

---

# INF 2310 – Digital bildebehandling

Forelesere våren 2018:

Fritz Albregtsen  
Are Jensen

# 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](mailto:fritz@ifi.uio.no)
  - Tlf: 22 85 24 63 / 911 63 005
- Are Jensen
  - Rom 4457 (4.etg.)
  - Email: [arej@ifi.uio.no](mailto:arej@ifi.uio.no)
- Kontakt oss pr. mail eller telefon, eller stikk innom !
- Gruppelærer: Kristine Baluka Hein ([krisbhei@student.matnat.uio.no](mailto:krisbhei@student.matnat.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 og Python

# WEB-sider

---

<http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF2310/v18/>

- Forelesningsplan/forelesningsfoiler (pdf)
- Kursopplegg
- Ukeoppgaver og løsningsforslag
- Obliger
- Pensum-liste fra lærebok pluss tilleggsstoff
- Beskjeder
- Eksamensinformasjon

# Kursopplegg

---

- Forelesninger:  
onsdager 10:15-12 ("C", 3437).
- Gruppeundervisning:  
fredager 08:15-10 («Fortress», 3468)
  - Regneoppgaver
  - Programmeringsoppgaver
- Obligatoriske oppgaver:
  - To obliger må være godkjent innen frister

# Gruppeundervisning

---

- Gruppe 1, fredag 08:15-10, Data stue "Fortress" 3468
- Første gruppe 1: fredag 26. januar 2018
- 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 (20.03.2018, kl 14:30)
  - Teller ca. 30% av karakteren
- 4t skriftlig avsluttende eksamen (29.05.2018, kl 09:00)
  - Teller ca. 70% av karakteren
  - Ingen hjelpemidler tillatt.
    - 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
  - 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 / Python
  - "Læring ved programmering"

# Forelesningsplan – temaer 2018

Januar	15 16 17 18 19 20 21	Introduksjon	Fritz
	22 23 24 25 26 27 28	Sampling og kvantisering	Are
Februar	29 30 31 01 02 03 04	Geometriske operasjoner	Are
	05 06 07 08 09 10 11	Gråtonemapping	Are
	12 13 14 15 16 17 18	Histogrambaserte operasjoner	Are
	19 20 21 22 23 24 25	Naboskapsoperasjoner, konvolusjon	Fritz
Mars	26 27 28 01 02 03 04	Konvolusjon og ikke-lineære filtre	Fritz
	05 06 07 08 09 10 11	Fargerom og fargebilder	Fritz
	12 13 14 15 16 17 18	Midtveis-repetisjon	Fritz/Are
	19 20 21 22 23 24 25	<b>Midtveis-eksamen, 20.03.2018 (4t)</b>	
April	26 27 28 29 30 31 01	<i>Påske, ingen forelesning</i>	
	02 03 04 05 06 07 08	Fourier I	Are
	09 10 11 12 13 14 15	Fourier II	Are
	16 17 18 19 20 21 22	Segmentering (terskling)	Are
Mai	23 24 25 26 27 28 29	Kompresjon og koding I	Fritz
	30 01 02 03 04 05 06	Kompresjon og koding II	Fritz
	07 08 09 10 11 12 13	Morfologi	Fritz
	14 15 16 17 18 19 20		
Juni	21 22 23 24 25 26 27	Repetisjons-forelesning	Fritz/Are
	28 29 30 31 01 02 03	<b>Avsluttende eksamen, 29.05.2018</b>	



# Undervisning denne og neste uke

---

- I dag: Introduksjon, kap 1 + kap. 2.1 – 2.2  
+ noe tilleggsstoff
- Neste gang: Sampling, kvantisering, lagring.
- Merk:  
Første gruppe **fredag 26.01.2018**

# 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 5860 : Machine Learning for Image Analysis – (V)**
  - Sentrale algoritmer for maskinlæring
  - Dype nevrale nett (CNN og RNN)
  - Tensor Flow

# Hva brukes bildeanalyse til?

---

- Medisinske applikasjoner, bl.a. ultralyd, MR, celleprøver
- Alle typer industriell inspeksjon, ...
- Trafikkovervåkning,
- Tekstgjenkjenning, dokumentbehandling, kart, ...
- Koding og kompresjon
- Biometri for personkontroll ...
  - identifikasjon ved ansiktsgjenkjenning, fingeravtrykk eller iris
- Jordobservasjon fra satellittbilder (optisk, IR, radar, ...)
- Havbunnskartlegging (sonar ...)
- Kartlegging av oljereservoarer (seismikk)

# Eksempler på master-oppgaver

---

- Egenskapsuttrekking for hyperspektrale bilder
- Egenskapsutvelging ved optimering for høydimensjonale data
- 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 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.



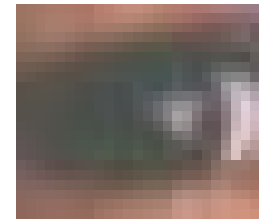
# EKSEMPEL: ANSIKTSGJENKJENNING

---

- 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  $10^{35}$ )

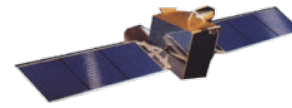


- Finn øyne i (et nær-infrarødt) bilde
- Finn iris
- Trekk ut egenskaper fra iris
- Matche egenskaper med database
- Krever høy oppløsning i bildene
  - Minst 200 piksler på iris-diameteren
  - Minst 90 nivåer mellom iris og "sclera"
  - Minst 50 nivåer mellom iris og pupillen

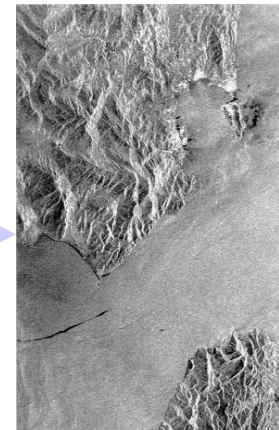
# EKSEMPEL: OVERVÅKNING AV OLJEUTSLIPP



Tankbåt som slipper ut olje



Radarbilde av oljesølet



# EKSEMPEL: SKOGKÅRTLEGGING

---

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

---

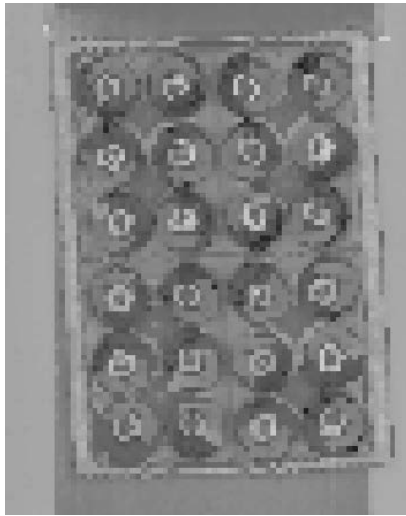


**Trafikktelling: hvor  
mange biler  
passerer et punkt?**



**Overvåkning  
av bevegelser  
innendørs**

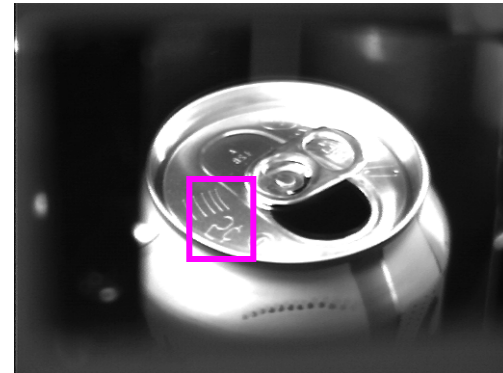
# EKSEMPEL: RETUR AV FLASKER / BOKSER



**Bilde fra Tomras kasseautomat.**

**Hvor mange flasketuter er det?**

**Hvor stor blir panten?**



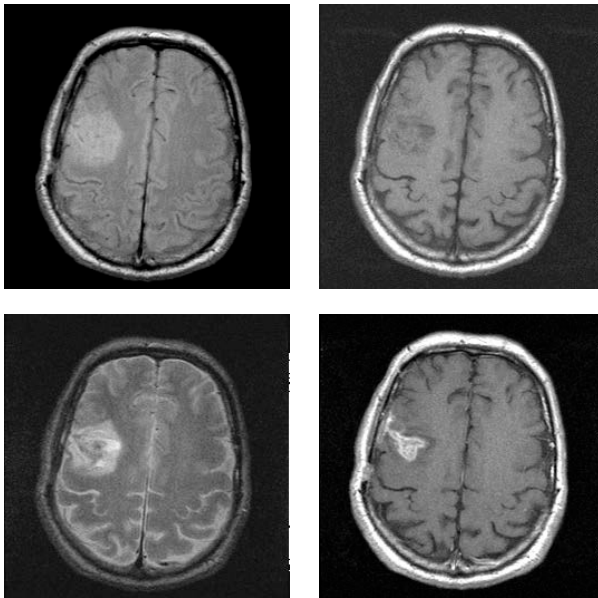
**Pant av amerikanske bokser.**

**Hva står på boksen?**

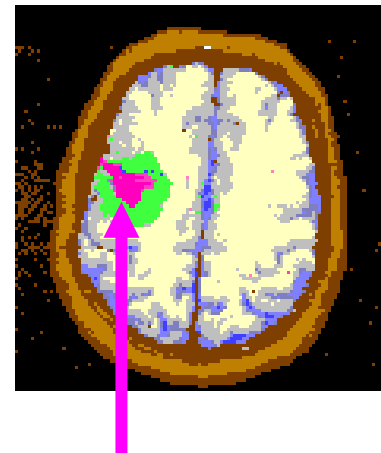
**Hvor stor blir panten?**

# EKSEMPEL: VEVSKLASSIFIKASJON I MR-BILDER

---



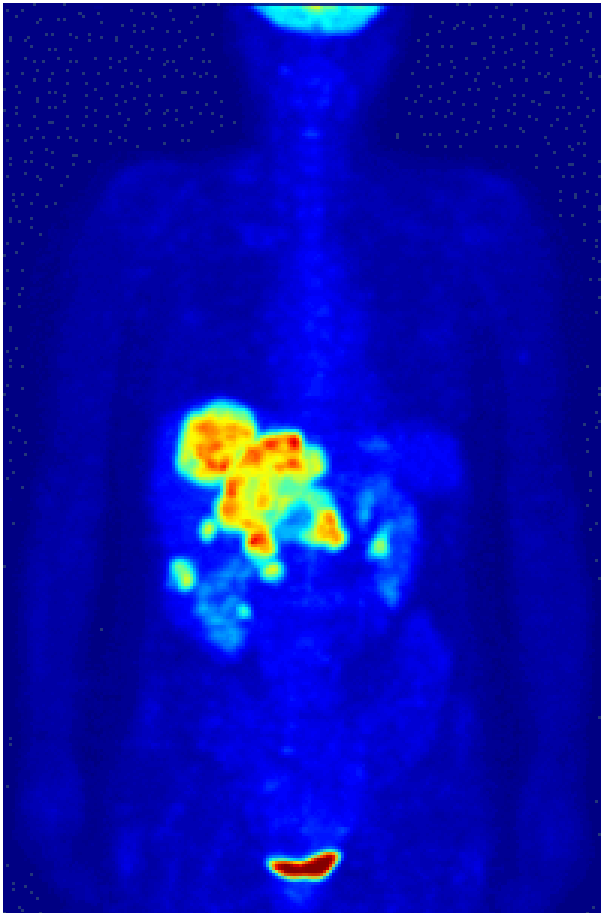
**MR-bilder av hjernen**



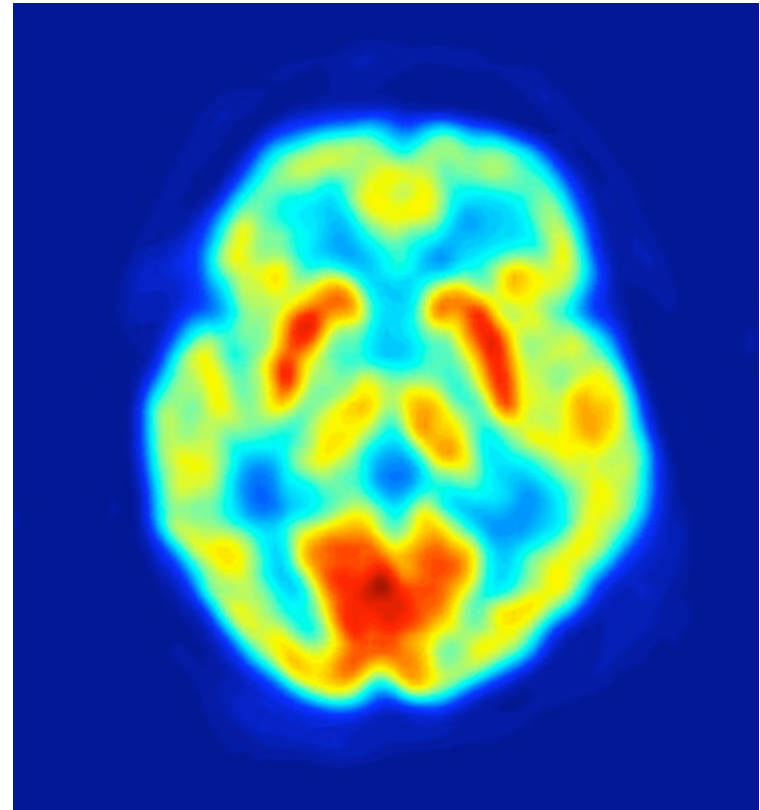
**Klassifisert i  
vevstyper,  
svulst markert i  
rødt**

# EKSEMPEL: PET-BILDER

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



PET scan of human brain





# Øyet og synssystemet vårt

- Mest sensorisk input via synssansen.

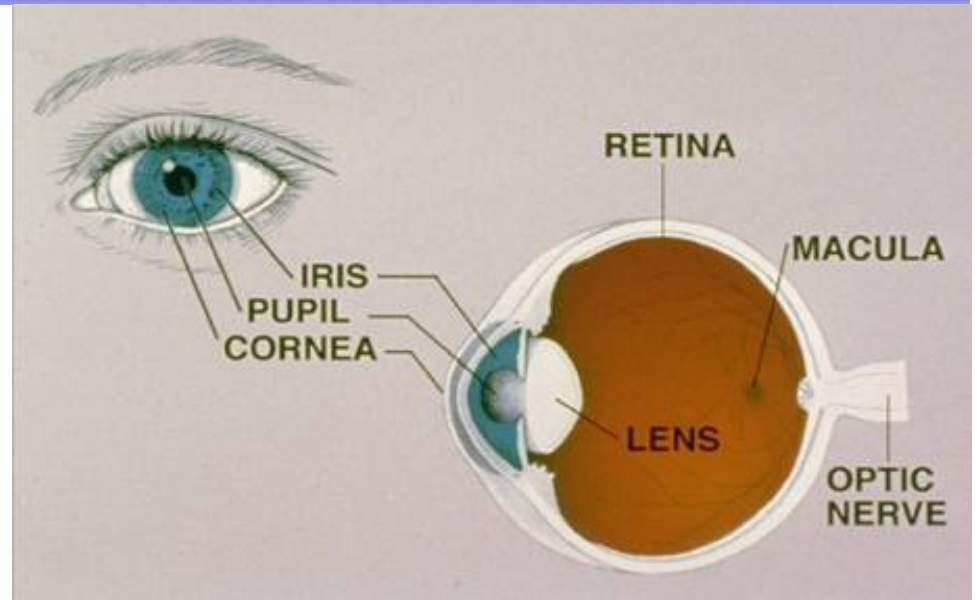
- **Fleksibel optikk:**

- Deformerbar linse

- **Adaptiv detektor:**

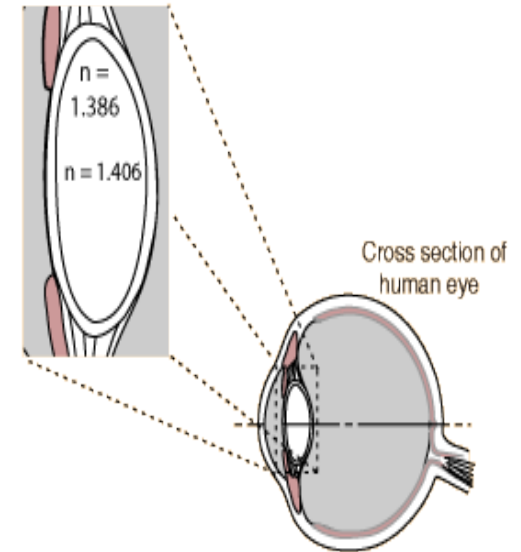
- Variabel geometrisk oppløsning, logaritmisk respons
- Pre-prosessering i netthinna
- Separate systemer for høylys- og lavlyssyn

- **Enorm prosesserings- og lagringskapasitet**



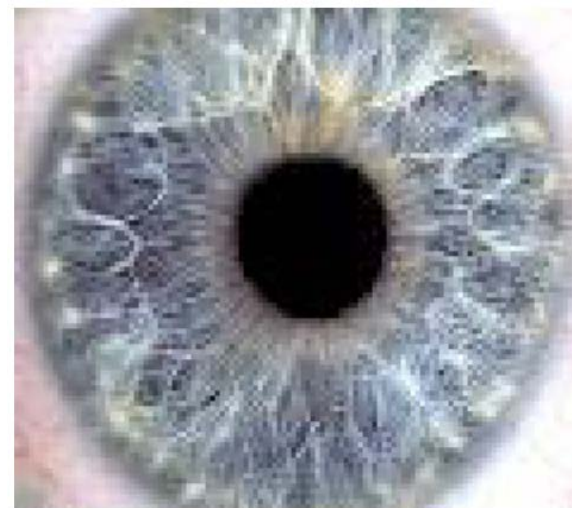
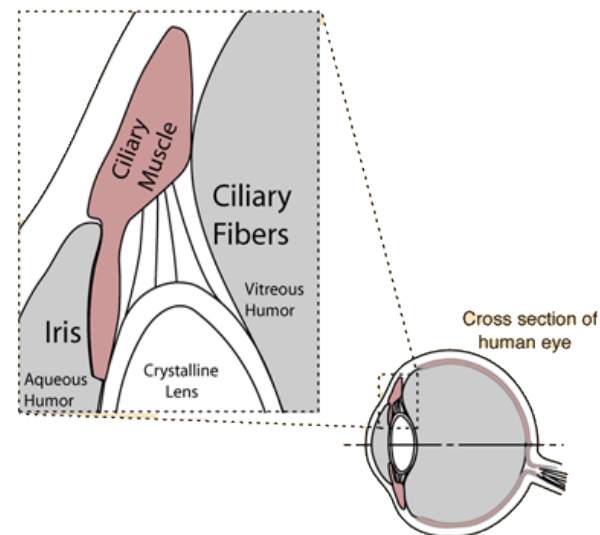
# Øyets linsesystem

- 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.



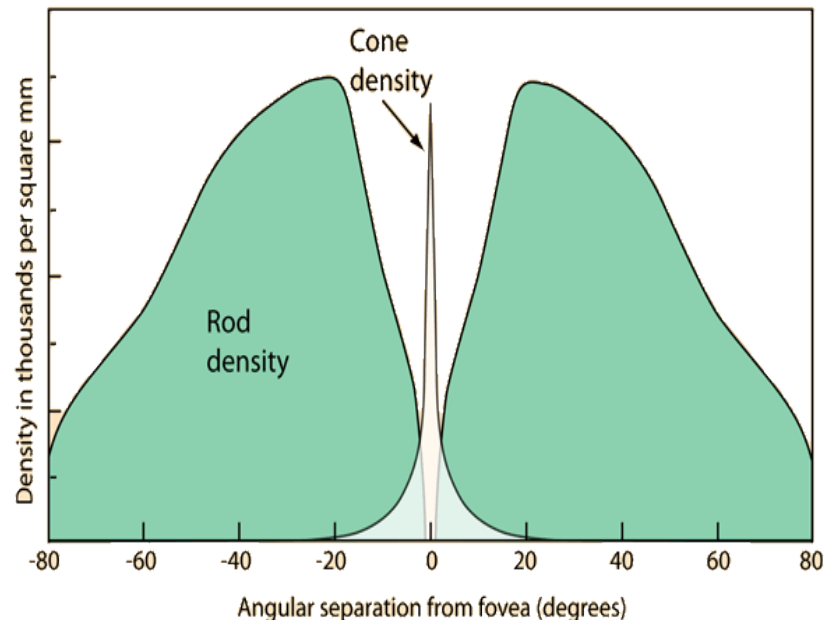
# Iris og pupillen

- Iris:
  - den fargede delen av øyet.
  - fungerer som en blender.
  - mønstret brukes til verifikasjon.
- Pupillen
  - den svarte åpningen i iris
    - Kraftig lys: diameter  $\approx 2$  mm
    - Svakt lys: diameter  $\approx 8$  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!

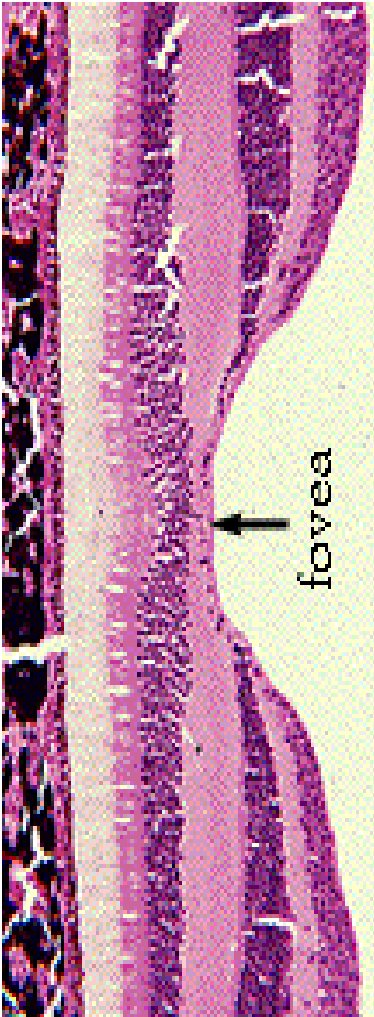


# Staver og tapper

---

- 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



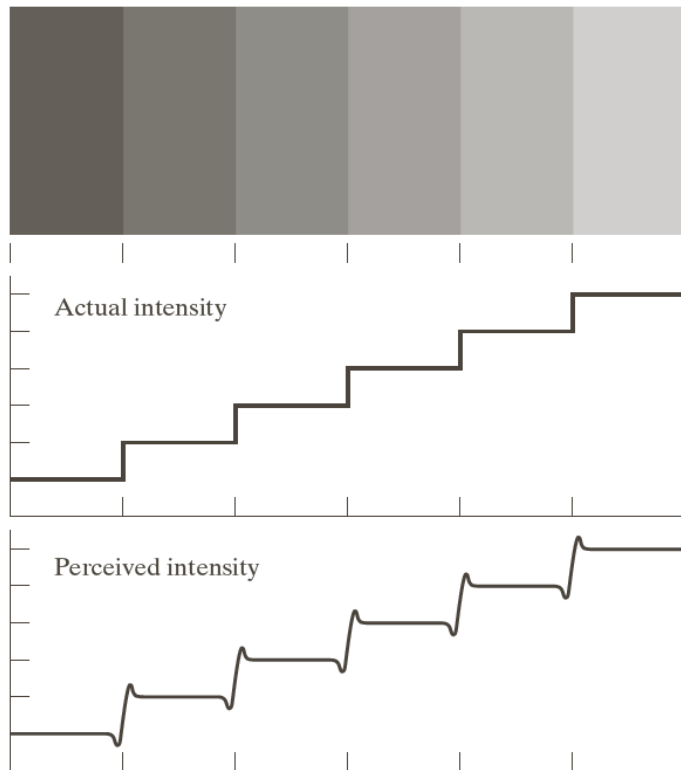
- *Fovea centralis* er ca 0.3 mm i diameter.
  - Overliggende cellelag borte
    - Mer lys til detektorene
  - Bare tapper (høylys, fargesyn)
    - Veldig høy tetthet
      - = > høy geometrisk oppløsning.
    - Hver tapp er koblet til en nerve-ende.
- Når vi ser direkte på et objekt, øker oppløsningen,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

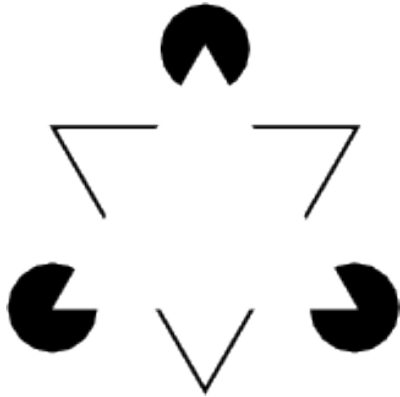


- Forsterker kanter.
- Stimulering av én del undertrykker stimulering av en annen del.
- Øker kontrasten ved overgang mellom uniforme regioner.
- Kalles "Mach-bånd"



# Noen optiske illusjoner

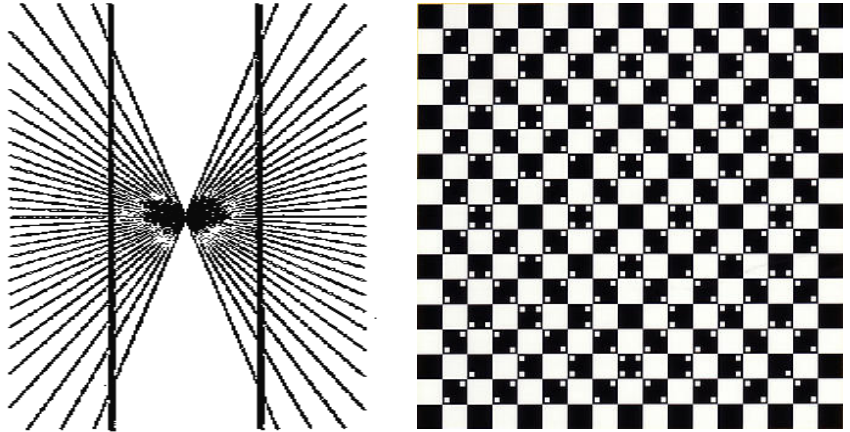
- Illusoriske konturer



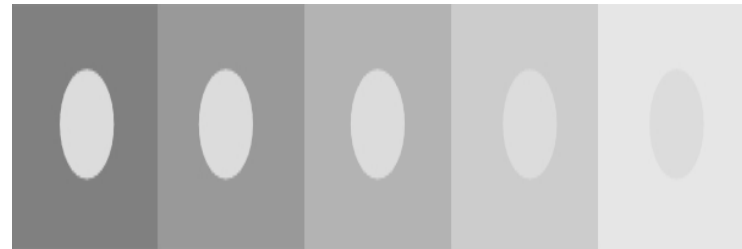
- Multistabile bilder



Rette og buete linjer

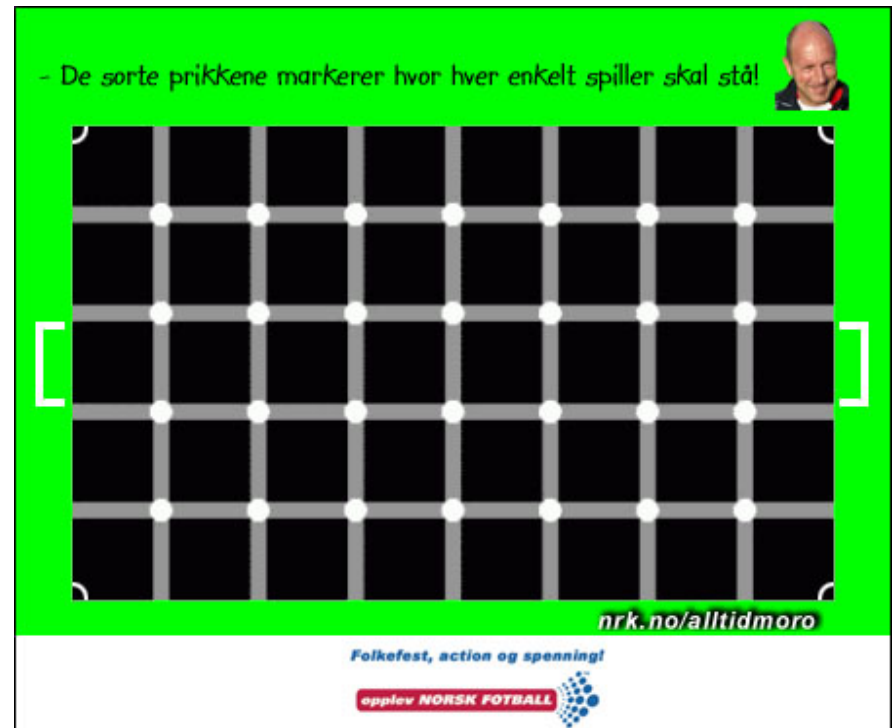
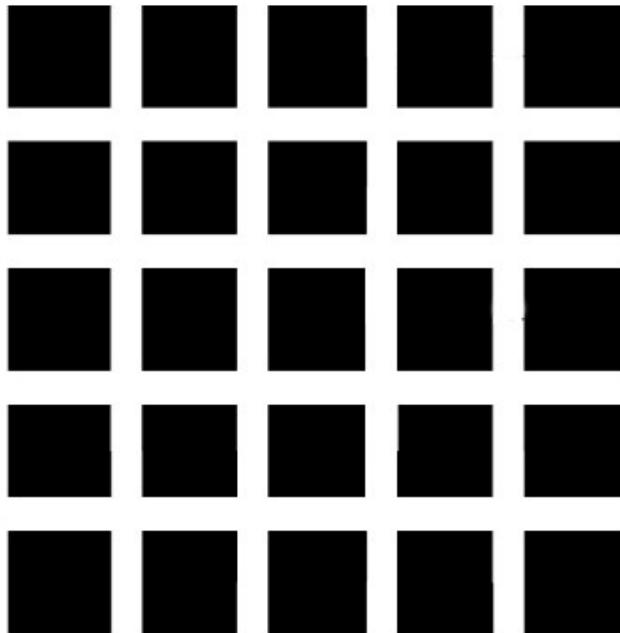


Simultan kontrast



# "Hermann-grid"

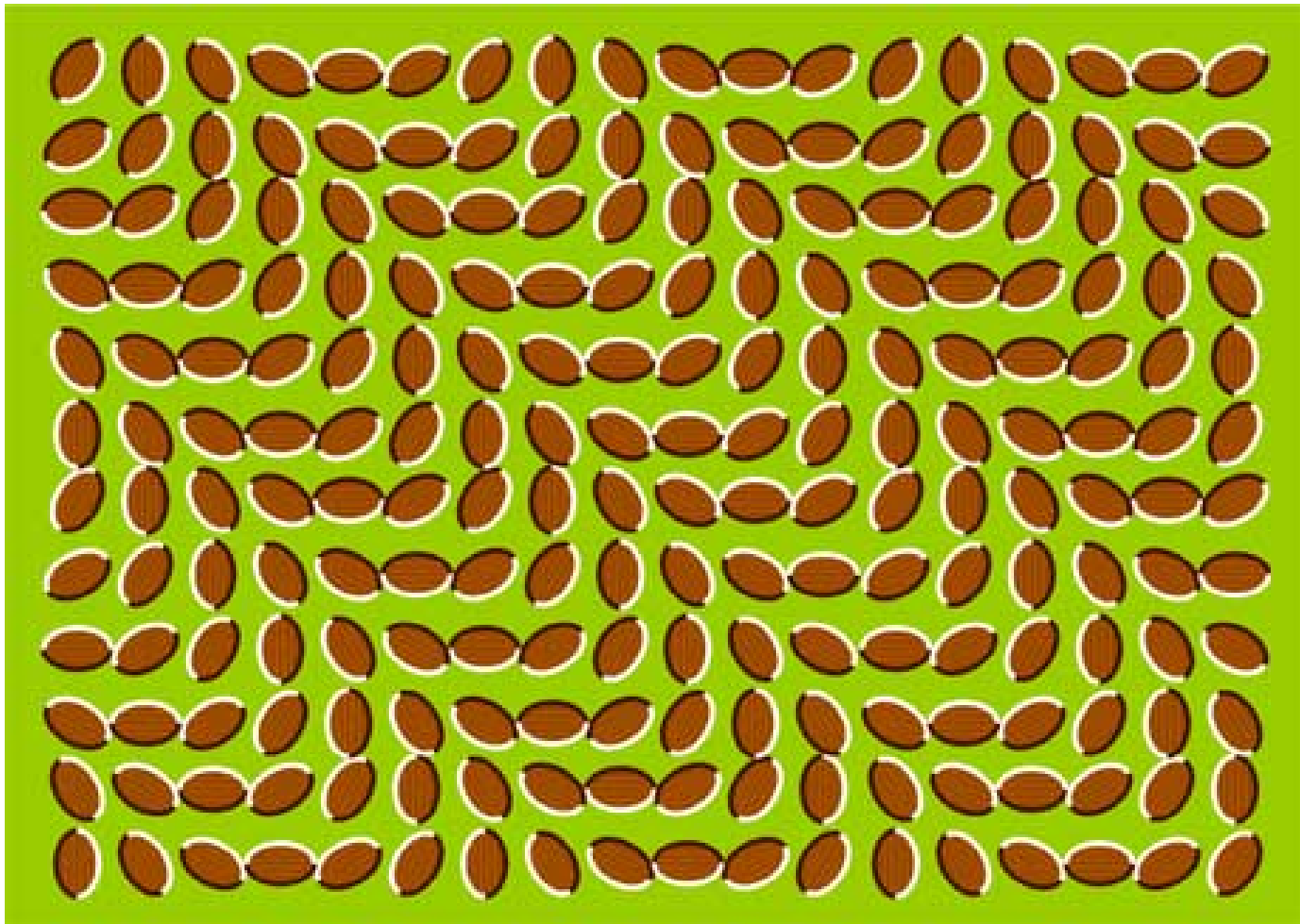
- Hva er årsaken til denne effekten?



- Svaret kommer i en senere forelesning!

# Optiske illusjoner – "bevegelse"

---

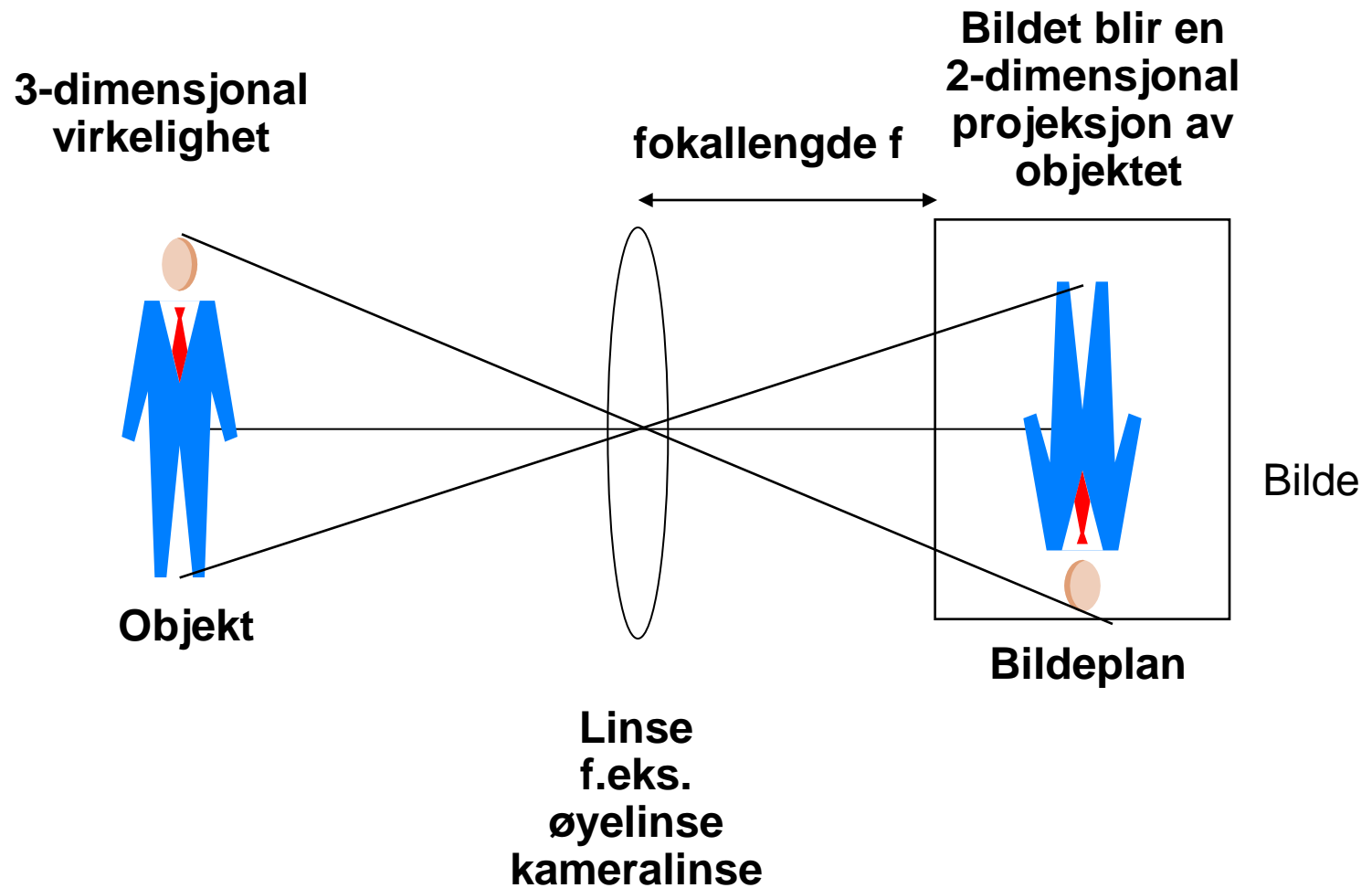


# "T-Rex and Me"

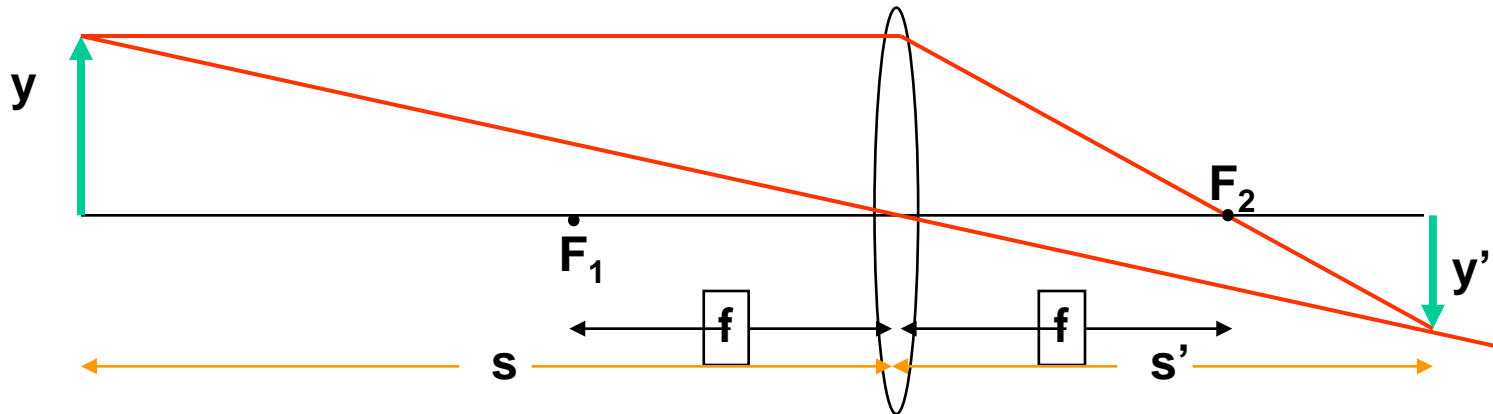
---

- 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 trekantene:

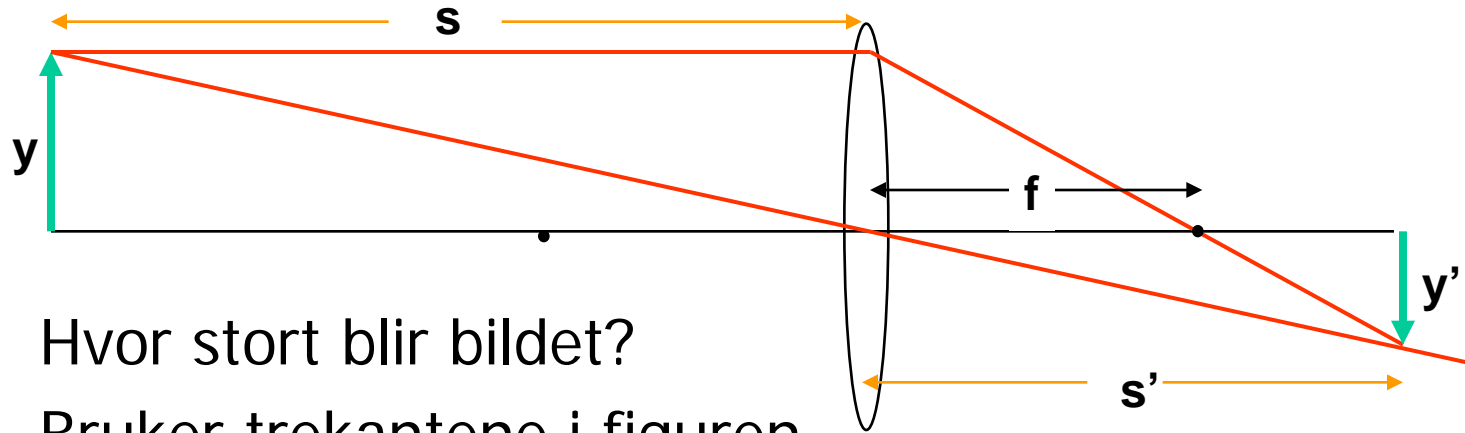
$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \quad \text{og} \quad \frac{y'}{y} = \frac{s' - f}{f}$$

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

$$m = y'/y$$

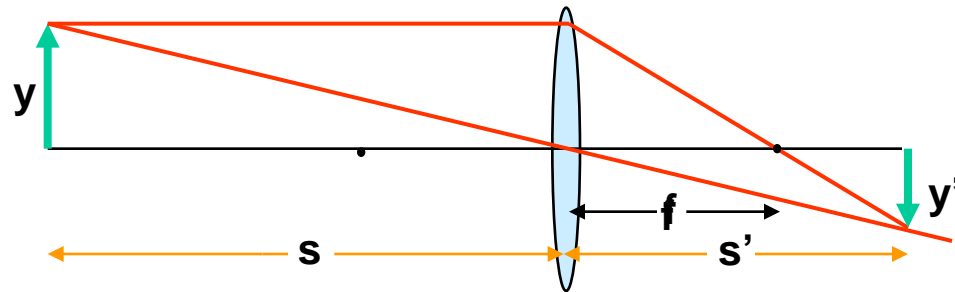
- Er objektet langt unna

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

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

# 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

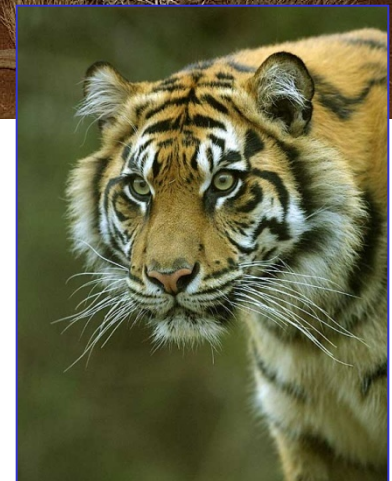
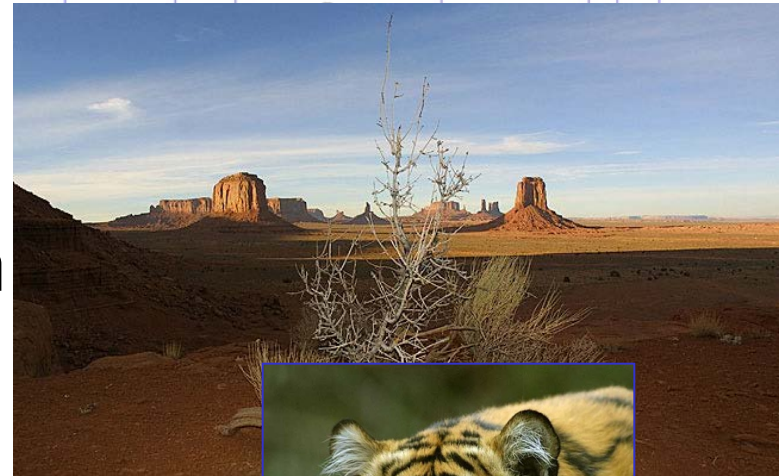
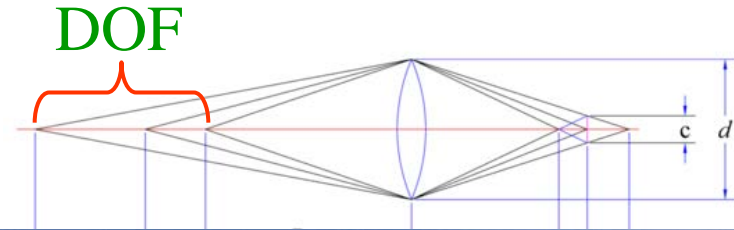
$$y' = y f / (s-f) = 3476 \text{ km} \times 50 \text{ mm} / (384405 \text{ km} - 50 \text{ mm}) = \underline{0.45 \text{ mm.}}$$

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



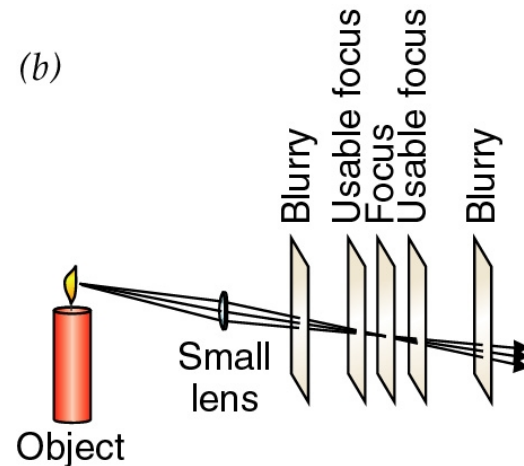
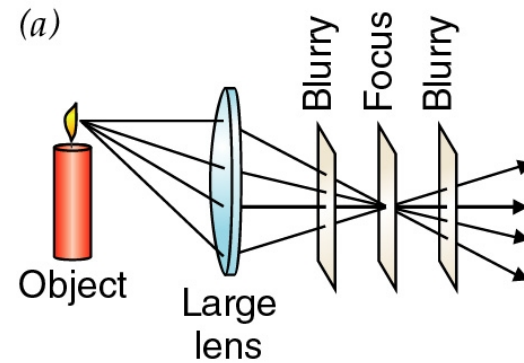
# Dybdeskarphet (Depth of field)

- DOF = avstand foran og bak fokuseret 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](http://howthingswork.virginia.edu))

# Hva bestemmer DOF ?

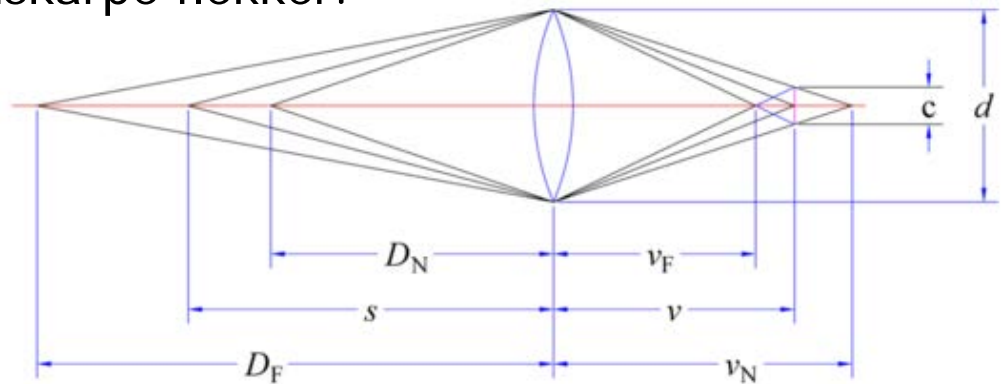
---

- 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 punktobjekter 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  $\mu\text{m}$ .

- **Et praktisk eksempel:**

$$f = 50 \text{ mm}$$

$$N (=f/d) = 5.6$$

$$s = 10 \text{ m}$$

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

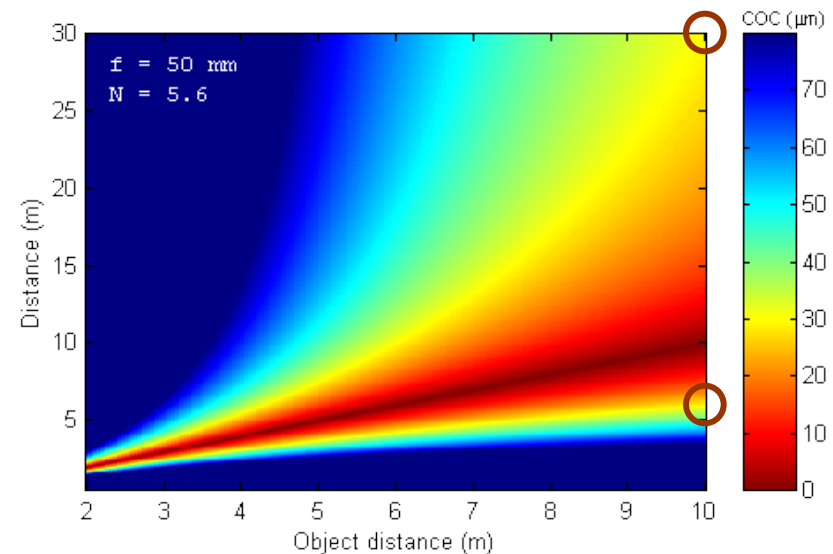
- DOF går fra 6 m til 30 m.

=> DOF dekker altså her

4 meter foran og

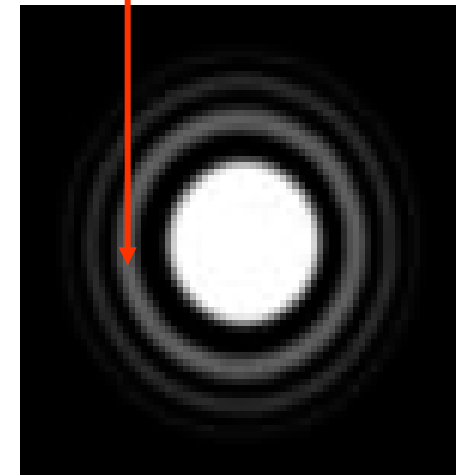
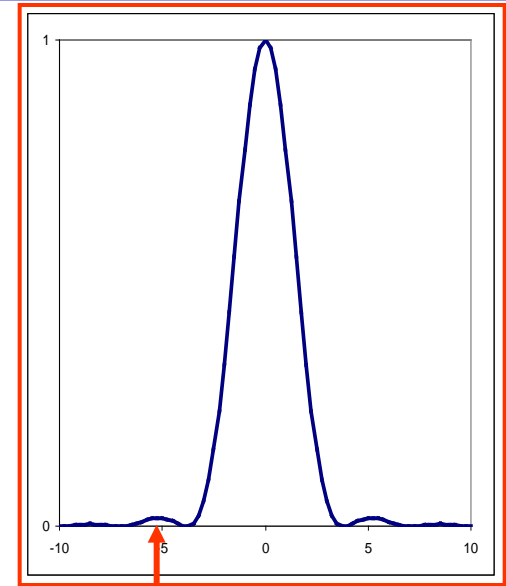
20 meter bak fokusavstanden.

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



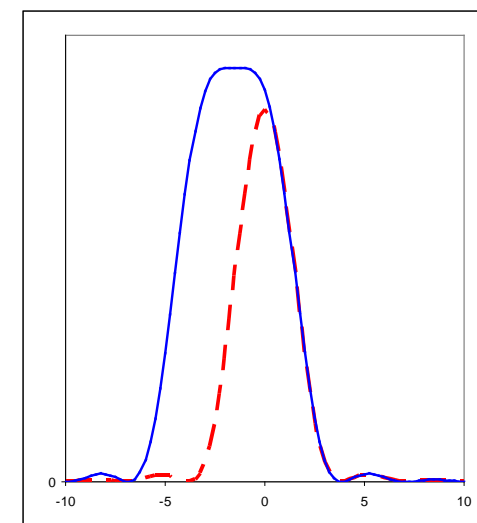
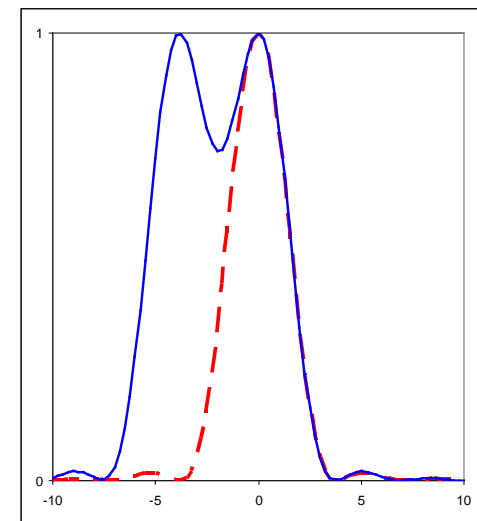
# Punktspredningsprofil (PSF)

- 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.



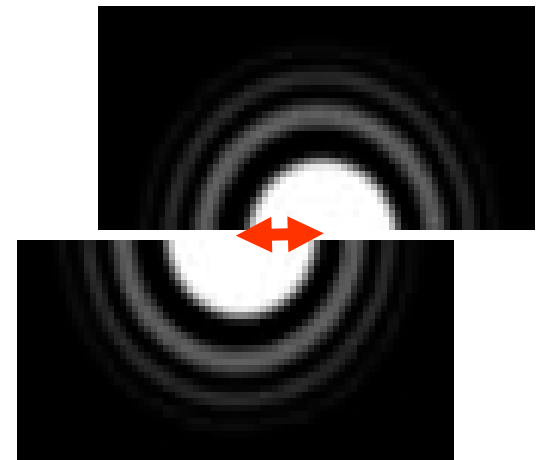
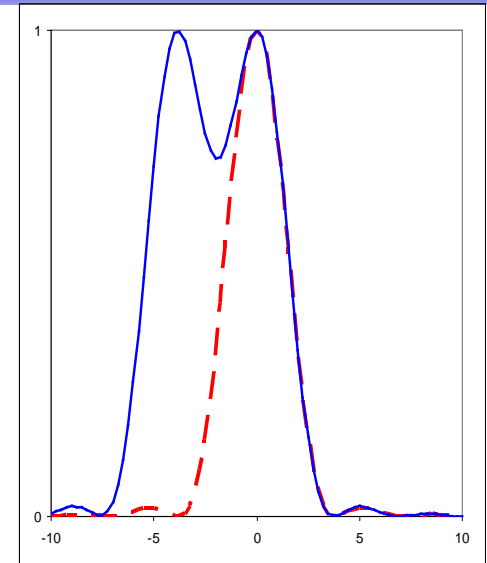
# Vinkeloppløsnings-kriterier

- Anta at linsens diameter er  $d$ , og at lysets bølgelengde er  $\lambda$ .
- 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".



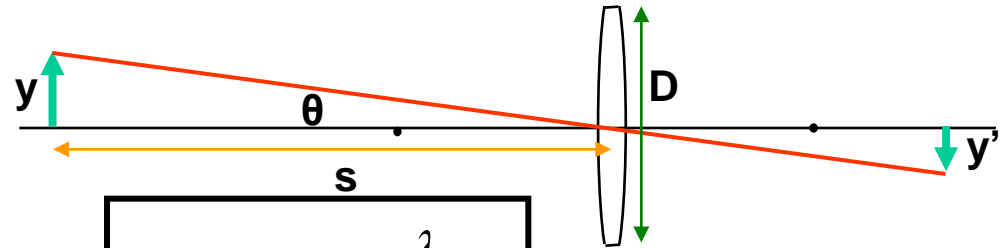
# Rayleigh-kriteriet

- 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  $\theta$  er gitt ved

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

- For små vinkler er  $\sin(\theta) = \operatorname{tg}(\theta) = \theta$ , når vinkelen  $\theta$  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  $47^\circ$  (målt langs diagonalen),
  - fokallengde 28 mm et vidvinklet synsfelt ( $75^\circ$ ),
  - mens fokallengde 300 mm zoomer inn synsfeltet til bare  $8^\circ$ .
- Fokallengden kan forvrengte perspektivet.
  - *En face* portrett med kort brennvidde (vidvinkel) forstørrer nesen.
  - Telelinser 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



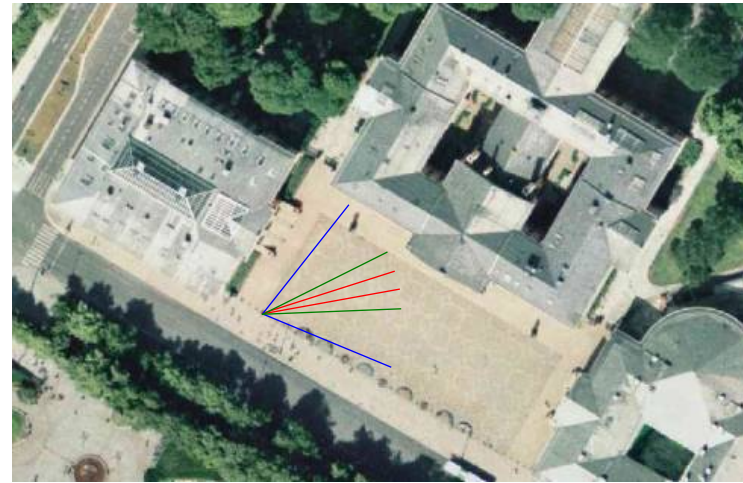
18 mm



70 mm



200 mm

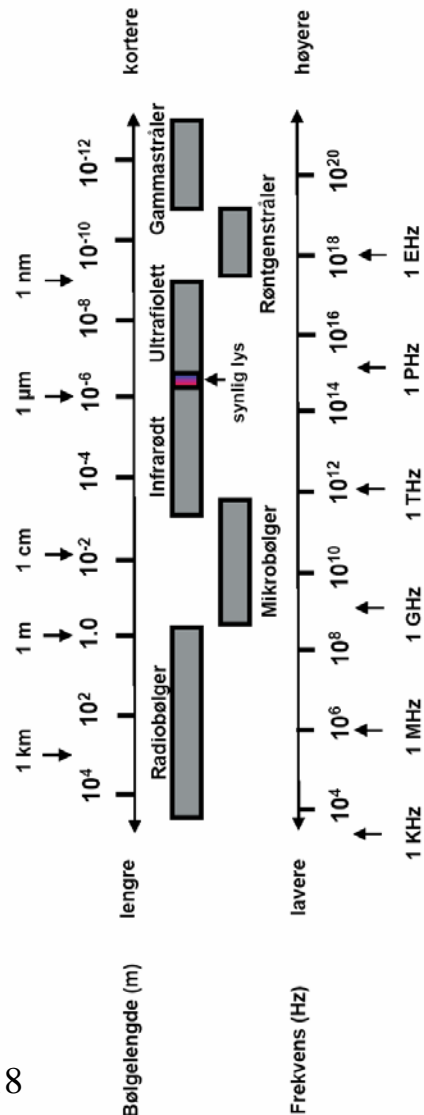


# Andre sensorer enn øyet

---

- **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 resonnans A
- Sonar, seismikk – lyd A
- Mikroskopi A
- Laser avstand scanner A

# Bølgelengde og frekvens



<b>Fiolett:</b>	0.4-0.446 μm
<b>Blå:</b>	0.446-0.500 μm
<b>Grønn:</b>	0.500-0.578 μm
<b>Gul:</b>	0.578-0.592 μm
<b>Oransje:</b>	0.592-0.620 μm
<b>Rød:</b>	0.620-0.7 μm

Sammenheng mellom  
bølgelengde og frekvens:

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

$c =$  lysets hastighet ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\lambda =$  bølgelengde (m)

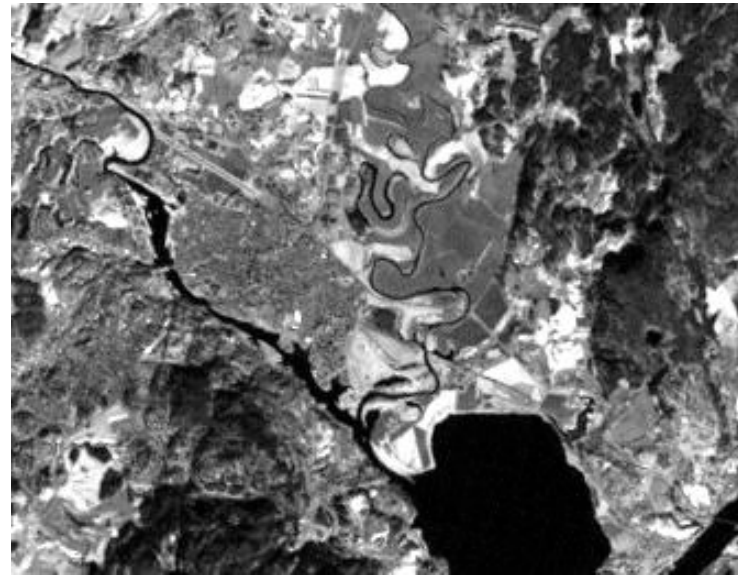
$f =$  frekvens (Hz)

# Eksempel: radar vs. optisk

---

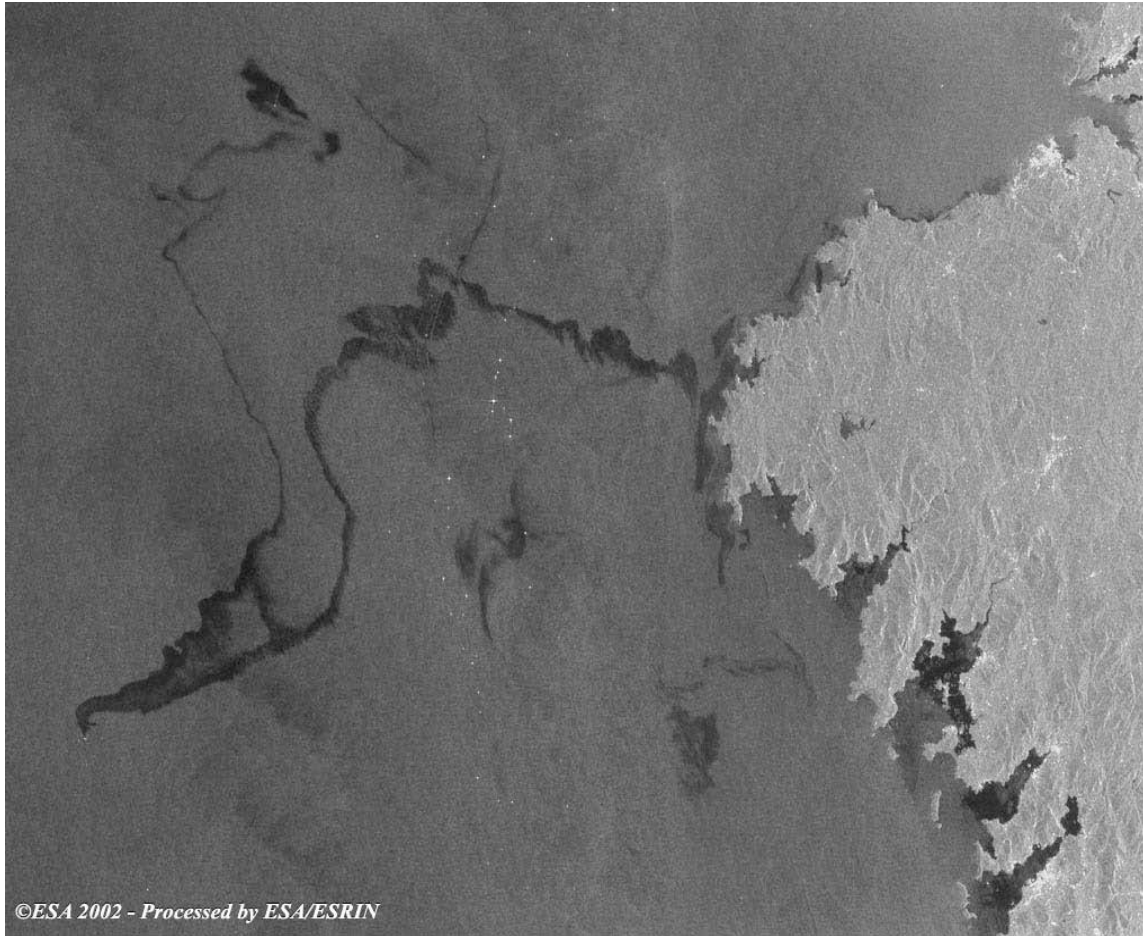


**Bilde fra ERS-1 SAR-satellitten**  
**Radaren viser røffheten på overflater**



**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, ...

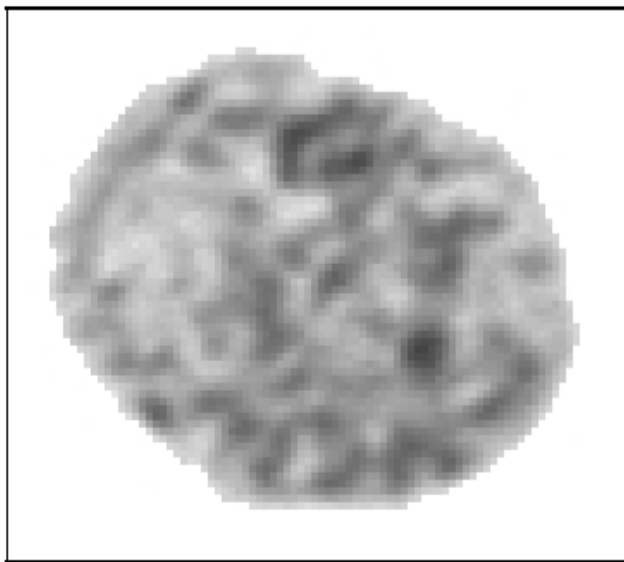




# Medisinsk mikroskopi

---

- 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.

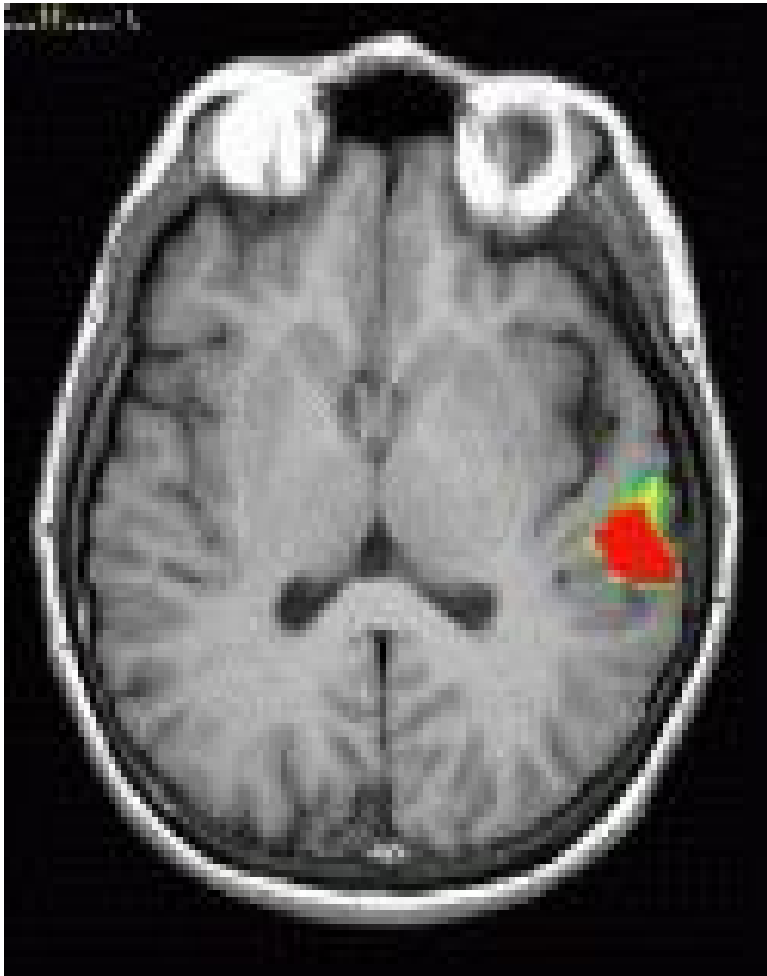


# CT og MR

---

- 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.