vi flere typer raske øyebevegelser
 - Lar nye reseptorer bekrefte konturene av objektet
 - Uten dette faller synet ut i løpet av sekunder.

Kamera og optikk



Objekt-bilde relasjonen



- I figuren har vi to par av likedannede trekantar:

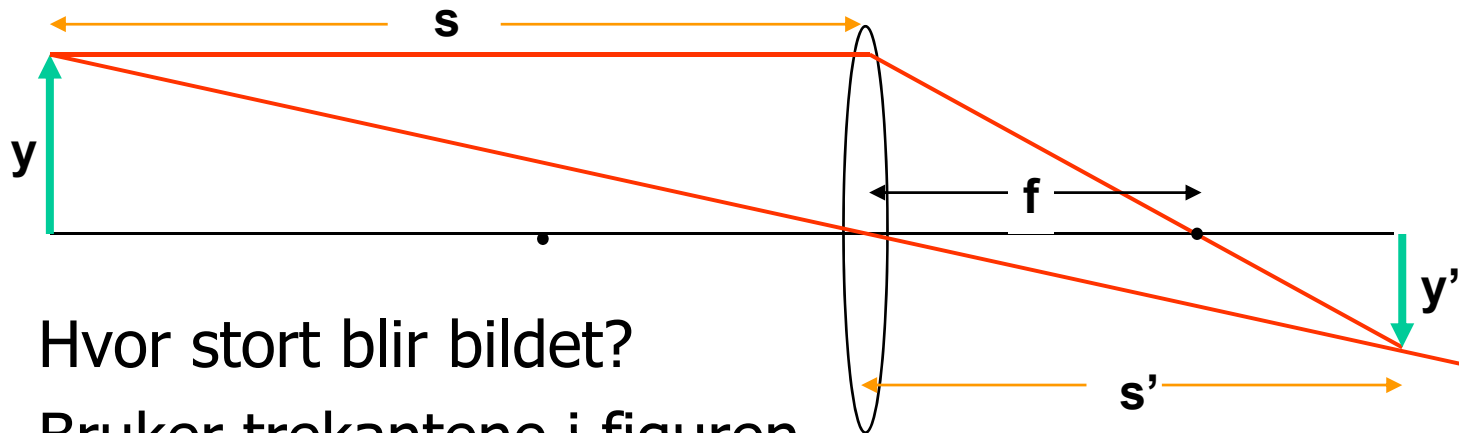
$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \quad \text{og} \quad \frac{y'}{y} = \frac{s' - f}{f}$$

gir

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

- Dette som er kjent som "*objekt-bilde relasjonen*".
 - Uttrykket gjelder både for fokuserende linser og speil

Forstørrelse



- Hvor stort blir bildet?
- Bruker trekantene i figuren
- Finner uttrykket til høyre
- Forstørrelsen er

$$m = y'/y$$

- Er objektet langt unna

$$s \gg f \Rightarrow m \ll 1$$

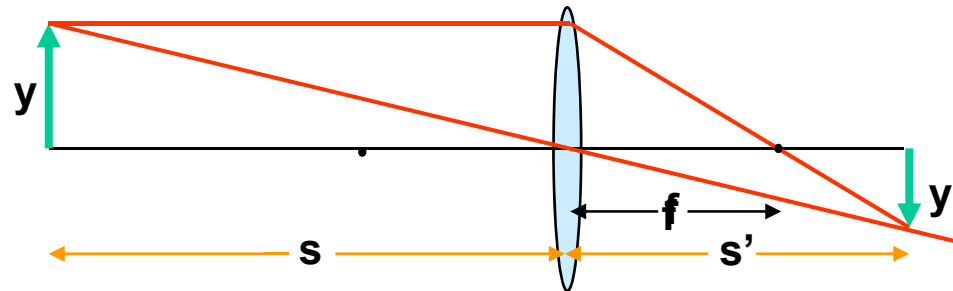
$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \Rightarrow y' = \frac{y s'}{s}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \Rightarrow s' = \frac{s f}{(s - f)}$$

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

Hvor stort blir bildet av Månen?

- Hvor stort blir bildet av månen med $f = 50 \text{ mm}$?
 - Månen har en diameter på 3476 km
 - avstanden til månen er 384 405 km.
- $s = 384\,405 \text{ km}$, $f = 50 \text{ mm}$, $y = 3\,476 \text{ km}$ i figuren



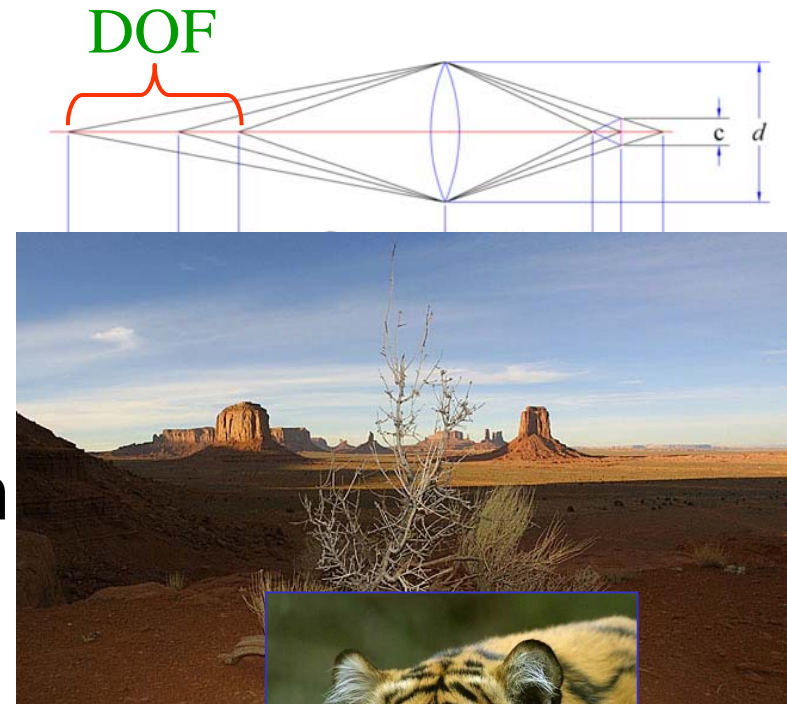
- Da blir

$$y' = y f / (s-f) = 3476 \text{ km} \times 50 \text{ mm} / (384405 \text{ km} - 50 \text{ mm}) = \underline{0.45 \text{ mm.}}$$

- Dette beskjedne bildet fyller bare knapt 0.2 promille av arealet på en 24 x 36 mm film!

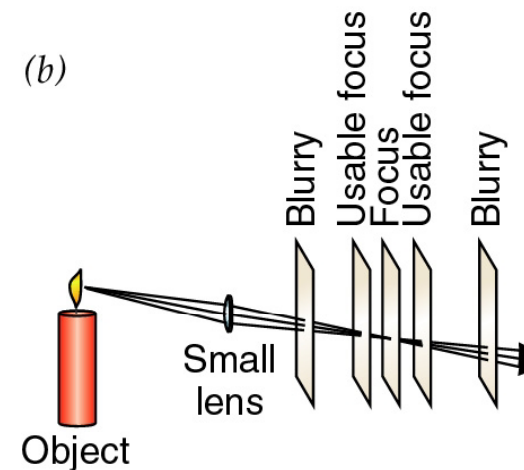
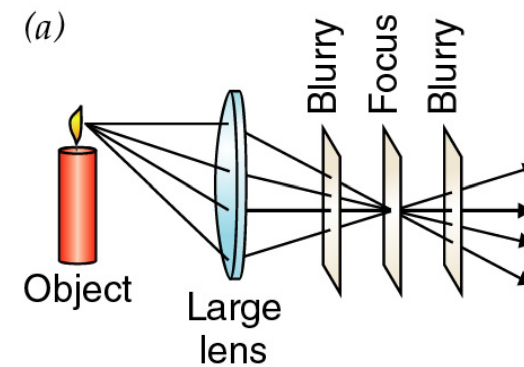
Dybdeskarphet (Depth of field)

- DOF = avstand foran og bak fokusert objekt som synes å være i fokus.
- Stor dybdeskarphet gir et skarpt bilde av både forgrunn og bakgrunn.
- Liten dybdeskarphet gjør at vi kan fokusere på en interessant del av objektet, mens en distraherende bakgrunn blir uskarp.



Blenderåpning og dybdeskarphet

- Stor blenderdiameter d , lav f/d - verdi:
 - Slipper inn mer lys, kortere eksponeringstid
 - Fokus mer kritisk
- Liten blenderdiameter d , høy f/d -verdi:
 - Slipper inn mindre lys, lengre eksponeringstid
 - Fokus mindre kritisk



(fra howthingswork.virginia.edu)

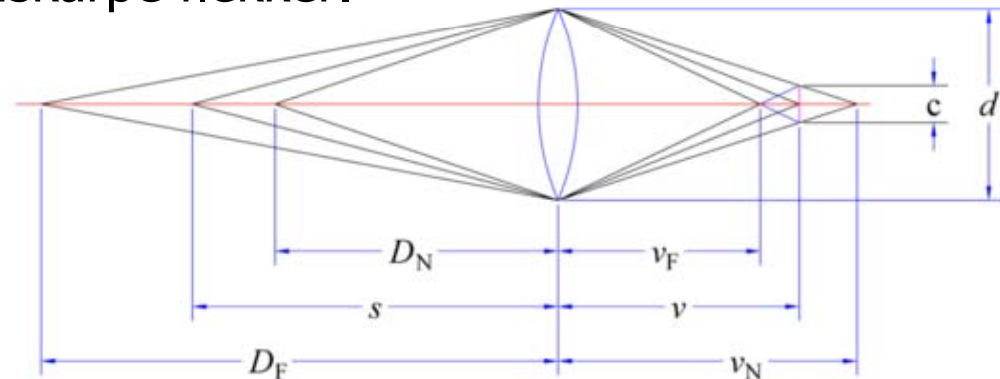
Hva bestemmer DOF ?

- DOF bestemmes av tre faktorer:
 - Linsens fokallengde
 - Linsens f-tall ($N = f/d$)
 - Avstand kamera-objekt.
- Økt f-tall (mindre aperture) øker DOF.
 - Minsker mengden lys
 - Øker diffraksjonen
 - Reduserer vinkel-oppløsningen

=> Det er en praktisk grense for reduksjonen i aperture.

Nær- og fjerngrense for DOF

- Et objekt i avstand s fra linsen fokuseres i bildeavstand v .
- To punktojekter ved D_F og D_N er i fokus ved bildeavstand v_F og v_N .
- Ved bildeavstand v er de uskarpe flekker.



- Når flekk-diameteren er lik en akseptabel "circle of confusion" c (COC), så er nær- og fjerngrensene for DOF ved D_N og D_F .
- Fra likedannede trekanter ser vi:

$$\frac{v_N - v}{v_N} = \frac{c}{d} \quad \frac{v - v_F}{v_F} = \frac{c}{d}$$

Praktiske grenser for DOF

- DOF bak objektet er alltid større enn foran objektet.
- For lange fokallengden går dette forholdet mot 1.
- For 35-mm formatet er en typisk COC lik 30 μm .

- **Et praktisk eksempel:**

$f = 50 \text{ mm}$

$N (=f/d) = 5.6$

$s = 10 \text{ m}$

$c = 30 \mu\text{m}$

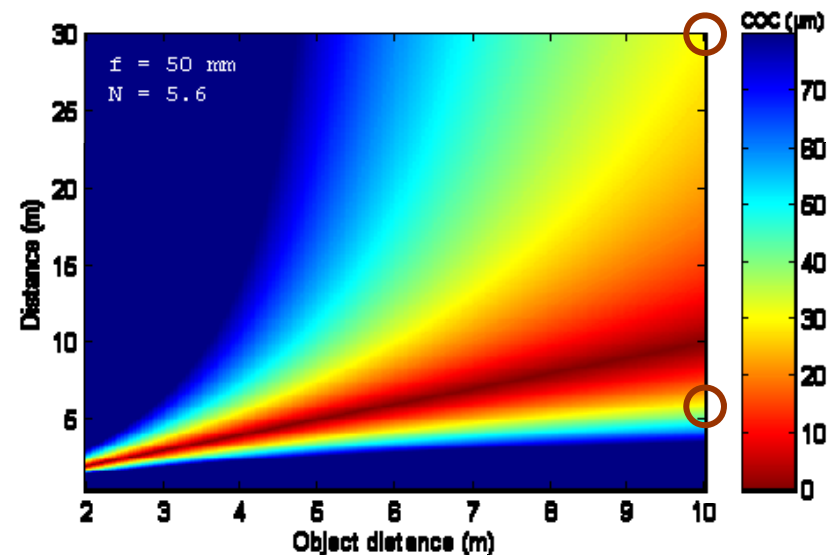
- DOF går fra 6 m til 30 m.

=> DOF dekker altså her

4 meter foran og

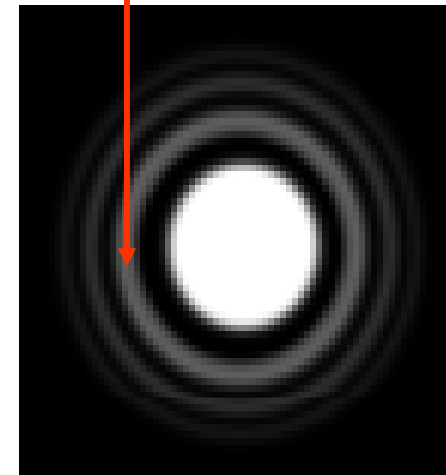
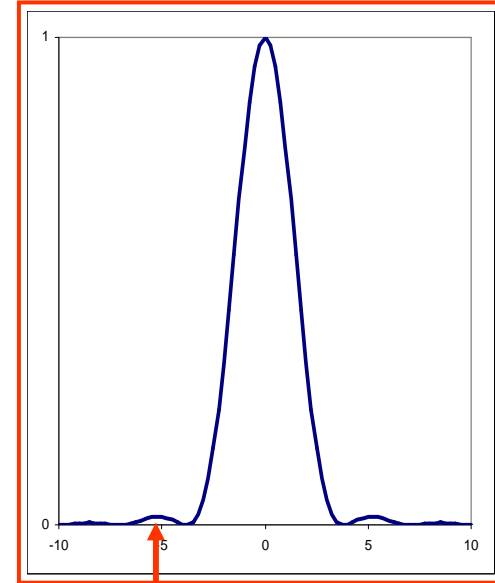
20 meter bak fokusavstanden.

- En mindre/større COC gir en større/mindre DOF.



Punktspredningsprofil (PSF)

- 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 (Airy-disc).
- PSF for en gitt aperture kan beregnes ved hjelp av enkle ligninger.



Vinkeloppløsnings-kriterier

- Anta at linsens diameter er d , og at lysets bølgelengde er λ .
- To punkter i et objekt kan akkurat adskilles i bildet hvis vinkelen mellom dem er gitt ved

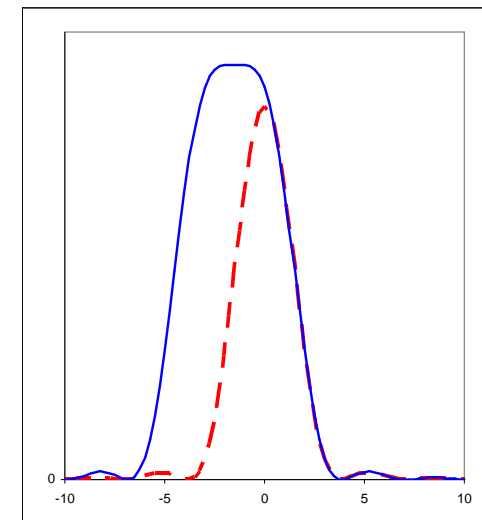
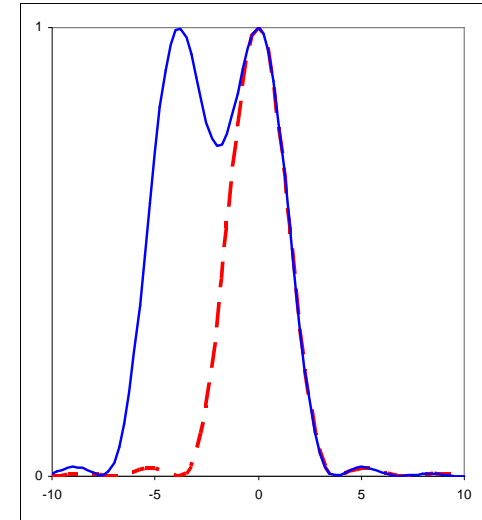
$$\sin \theta = 1.22 \lambda / d \text{ radianer.}$$

– Dette er "Rayleigh-kriteriet".

- "Dip"-en i profilen forsvinner når

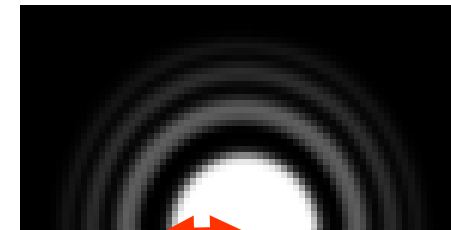
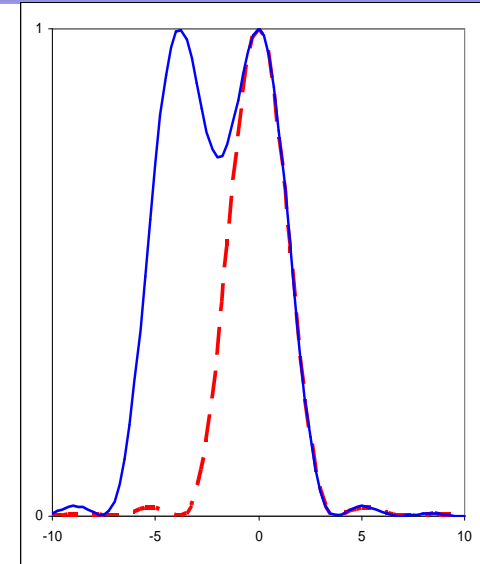
$$\sin \theta = 0.952 \lambda / d \text{ radianer.}$$

– Dette er "Sparrow-kriteriet".

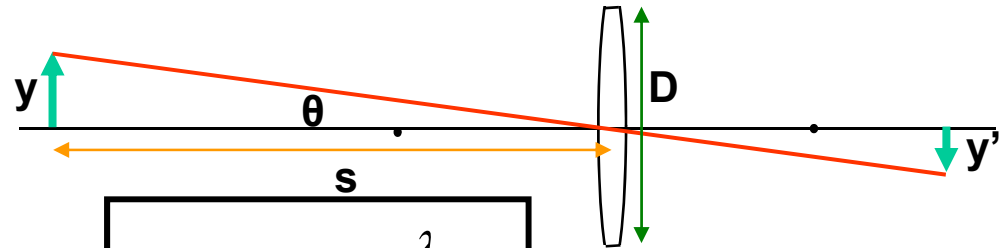


Rayleigh-kriteriet

- To punkt-kilder kan adskilles hvis de ligger slik at sentrum i det ene diffraksjonsmønstret faller sammen med den første mørke ringen i det andre.
 - Vinkelen mellom dem er da gitt ved $\sin \theta = 1.22 \lambda / d$ radianer.
 - Dette er "Rayleigh-kriteriet".
 - *Vi kan ikke se detaljer mindre enn dette.*



Hvor små detaljer kan en linse oppløse?



- Vinkeloppløsningen er gitt ved

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

- Tangens til vinkelen θ er gitt ved

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{y}{s}$$

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

- **=> Den minste detaljen vi kan oppløse:**

$$\frac{y}{s} = 1.22 \frac{\lambda}{d} \Rightarrow y = 1.22 \frac{s\lambda}{d}$$

Synsfelt og perspektiv

- For et gitt bildeutsnitt vil fokallengden bestemme synsfeltet vi får.
- Hvis bildeutsnittet i fokalplanet er 24 x 36 mm, så gir
 - fokallengde 50 mm et synsfeltet på 47° (målt langs diagonalen),
 - fokallengde 28 mm et vidvinklet synsfelt (75°),
 - mens fokallengde 300 mm zoomer inn synsfeltet til bare 8° .
- Fokallengden kan forvrengte perspektivet.
 - *En face* portrett med kort brennvidde (vidvinkel) forstørrer nesen.
 - Telelenser vil tilsynelatende komprimere dybden i bildet.
- "Normalobjektiver" gir omtrent samme perspektiv som øyet vårt.
 - Fokallengden må være omtrent lik lengden av diagonalen i bildeplanet.
 - 24 x 36 mm film gir diagonal = 43 mm: 45 – 50 mm = "normal" .
 - En liten detektor-brikke i et digitalkamera kan gi normalt perspektiv med liten linse og kort brennvidde, men oppløsningen vil bli dårligere.

Samme scene, forskjellige fokallengder



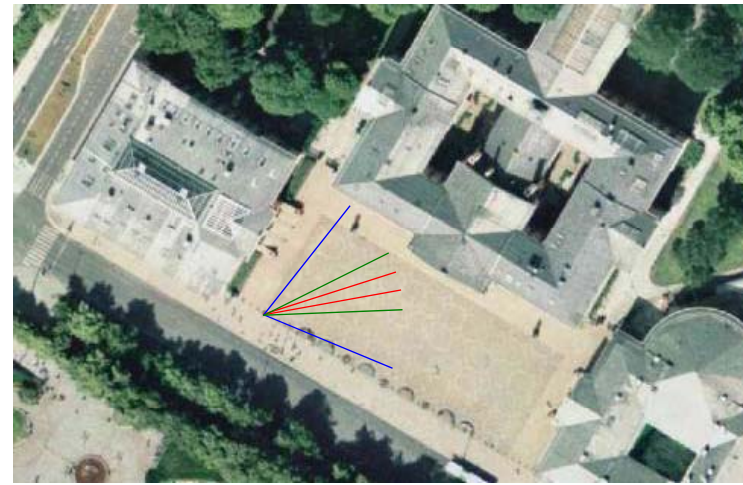
18 mm



70 mm



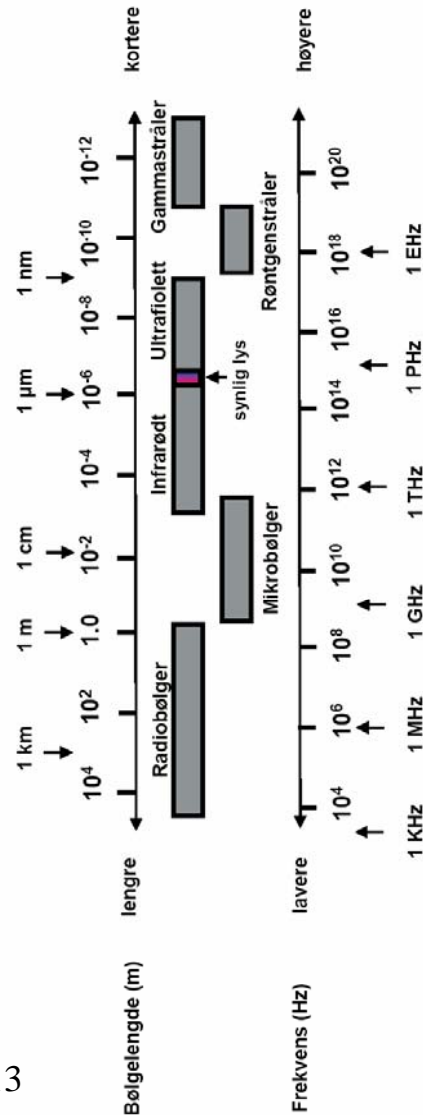
200 mm



Andre sensorer enn øyet

- **Aktivt eller passivt: "belyse og se" eller bare "se".**
- Optisk satellittbilde: Landsat P
- Radarbilde fra satellitt: SAR A
- Infrarødt satellittbilde P
- Medisinsk ultralyd A
- Røntgen og CT A
- NMR – magnetisk resonans A
- Sonar, seismikk – lyd A
- Mikroskopi A
- Laser avstand scanner A

Bølgelengde og frekvens



Fiolett:	0.4-0.446 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:	0.620-0.7 μm

Sammenheng mellom
bølgelengde og frekvens:

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

$c =$ lysets hastighet (3×10^8 m/s)

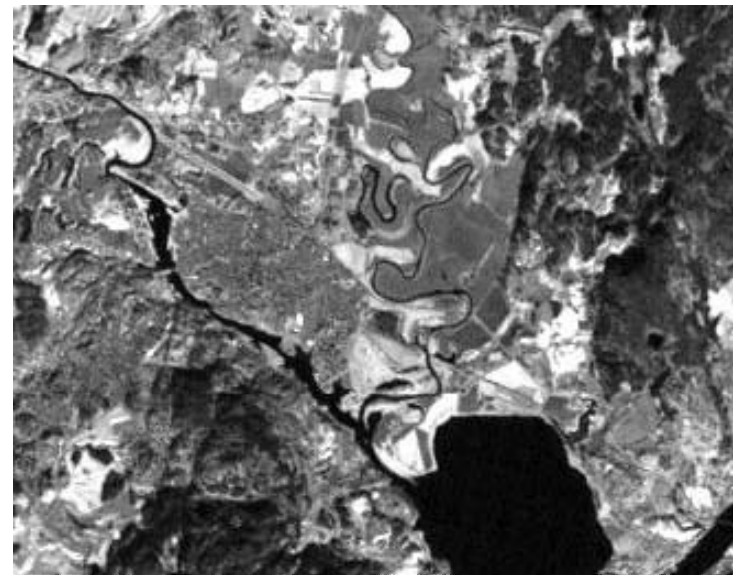
$\lambda =$ bølgelengde (m)

$f =$ frekvens (Hz)

Eksempel: radar vs. optisk

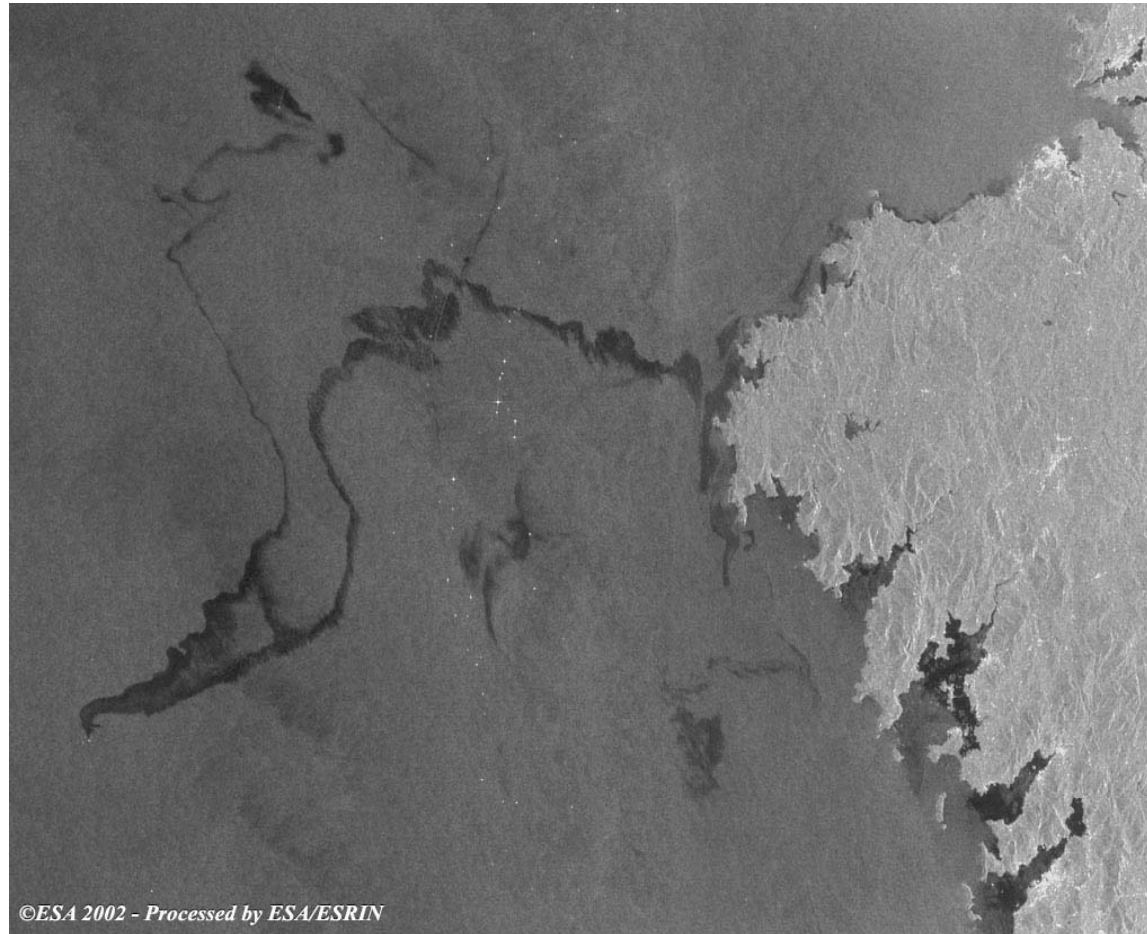


Bilde fra ERS-1 SAR-satellitten
Radaren viser røffheten på overflater



Landsat-bilde fra samme område

Eksempel: radarbilde av oljesøl



- Detekterer overflatens "røffhet".
 - Olje demper vindbølger.
 - Satellitt og fly kan overvåke oljesøl
 - Fra skipsforlis
 - Utslipp fra skip
 - fra oljerigger
 - Eksempel:
 - M/S Prestige, 2002.
- © ESA/ESRIN

Satellittbilder med lav og høy oppløsning

- Lavoppløsningsbilder gir oversikt, f.eks innen meteorologi.

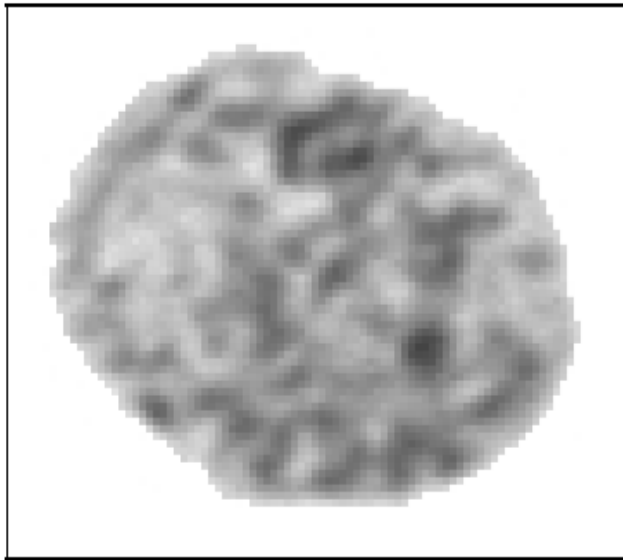


- Høyoppløselige bilder er nyttige til kartlegging, detaljert arealplanlegging, overvåking, spionasje, ...



Medisinsk mikroskopi

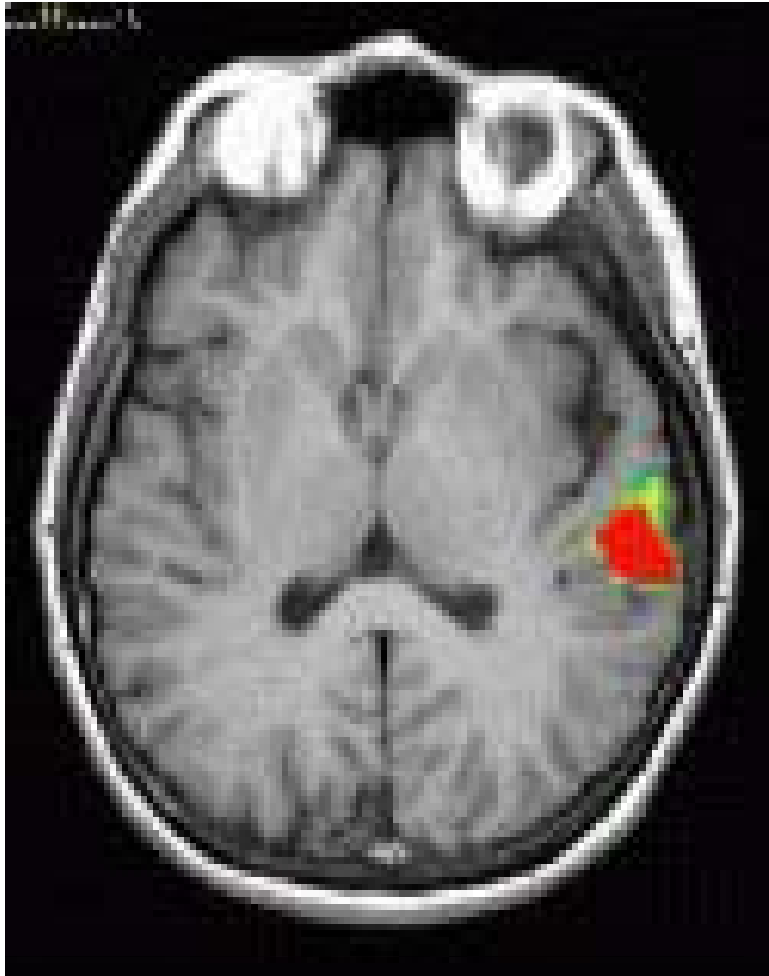
- Eksemplet viser mikroskopi-bilder av cellekjerener fra kreftsvulst i eggstokkene (ovarie) for en pasient med god prognose (venstre) og en pasient med dårlig prognose (høyre).
- Visuelt kan man ikke se forskjell, men med matematisk analyse av teksturen kan man klassifisere dem riktig.



CT og MR

- Plasser røntgenkilden foran en pasient, og en detektor-matrise bak.
 - Roter oppsettet sakte rundt pasienten – ta flere bilder.
 - Etterpå kan vi regne ut absorpsjonen i hvert punkt i pasienten.
 - Vi får altså et 3-D røntgenbilde.
 - Kan ta snitt-bilder av dette volumet i plan og retninger vi ønsker.
 - Dette kalles "Computed Tomography", forkortet CT.
- Magnetisk resonans (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 (fMRI)



- Avbilder oksygenforbruket mens man gjør opptaket.
- Kan f.eks avbilde de delene av hjernen som er i aktivitet når man utfører en spesiell oppgave.
- Eksempel: aksialt snitt fra lyttende person.
- Tilsvarende verbal aktivitet ligger nær dette området (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.
 - I stereo-syn kombineres høyre og venstre bilde.
- Laser avstandsmåler gir 2-D bilde av tredje dimensjon.
- 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 celler gir 3D bilder med meget høy oppløsning.
- Tidssekvens av 2-D bilder kan sees som et 3-D datasett.
- Tidssekvens av 3-D bilder kan betraktes som et 4-D bilde.
- Flere bølgelengder for hvert tidspunkt gir et 5-D bilde.