

---

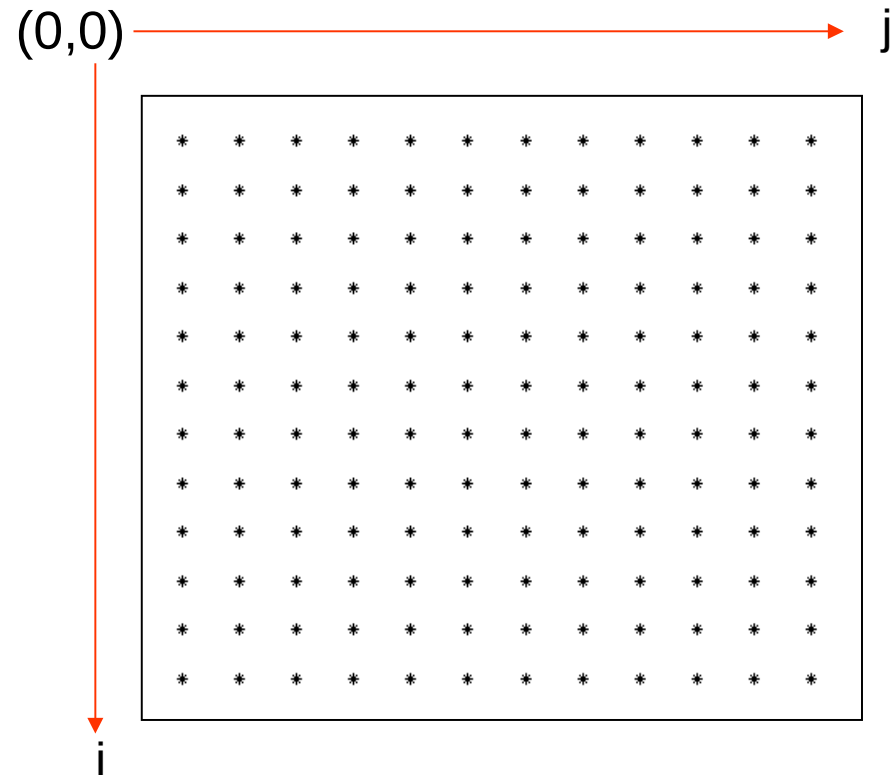
# INF2310 – 25. januar 2017 – Ukens temaer

(Kap 2.3-2.4 med drypp fra kap. 4. i DIP)

- Romlig oppløsning
- Sampling av bilder
- Kvantisering av pikselintensiteter

# Sampling av bilder

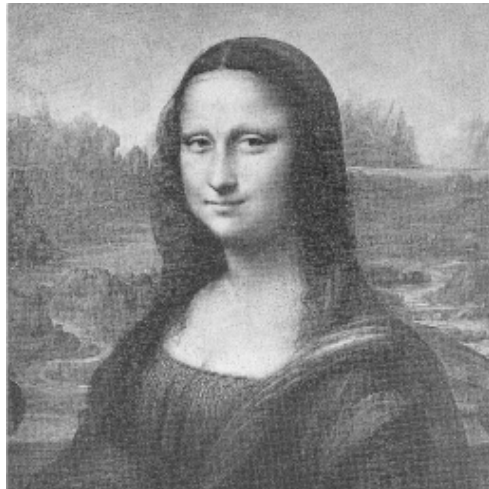
- Naturen er kontinuerlig
  - Et bilde er en kontinuerlig funksjon av to variable
- Et *digitalt* bilde består (oftest) av bildeverdier på et endelig 2D punktnett
- Sampling: Prosessen som plukker ut punkter fra et kontinuerlig bilde til et 2D punktnett



For en viss **romlig oppløsning**, hvor tett må punktene i rutenettet ligge?  
(Hvor mange piksler pr. arealenhet?)

# Romlig oppløsning, eksempler

---



256x256



128x128



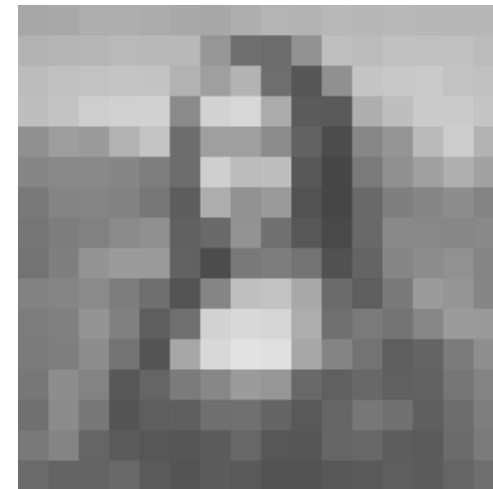
64x64

(Hvert bildeelement / tall i matrisen er her opptegnet som et kvadrat)

Romlig oppløsning sier noe om graden av fine detaljer som kan representeres i bildet



32x32



16x16



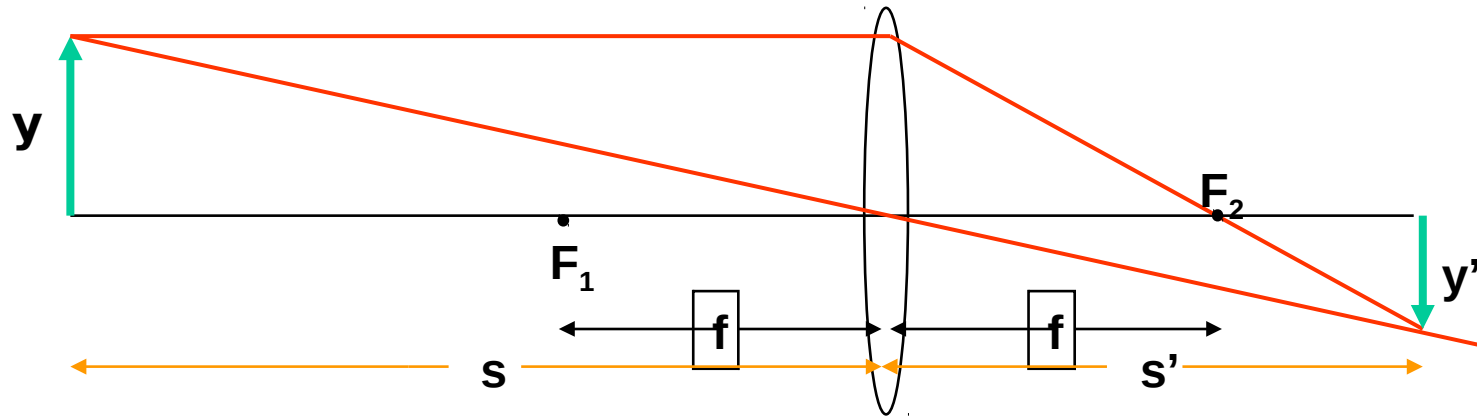
32 x 32 piksler



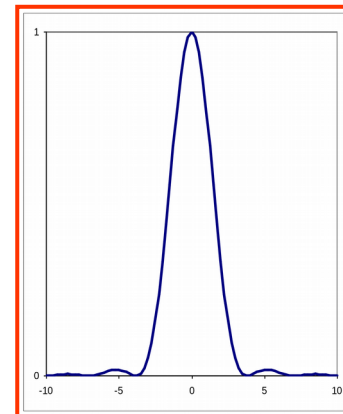
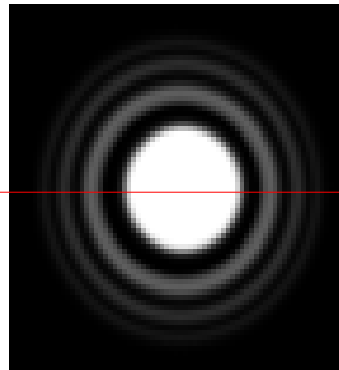
256 x 256 piksler

Forskjellig antall piksler, men lik romlig oppløsning

# Optisk avbildning



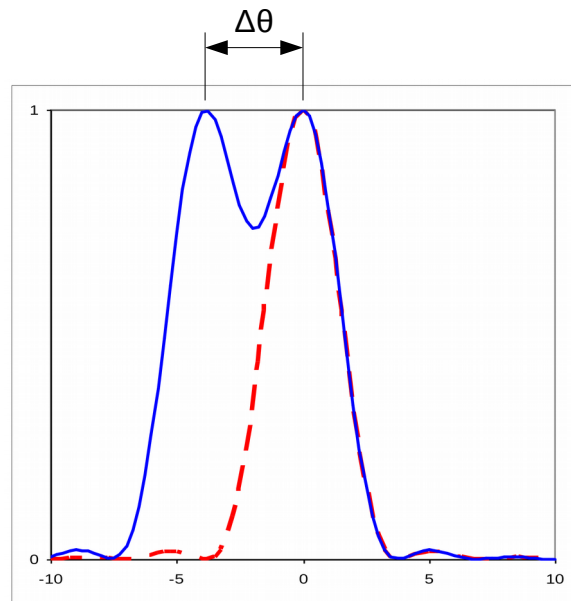
Ett «punkt» =>



Punktspredningsfunksjon  
(PSF)

# Romlig oppløsning

- Romlig oppløsning oppgis ofte som hvor langt fra hverandre to punktkilder må være for å kunne skille dem fra hverandre i bildet



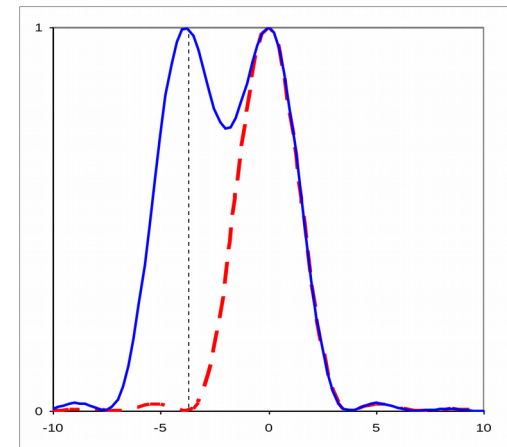
Angis som oftest som en vinkel

# Rayleigh-kriteriet

- Anta en "perfekt" linse med diameter  $D$ , og at lysets bølgelengde er  $\lambda$ . Kun diffraksjon spiller inn.
- To punkter i et objekt kan akkurat adskilles i bildet hvis vinkelen mellom dem,  $\theta$ , tilfredstiller:

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

- Dette er "Rayleigh-kriteriet".



# Rayleigh-kriteriet, eksempel

---

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

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$$

$f = 35 \text{ mm}$  og  $D = 10 \text{ mm}$  (Tilnærmet vanlig kamera)  
 $s = 5 \text{ m}$  (Avstanden til det som avbildes)  
 $\lambda = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$  (Grønt lys)

$$\tan \theta \approx \sin \theta = 1.22 \lambda / D = 6.1 \cdot 10^{-5} \quad (\text{Rayleigh})$$

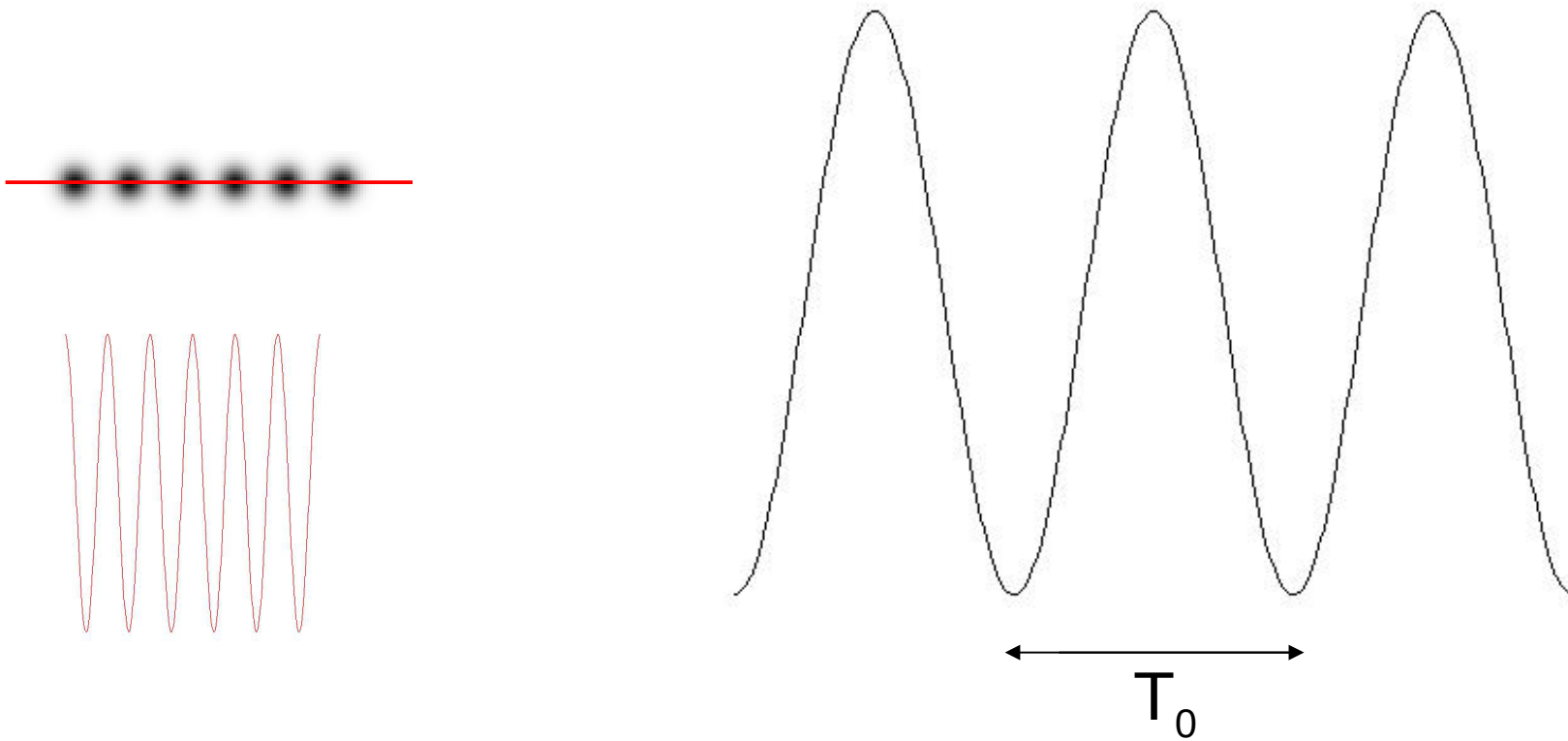
$$y = \tan \theta \cdot s \approx 3.05 \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx \mathbf{0.3 \text{ mm}} \quad (\text{I objektplanet})$$

$$y' = 0.3 \text{ mm} \cdot 35 / (5000 - 35) \approx \mathbf{2.1 \text{ } \mu\text{m}} \quad (\text{I bildeplanet})$$



# Romlig frekvens

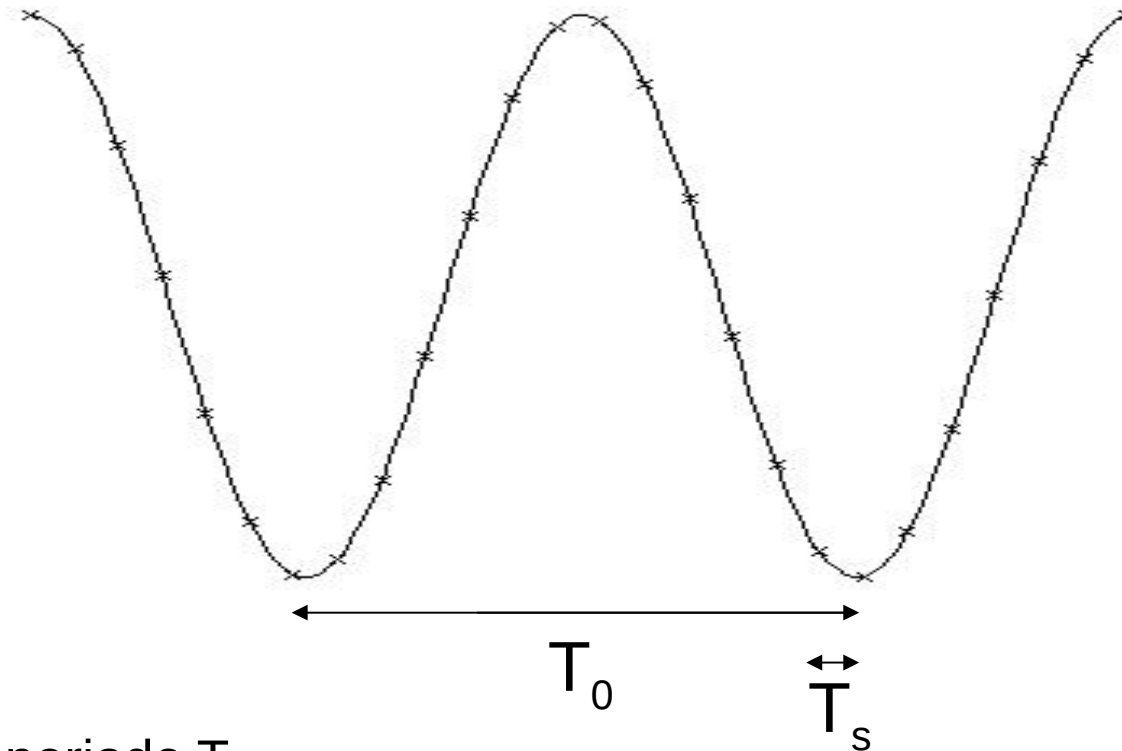
---



- Periode  $T_0$  (f.eks. i mm eller  $\mu\text{m}$ )
- Frekvens  $f_0 = 1/T_0$  (f.eks. med benevning per mm eller per  $\mu\text{m}$ )

# Sampling av kontinuerlige signaler

---



- Samplingsperiode  $T_s$
- Signalets/bildets periode  $T_0$
- Samplingsfrekvens  $f_s = 1/T_s$  (også kalt samplingsrate)
- **Hvor tett må man sample for å kunne rekonstruere signalet?**

# Samplingsteoremet (Shannon/Nyquist)

---

- Anta at det kontinuerlige bildet som skal samples har en høyeste frekvens  $f_{\max}$

Altså at bildet ikke har en uendelig oppløsning, noe som vi selvfølgelig ikke har ved «fysiske»/reelle bilder

- Det kontinuerlige bildet kan rekonstrueres fra det digitale bildet dersom samplingsraten  $f_s = 1/T_s$  er større enn  $2 f_{\max}$  (altså  $T_s < 1/2T_0$ )

- $2 f_{\max}$  kalles Nyquist-raten

- I praksis oversampler vi med en viss faktor for å kunne få god rekonstruksjon

Hva er  $T_0$ , og hvilket krav til  $T_s$  bør vi ha, i Rayleigh-kriteriet-eksempelet på lysark 8?

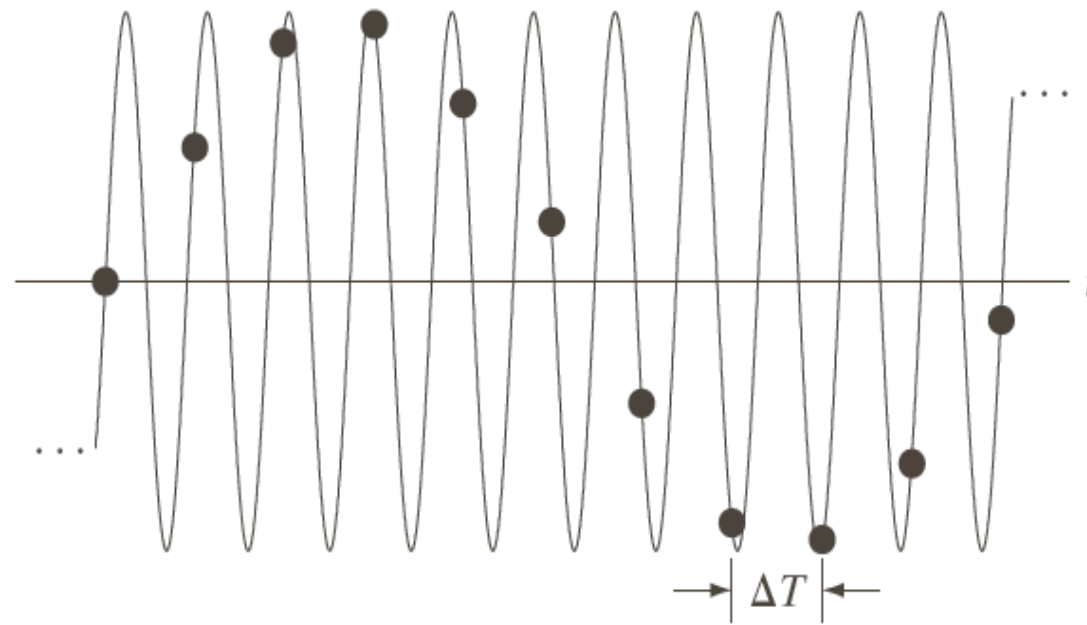
# Undersampling/aliasing

---

- Undersampling (sample med lavere samplingsrate enn Nyquist-kriteriet) medfører **aliasing**
- Ved undersampling «forvrenses» frekvensinnholdet og det digitale bildet inneholder ikke de samme frekvenser som det kontinuerlige bildet
- Aliasing betegner det fenomenet at en sinus-funksjon ved for lav samplingsrate gir opphav til samme diskrete signal som en sin med lavere frekvens

# 1D aliasing-eksempel

---

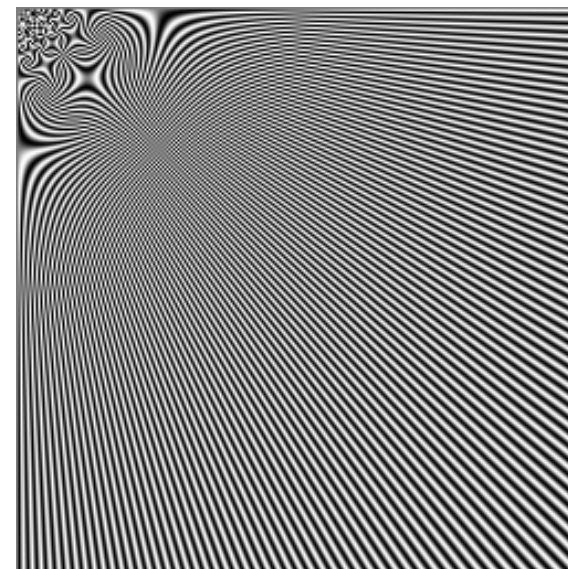
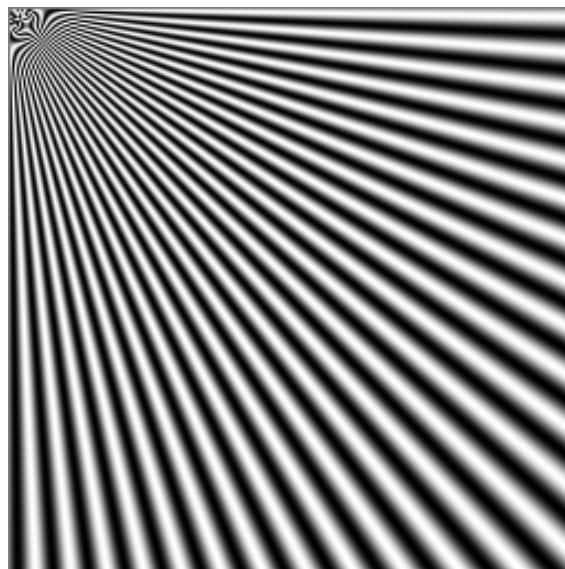
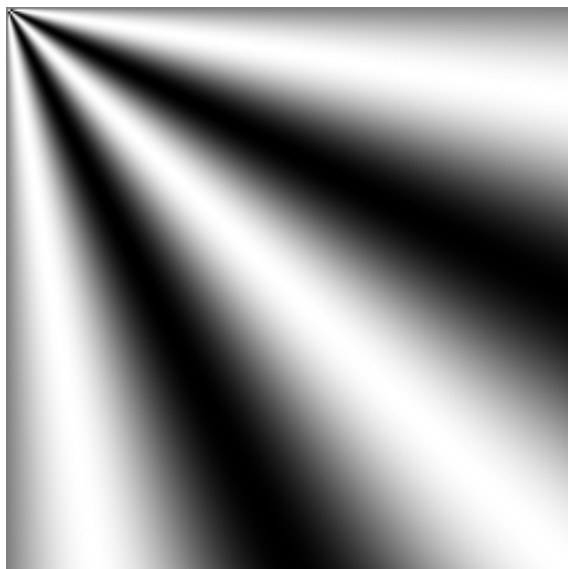


**FIGURE 4.10** Illustration of aliasing. The under-sampled function (black dots) looks like a sine wave having a frequency much lower than the frequency of the continuous signal.

(Figur 4.10 s. 219 i DIP)

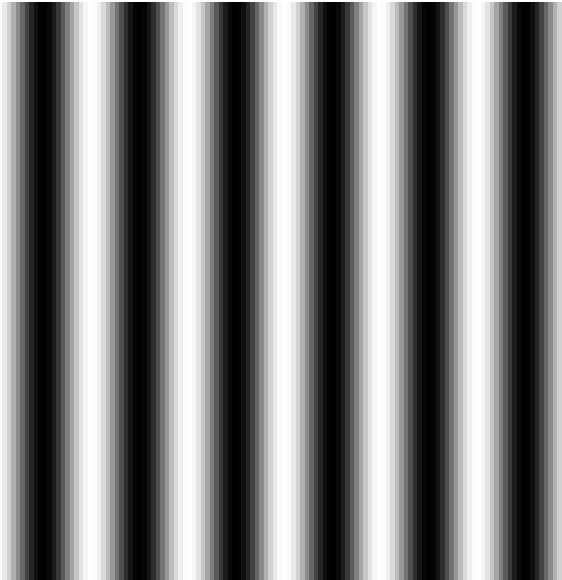
# 2D aliasing-eksempel

---



# Oppgave

---



12 cm

- Du tar bilde av et gjerde som består av gjerdestolper som er 6 cm brede og mellomrom som er 6 cm
- Bildet dekker 30 m av gjerdet
- Bildet er på 256x256 piksler
  
- Går dette bra?
- Hva er perioden i bildet og hva er samplingsperioden?

# Anti-aliasing

- Ved *anti-aliasing* fjerner/demper vi de frekvensene i bildet vi ikke kan håndtere før vi sampler

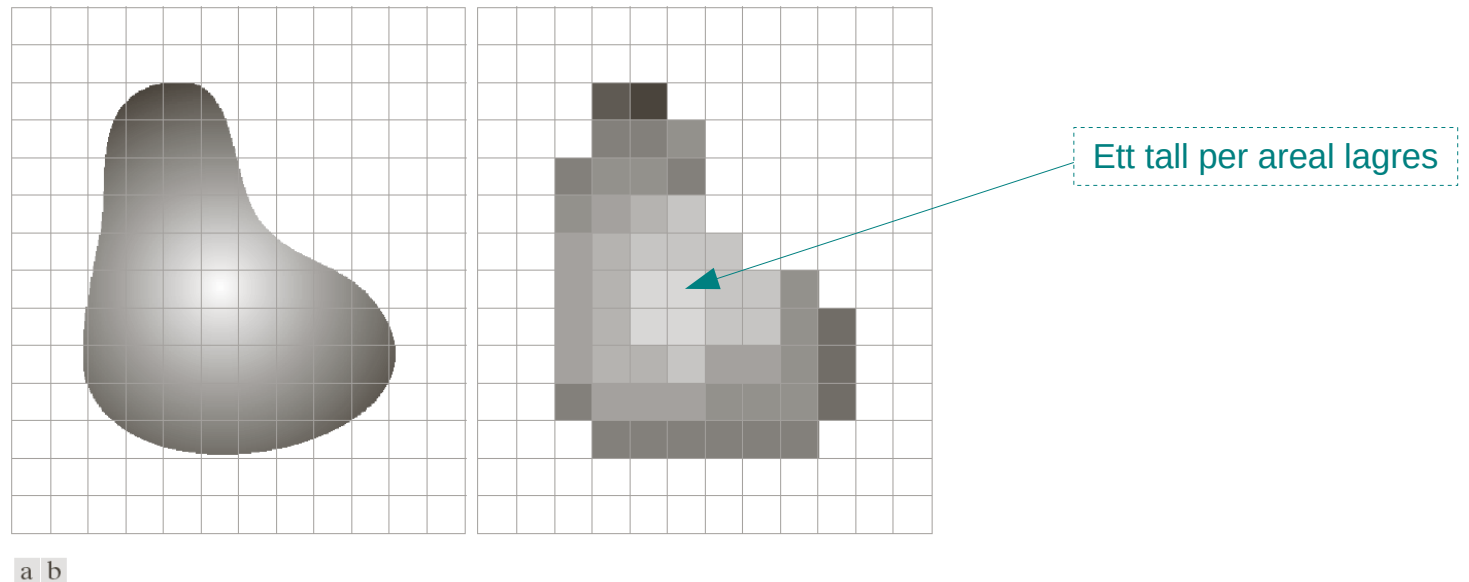


(Figurer fra ImageProcessingBasics.com)



# Mer reell sampling av bilder I/II

- Et kontinuerlig bilde projiseres på en detektor-matrise
- Hver detektor måler intensitet som et arealgjennomsnitt

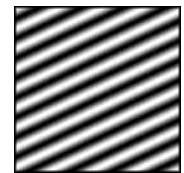


**FIGURE 2.17** (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

# Mer reell sampling av bilder II/II

---

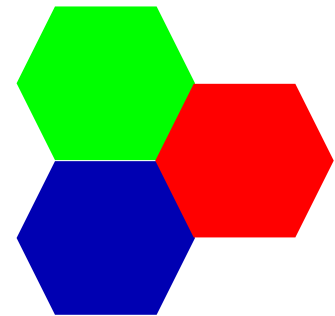
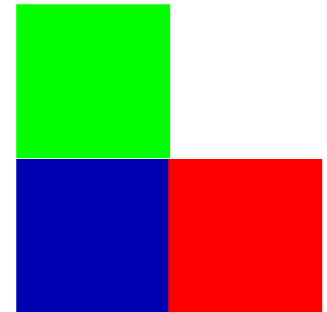
- Når et kamera tar bilde av et objekt, vil hvert piksel i bildet inneholde lys målt fra hele det området som pikselen dekker
- Eksempel: La oss si at et piksel dekker det området som er vist til høyre, og at dette lille området inneholder noe fin-struktur:
- Dette representeres etter samplingen ved gjennomsnittlig lysstyrke i området:
- **Vi har målt en middelværdi over et areal**
  - Implisitt fjernet høyfrekvent bidrag
  - Konseptuelt det samme som å først glatte ut, så plukke punkt-sampler: Anti-aliasing-filtrering



# Samplingsmønster / skanningsmønster

---

- Vanligvis rektangulært grid
  - Konnektivitets-problemer  
(Merk: avstanden mellom diagonale punkter)
  - Avstandsmål
  - Mer om dette i morfologi-forelesningen
- Andre eksempler:
  - Hexagonalt
  - Varierende tetthet (netthinnen)
  - Polarkoordinater (f.eks ultralyd)



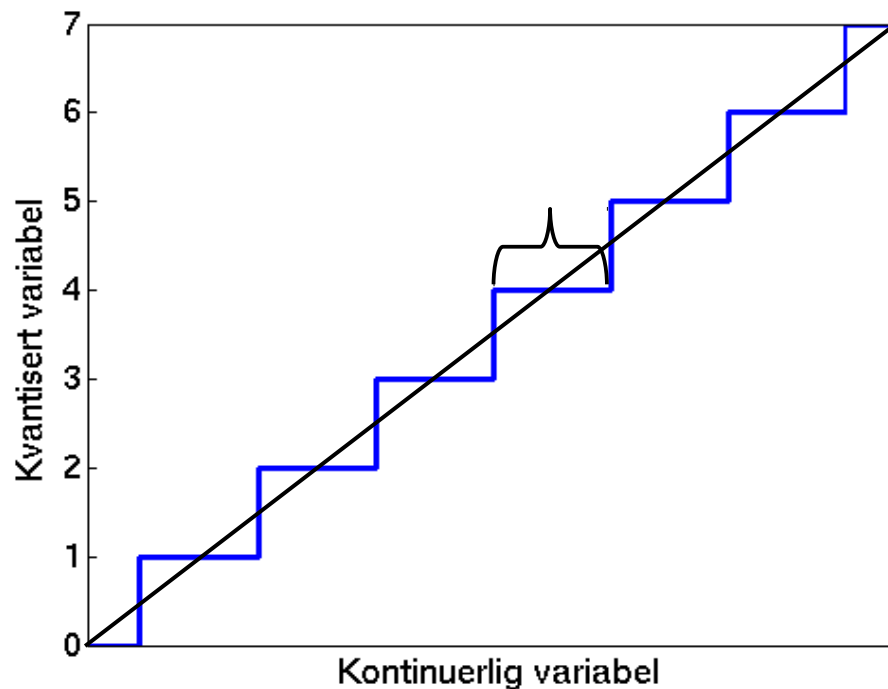
# Kvantisering

---

- $f(x,y)$  er intensitet/lysstyrke i  $(x,y)$  og er i sin natur en *kontinuerlig* variabel
- Når bildet,  $f$ , skal lagres digitalt må man velge et *visst antall nivåer* (og hvor nivåene skal ligge)
- ***Kvantisering***: Prosessen som transformerer et kontinuerlig sampel  $f(x,y)$  til et diskret sampel  $f_{digital}(x,y)$

# Kvantisering, forts.

- Hvert piksel lagres vha.  $n$  bit
- Pikselet kan da inneholde heltallsverdier fra 0 til  $2^n - 1$
- Eks 3 bit:



8 bit er vanlig  
for gråtonebilder,  
og  $3 \cdot 8$  bit  
for fargebilder

# Kvantiseringssfeil

---

- Kvantiseringssfeil
  - Summen av hver piksels avrundingsfeil
- Kan velge intervaller og tilhørende rekonstruksjonsintensiteter for å minimere denne => Ikke nødvendigvis uniform fordeling
- Sentrale stikkord:
  - Lagringsplass
  - Behov for presisjon/akseptabelt informasjonstap
  - Hardware-kompleksitet, eller fysiske begrensninger
- Merk: Fremvisning og videre analyse av det kvantiserte bildet stiller ulike krav til presisjon

# Eksempel: Plassbehov

---

- Typisk kamera (12 megapiksel)
  - $4032 \times 3024 = 12,192,768$  piksler
  - RGB  $\rightarrow 3 * 12,192,768 * 8 \text{ bit} \approx$  **35 MB**
  - Video  $\rightarrow 35 \text{ MB} * 25 \text{ per sekund} \rightarrow$  **52.5 GB per minutt!**
- Radarbilde fra ERS-satellitten:
  - Overføring fra satellitt kostbart
  - Dekker 100 km x 100 km
  - Pikseldekning 20 m x 20 m
  - 5000 x 5000 piksler
  - 8 bit: **25 MB**
  - 16 bit: **50 MB**
  - 32 bit: **100 MB**

Vi ser at kompresjon vil ofte fort melde seg som en nødvendighet..

# Krav til kvantiseringsnivåer

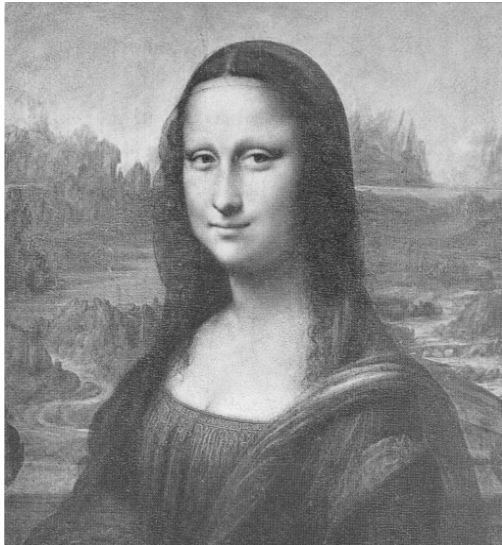
---

- Vi oppfatter kun noen titalls gråtoner samtidig, så trenger vi mer enn 256 nivåer (1 byte) pr. piksel?
- Tilfeller hvor *input*-intensitetsnivå varierer (for eksempel lysnivå ute og innendørs) og vi er nødt til å korrigere etter sampling
- For videre bildeanalyse/bildebehandling trenger vi ofte høyere antall kvantiseringsnivåer
- Eksempler på datatyper som ulike sensorer leverer:
  - Byte (0-255): Mest vanlig
  - 14 bit per kanal: Moderne kamera i RAW-filformat-modus
  - Unsigned short (16 bit): ERS SAR radarbilder vanlig format
  - 10 bit: MR-bilder (Magnetisk Resonnans)
  - 64 bit complex: ERS single look complex radarbilder (rådata) med amplitude og faseinformasjon

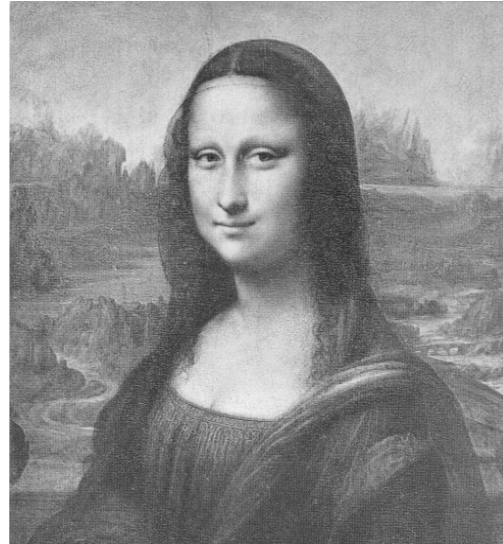


# Eksempler - antall bit per piksel

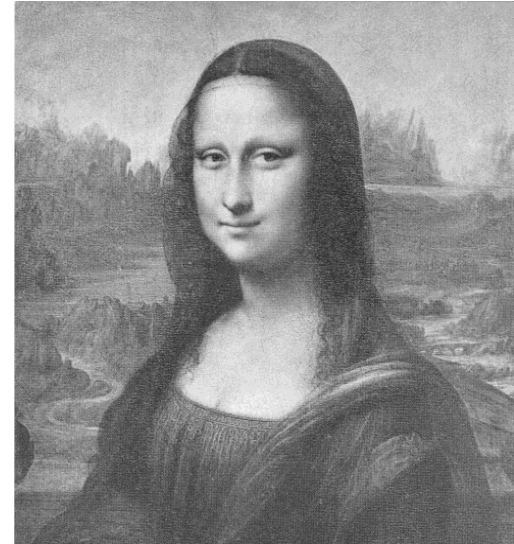
---



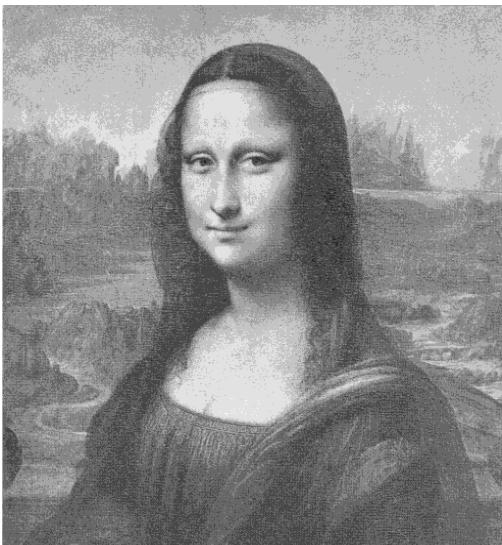
**8 bit**



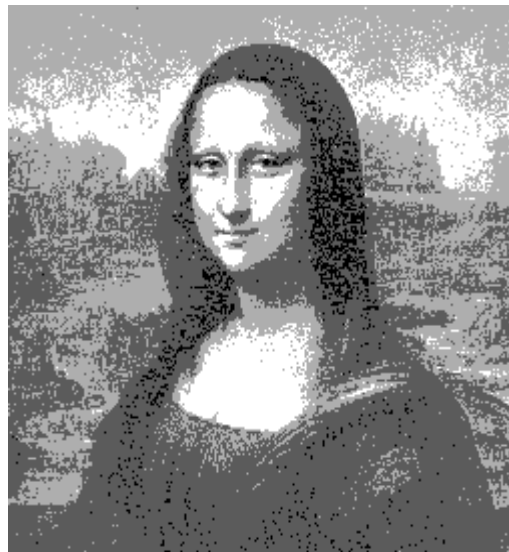
**6 bit**



**4 bit**



**3 bit**



**2 bit**  
INF2310



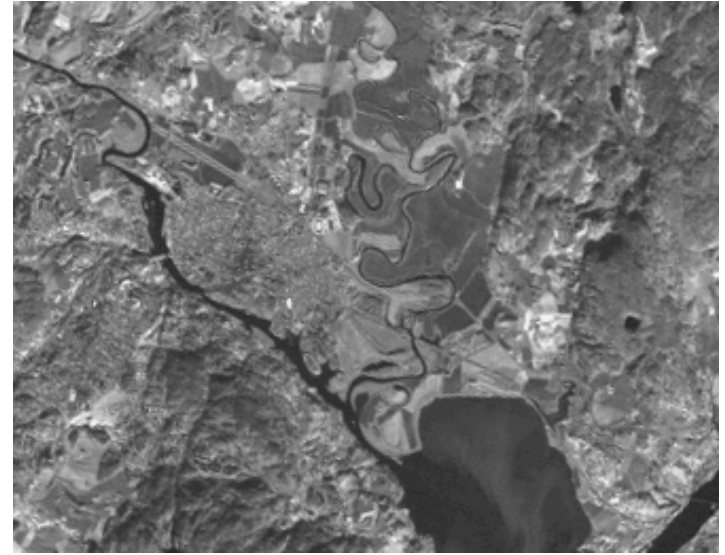
**1 bit**

# Eksempel – varierende belysning

---



Digital  
kontrastendring →



Må ha mange nok intensitetsintervaller for å kunne endre og fremheve de mørke områdene i ettertid.

# Sentrale temaer i dag

---

- Romlig oppløsning
  - Minste avstand mellom punktkilder
  - Punktspredningsfunksjon (PSF)
  - Romlig periode og romlig frekvens
- Sampling
  - Samplingsteoremet (Shannon/Nyquist)
  - Aliasing
  - Anti-aliasing
- Kvantisering
  - Kvantiseringsfeil
  - Fremvisning versus videre behandling/analyse