



Foto: Jan M.Lillebø

# Trådløs kommunikasjon

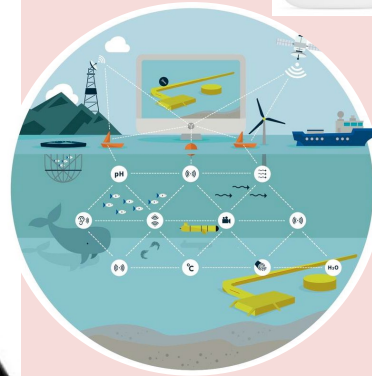
Fredag 26. Januar 2024

Johan Alme (johan.alme@uib.no)



Lærernes  
dag 2024

# Hva er trådløs kommunikasjon?

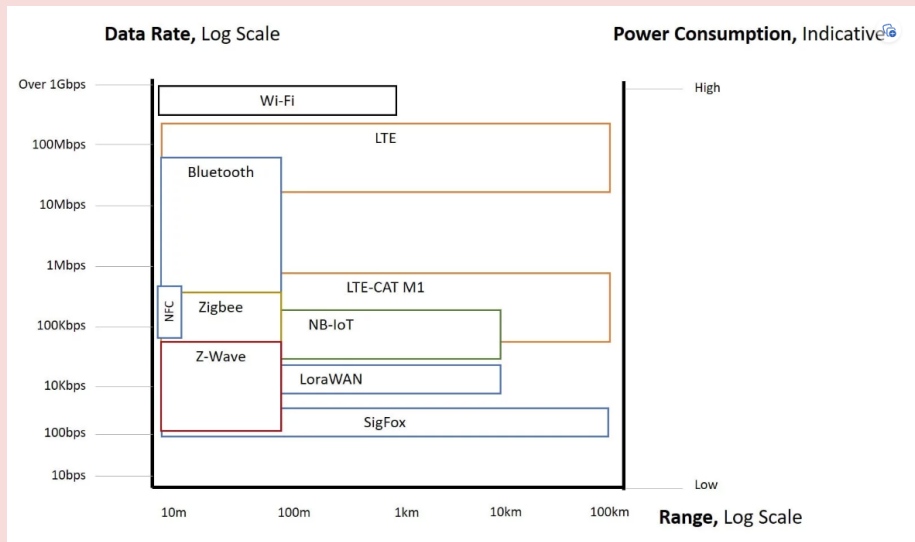


# Bruke hva hvor?

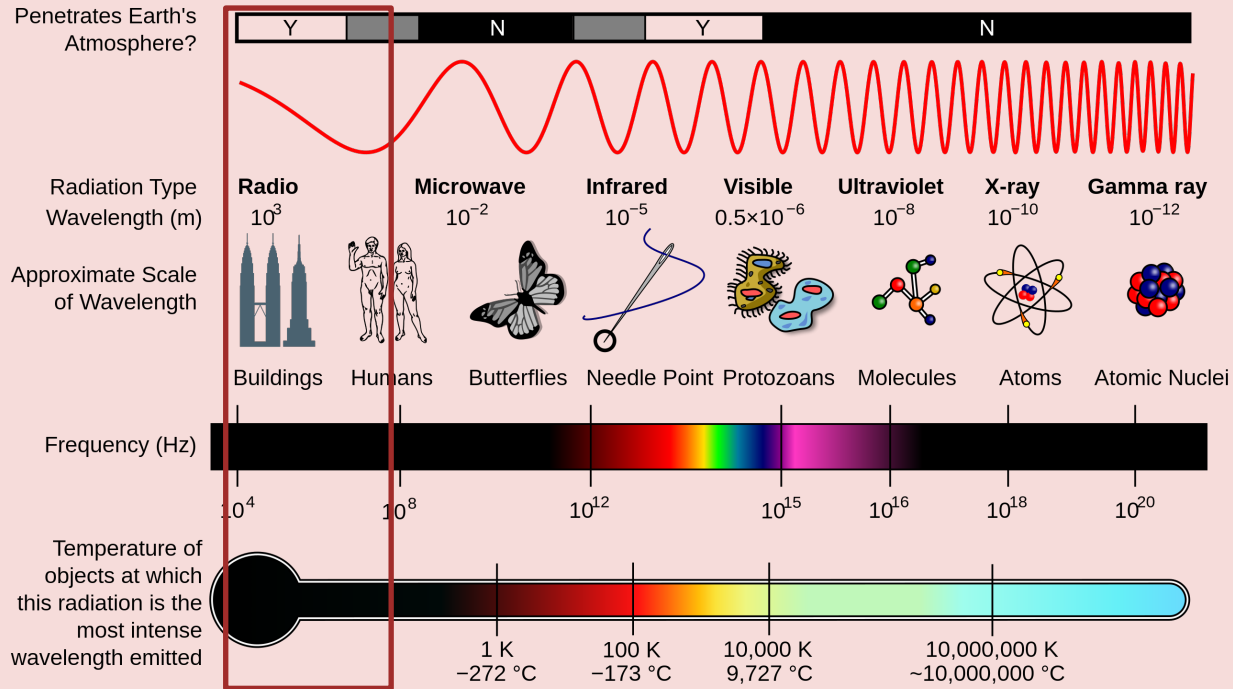
Hastighet

Rekkevidde

Effektforbruk

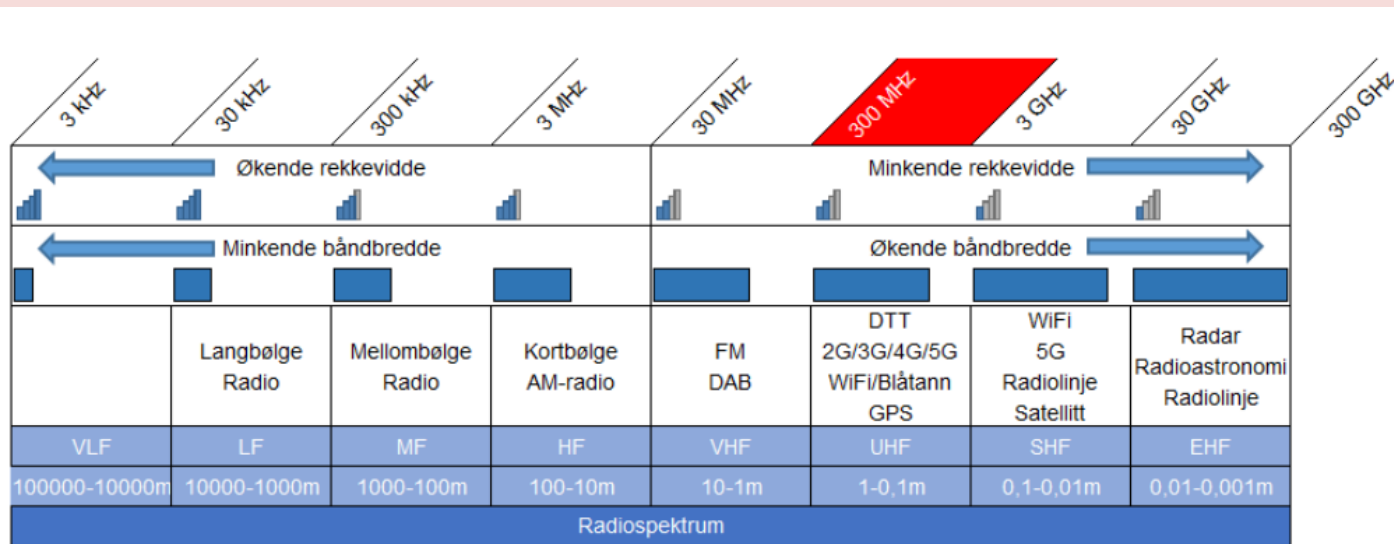


# Trådløs kommunikasjon = elektromagnetiske bølger



SIDE 4

# 3 kHz til 300 GHz - Radiobølger



Figur 1: Radiospektrum, rekkevidde og båndbredde

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

3 kHz:

$$\lambda \approx \frac{3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3.0 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}} \approx 100000 \text{ m}$$

300 GHz:

$$\lambda \approx \frac{3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3.0 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}} \approx 0.001 \text{ m}$$

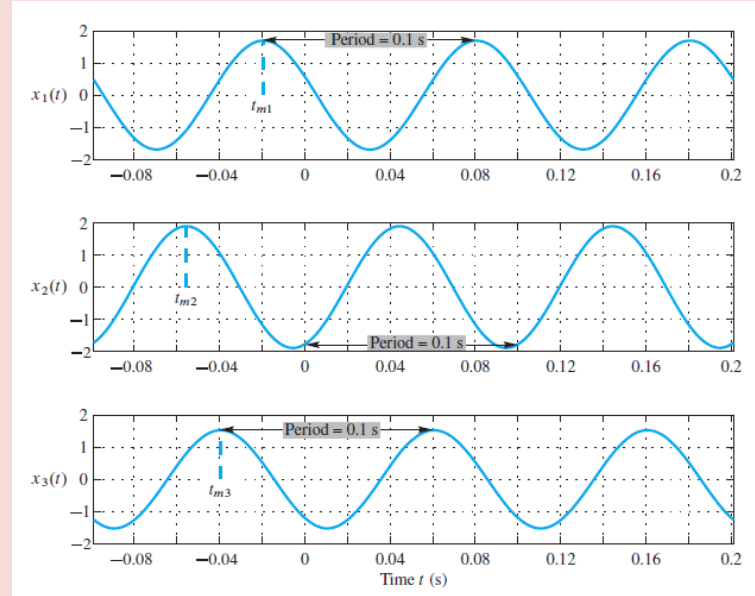


Lærernes  
dag 2024

Men hva er en bølge?

$$x(t) = A \cos(2\pi f t + \varphi)$$

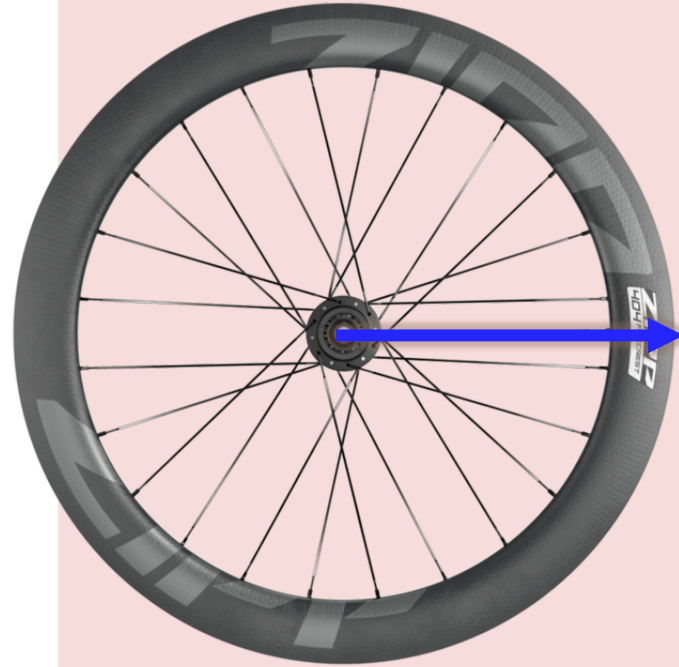
- A = amplitude
- f = frekvens
- $\varphi$  = fase
- t = tid



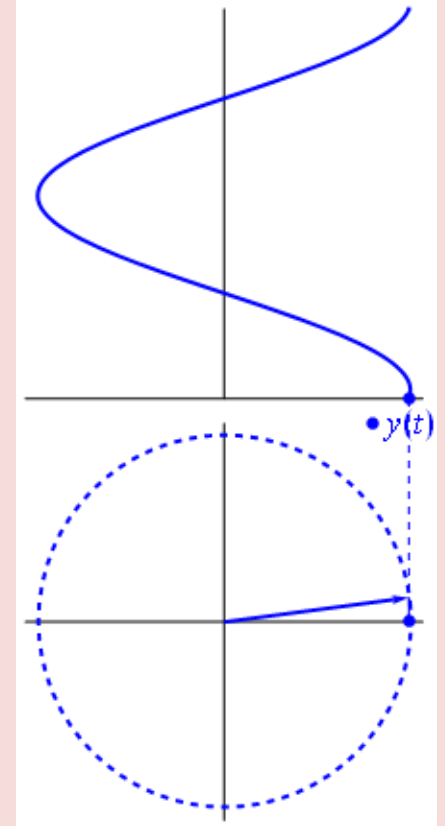
*Vi bruker alle disse parameterne for å sende informasjon trådløst!*

$$x(t) = A \cos(2\pi f t + \phi)$$

## Sinus med et sykkelhjul



- Vi lager en vektor ut til ventilen på hjulet
- Roterer hjulet raskt  $\rightarrow$  Høy **frekvens**
- STORT hjul  $\rightarrow$  Stor **amplitude**
- Hjulet starter med ventilen i en annen posisjon enn rett ut til høyre  $\rightarrow$  **faseskifte**



# Lufta er ikke for alle!

## Eksempel:

- Auksjon av 2,6 GHz- og 3,6 GHz-båndene (5G)
- 27. – 30. September 2021
- Samlet auksjonspris ble **NOK 3 332 612 000**
  - Rabatt NOK 560 000 000
  - Pga utbyggingsforpliktelser mm

## 2.6 GHz bånd

2500 MHz		2570 MHz		2620 MHz		2690 MHz
	Telia 30 MHz	Telenor 40 MHz	Altibox 50 MHz	Telia 30 MHz	Telenor 40 MHz	

3400 MHz					3800 MHz
	ICE 80 MHz	Altibox 100 MHz	Telenor 120 MHz	Telia 100 MHz	

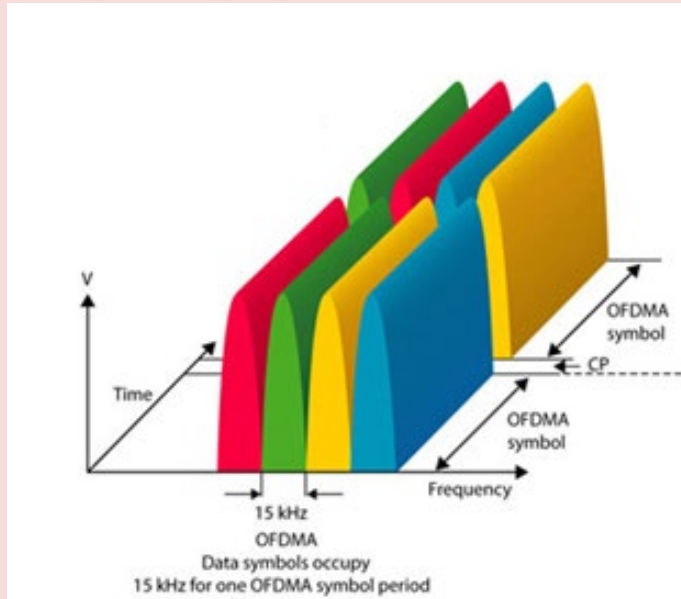
## Auksjonspris for budgiver Telenor Norge AS:

For 2 x 40 MHz i 2,6 GHz-båndet	NOK
Pris for tildelt båndbredde:	415 888 000
For 120 MHz i 3,6 GHz-båndet	
Pris for tildelt båndbredde:	1 007 928 000
Samlet pris for totalt 200 MHz, uten rabatt:	1 423 816 000
Samlet pris for totalt 200 MHz, med rabatt:	1 223 816 000

Lærernes  
dag 2024

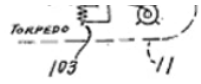


# Hvordan brukes frekvensene?

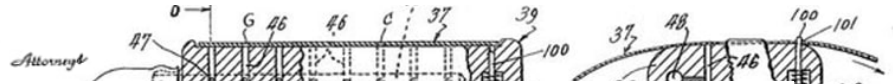


- OFDM – Orthogonal Frequency Multiplexing
- En bæreølge inneholder flere frekvenser
- Tiden deles inn i like deler
- Vi kan altså velge å sende på flere frekvenser samtidig
  - ... og/eller bytte frekvenser underveis?





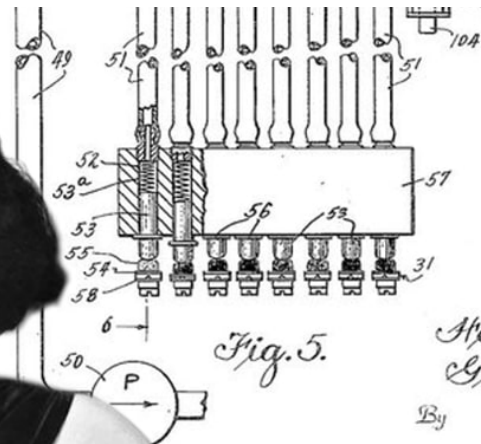
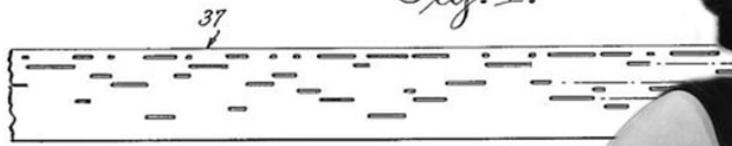
By *Lyon & Lyon*



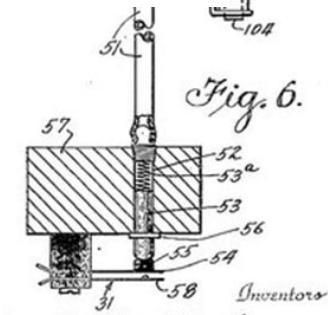
# Hva har en Hollywood diva med trådløs teknologi å gjøre???



*Fig. 4.*

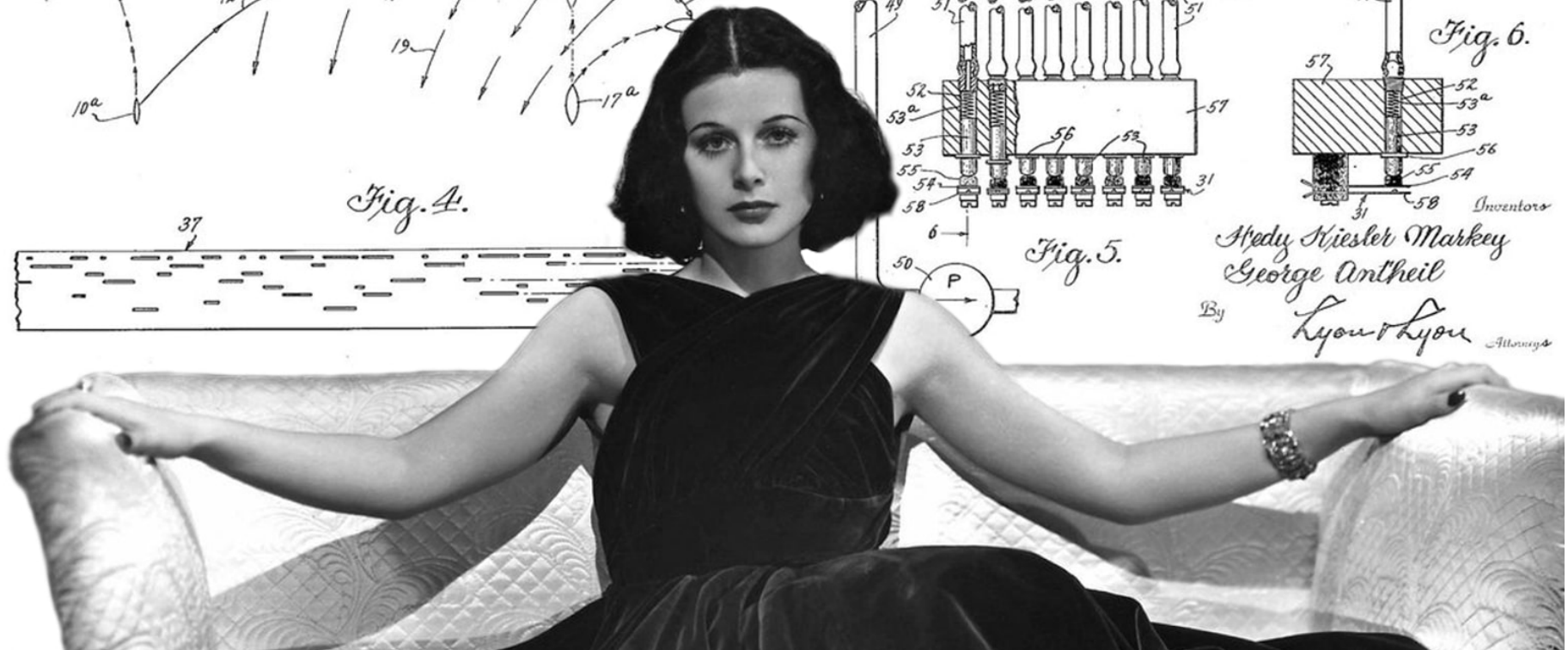


*Fig. 5.*



*Fig. 6.*

Inventors  
*Hedy Kiesler Markey*  
*George Anthelil*  
 By *Lyon & Lyon* Attorneys

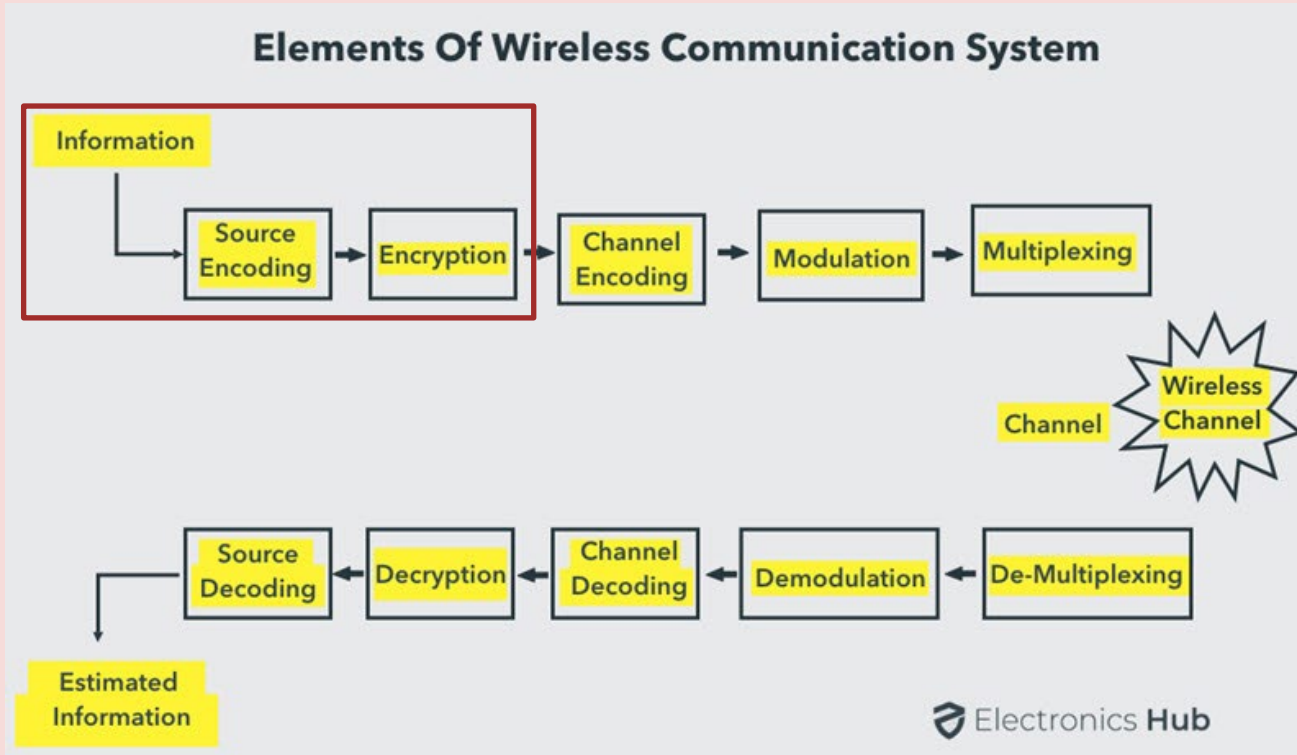






**Hvordan er en radiosender laget?**

# Byggekløssene



# Informasjon

- Informasjonen i dag er *digital!*

## 1 og 0

- Kildekoding* handler hvordan vi koder dataene våre
- Hvis vi ønsker å sende bokstaver – så kan vi bruke ASCII *symboler*

**'a' = 0x61 = "1100001"**

Decimal	Hex	Char
96	60	`
97	61	a
98	62	b
99	63	c
100	64	d
101	65	e
102	66	f
103	67	g
104	68	h
105	69	i
106	6A	j
107	6B	k
108	6C	l
109	6D	m
110	6E	n
111	6F	o
112	70	p
113	71	q
114	72	r
115	73	s
116	74	t



**Lærernes  
dag 2024**

# Hva er binære symboler?

- Vi har en laaaang binær streng vi ønsker å sende... F.eks:

"110011101000010001100011"

- Et symbol kan være et bit: **1** og **0**
- Eller det kan være flere bit... For eksempel 2 bit:

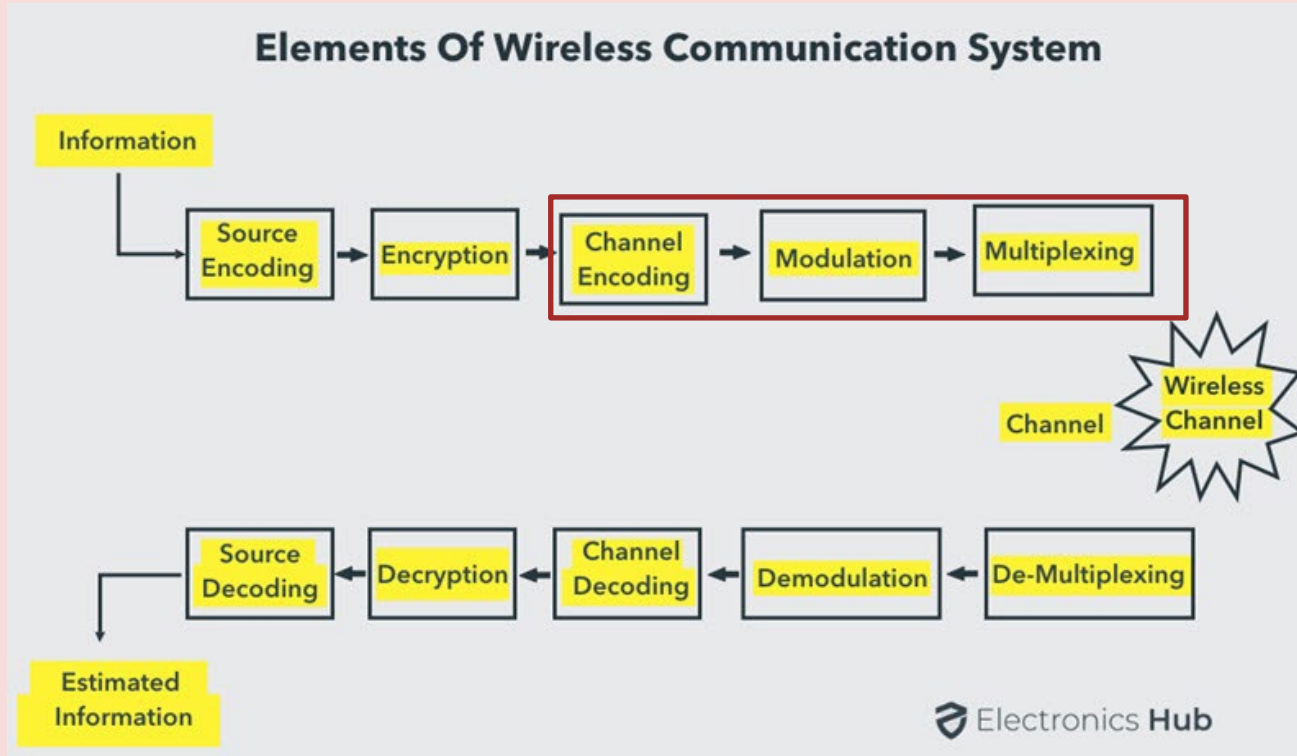
"11|00|11|10|10|00|01|00|01|10|00|11"

- Desto **større** symboler... desto **raskere** overføring!



Lærernes  
dag 2024

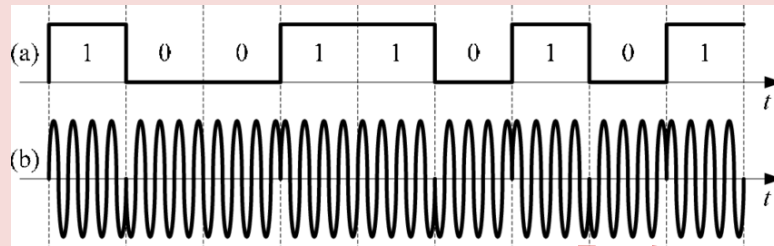
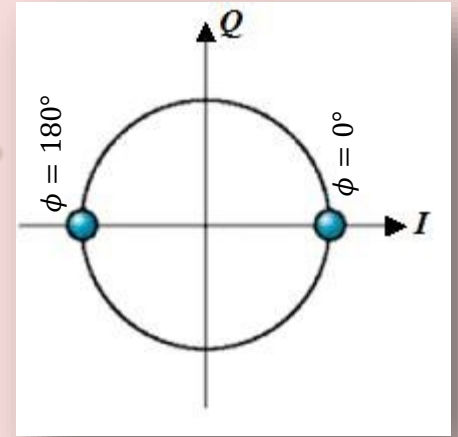
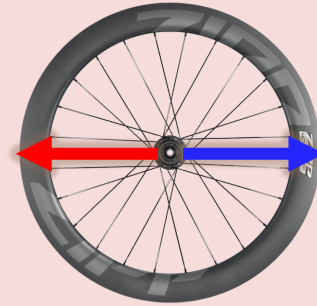
# Byggekløssene





# Kanalkoding

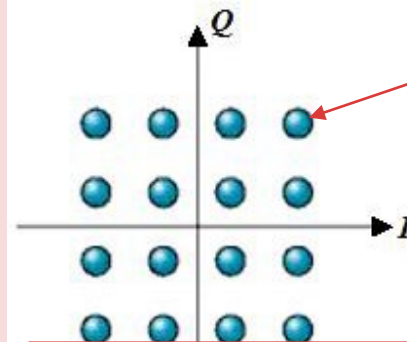
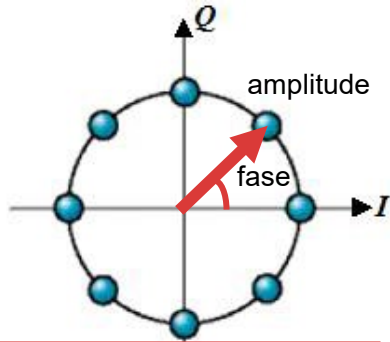
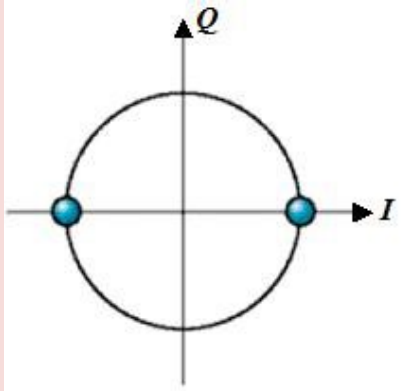
- Binary Phase Shift Keying
    - Fast frekvens
    - Varierer KUN fasen
    - $\phi = 0^\circ \rightarrow 0$
    - $\phi = 180^\circ \rightarrow 1$
- Symbolene er 0 og 1



Fasen skifter!

# Hva om vi varierer fasen OG amplituden

Teoretisk



Et symbol!

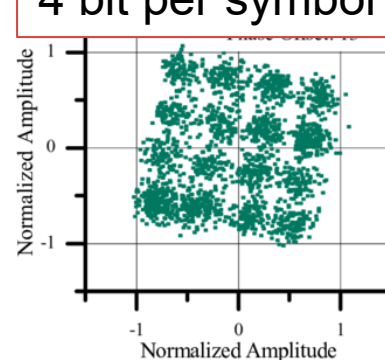
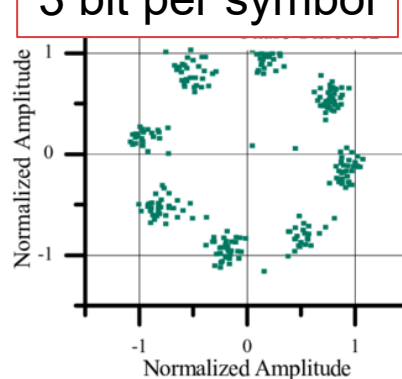
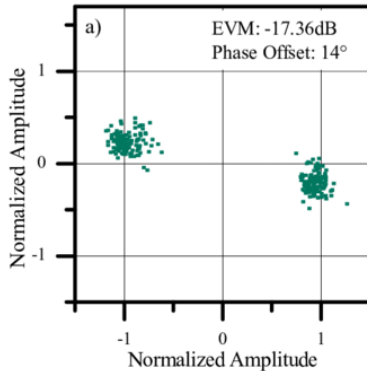
8 symboler

3 bit per symbol

16 symboler

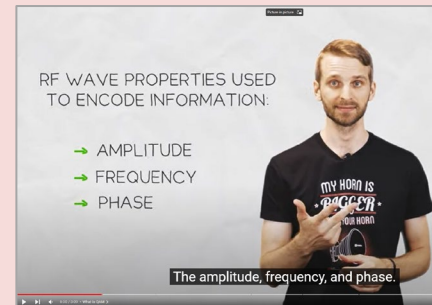
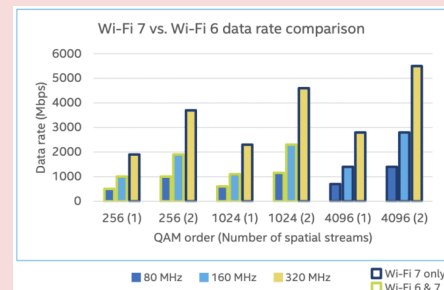
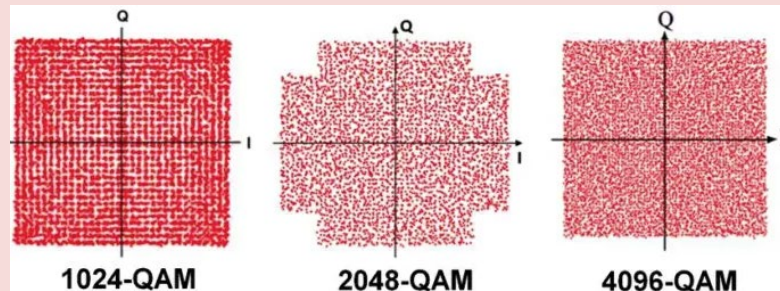
4 bit per symbol

Målt

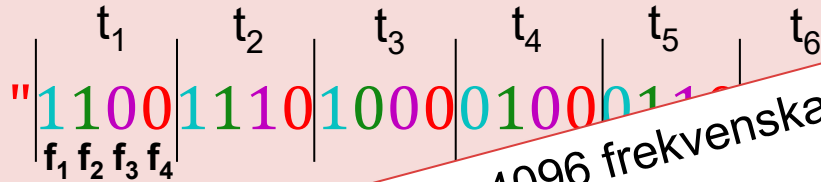


# QAM-4096

- Brukes f eks av WIFI 7
- 12 bits per symbol
  - Kjemperaskt!
- Men... STØY!
- Løsning: *Adaptiv* modulasjon...
  - Blir det for mye støy så bytter vi til lavere modulasjon

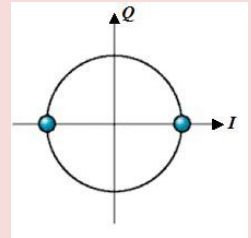
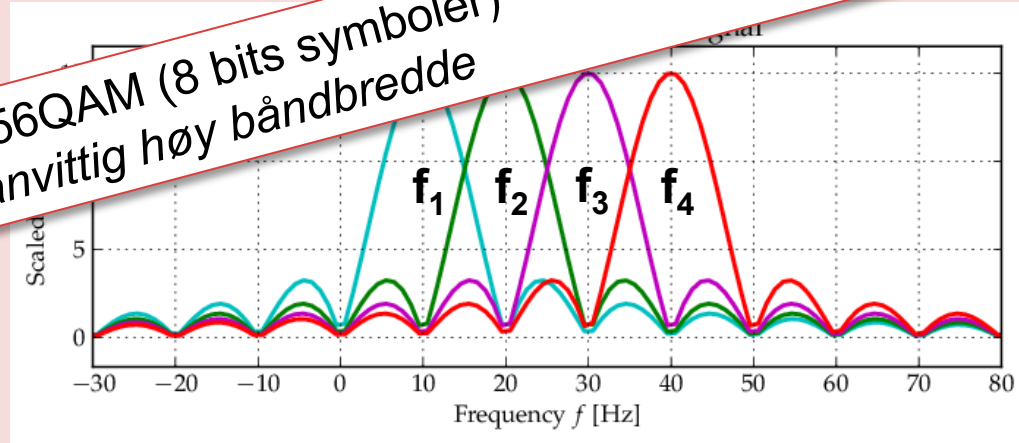


# Vi kan bruke flere frekvenser også!



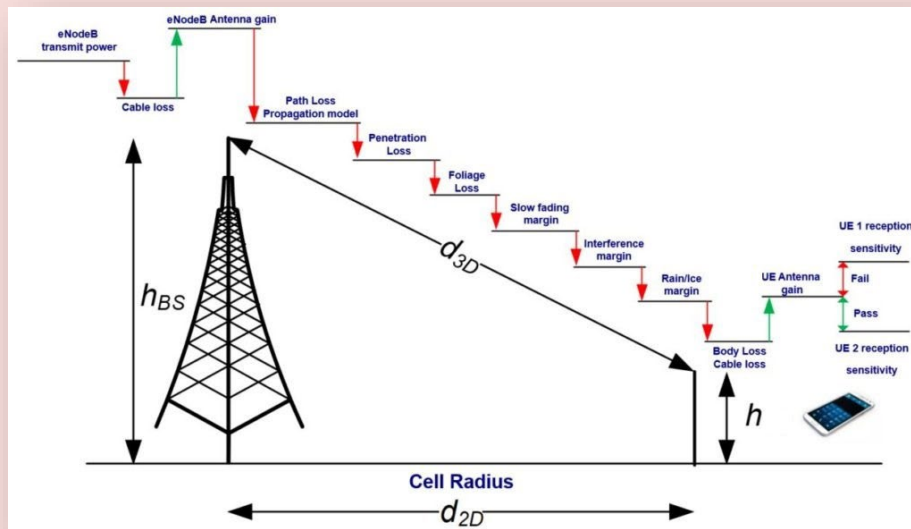
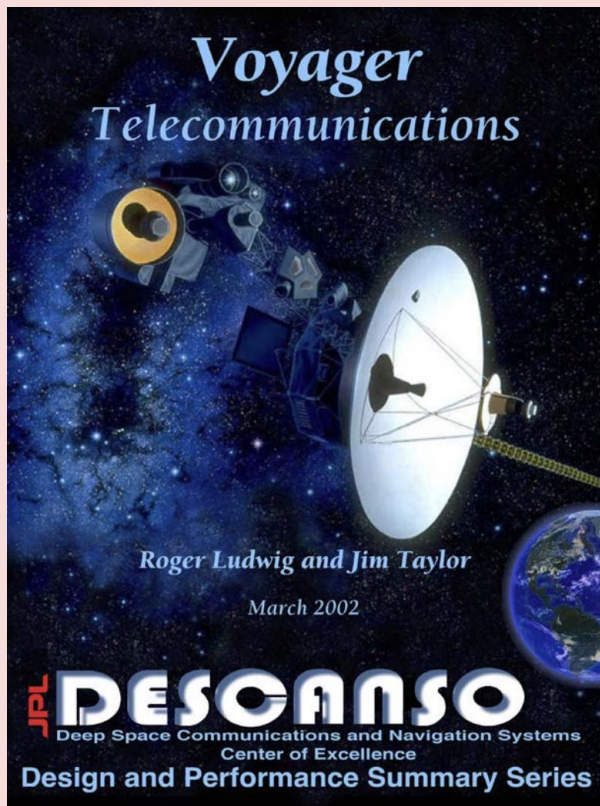
5G: 256QAM (8 bits symboler) – 4096 frekvenskanaler  
 == vanvittig høy båndbredde

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
$t_1$	1	1	0	0
$t_2$	1	1		
$t_3$	1	0		
$t_4$	0	1	0	0
$t_5$	0	1	1	0
$t_6$	0	0	1	1



Lærernes dag 2024

# Så med all denne hastigheten ...hvorfor går det så tregt å sende data fra det ytre rom?



Nøkkelord:

- Linkbudsjett
- Signal til støyforhold
- Bitrate



- Linkbudsjett:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{FS} + G_{RX} = -182.6 \text{ dBW}$$

- Signal til Støyforhold er akkurat godt nok ved 3 dB – oppnås ved datarate 1kbit/s

## Forsinkelse:

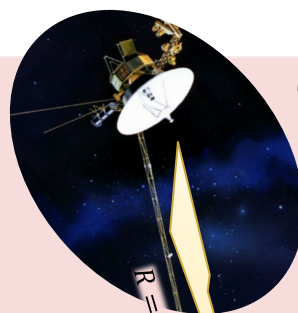
Voyager: 86 400 s

5G: 0.000001 s

- Men hvor lang tid tar det å sende 1 bit til jorden??

$$Tid = \frac{R}{c} = \frac{2.4 \cdot 10^{13} \text{ m}}{3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = \sim 1 \text{ dag!}$$

SIDE 22



$$P_{TX} = 13.4 \text{ dBW}$$

$$G_{TX} = 48 \text{ dB}$$

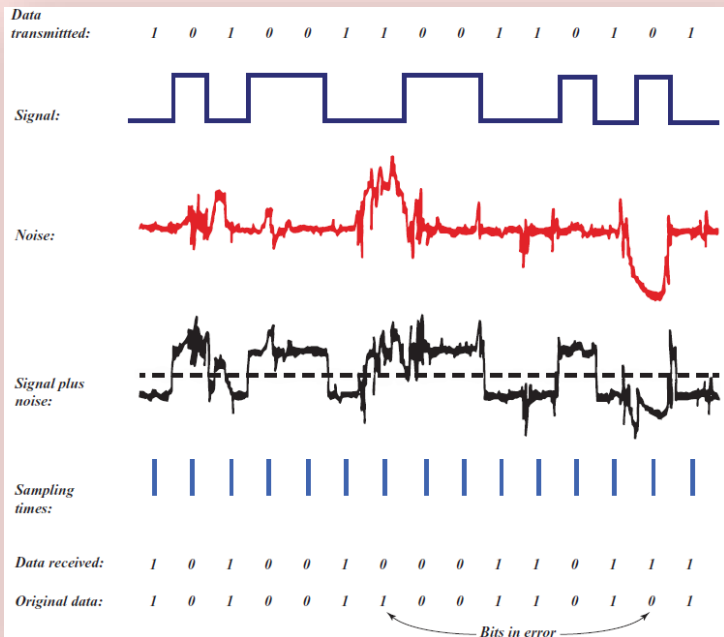
$$L_{FS} = 20 \cdot \log_{10} \left( 4\pi \frac{R}{\lambda} \right) = -317 \text{ dBW}$$

R = 24 milliarder kilometer



$$G_{RX} = 73 \text{ dB}$$

# Litt om støy



## Typiske støykilder:

- Elektroniske apparater (mikrobølgeovner, blåtann, trådløse videokameraer osv)
- Jamming
- Frekvenser forstyrrer hverandre
- Refleksjoner og demping pga bygninger og andre hindringer
- Vær

## Hva kan man gjøre?

- Frekvenshopping
- Tids-interleaving
- Feilkorreksjonskoding
- ...og mye mer



**Uventet støy!**

## Plutselig hørte politiet stemmer og musikk på sambandet sitt

De mystiske lydene kom fra Rolf Lambach (88), som satt og så på TV.



TENKTE PÅ KRIGEN: - Da jeg så mannen med peileutstyr, tenkte jeg på tyskerne som lette etter radioapparater under krigen, sier Lambach, som satt i denne stolen og så på TV da tilsynet ringte på.

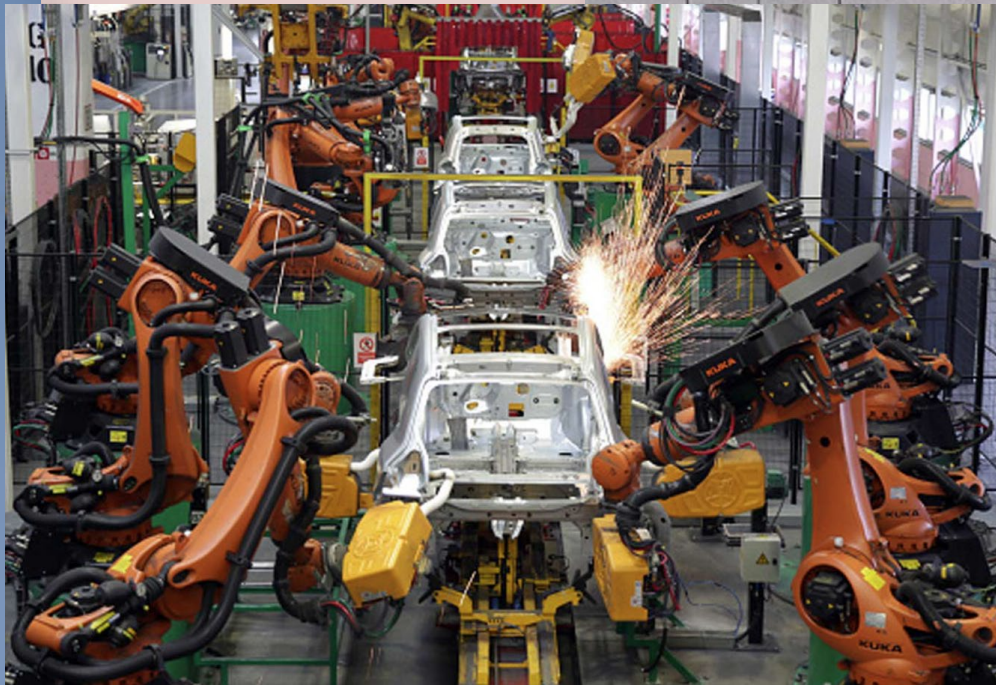
FOTO: RUNE STØLÅS

Av **Rune Stølås**

Publisert: 25. august 2011



# Nikola Tesla og verdens første fjernkontroll

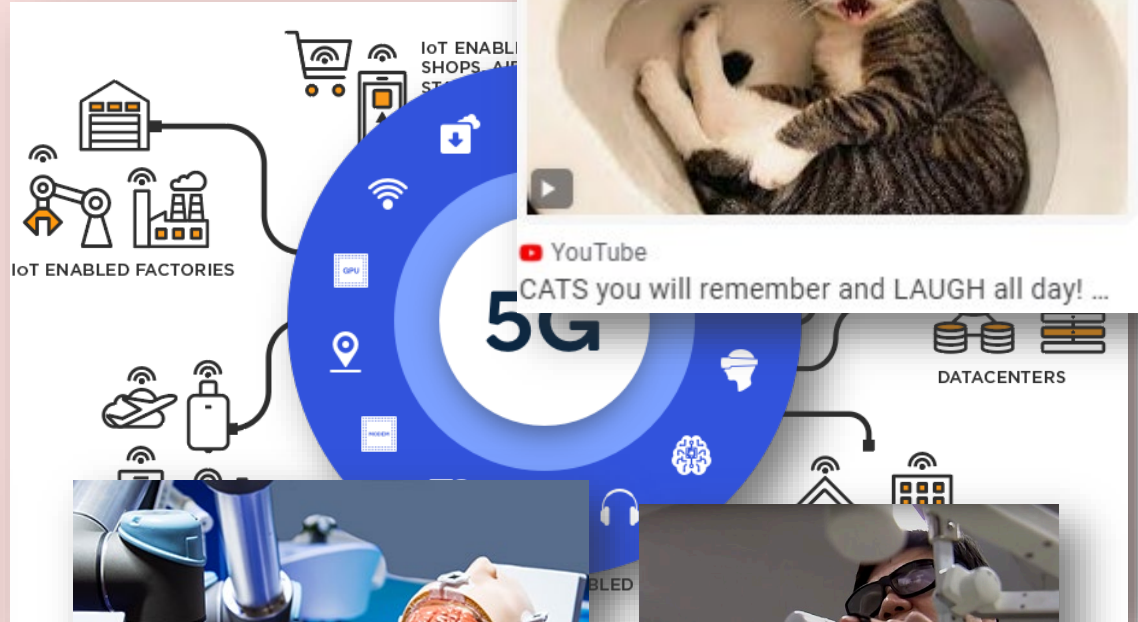


# 5G/6G – hva er fordelene?

- Høy hastighet
  - 500% raskere enn 4G
- Kort responstid
  - 4G: 20-30 ms
  - 5G: 1 ms
  - *Voyager: 1 døgn*



SIDE 28



YouTube  
CATS you will remember and LAUGH all day! ...



# ER 5G FARLIG?

MENINGER STRÅLING HELSE

## Derfor må 5G stoppes!

# NEI

Ingen seriøse studier viser dette

Det er heller ikke farlig med smartmålere, Bluetooth, Zigbee, NFC, ...

**Anbefales:** [Den store 5G-sendinga - Abels tårn - NRK Radio](#)

5G status : [en.hubei.gov.cn/news/newslist/...](https://en.hubei.gov.cn/news/newslist/)

SIDE 29



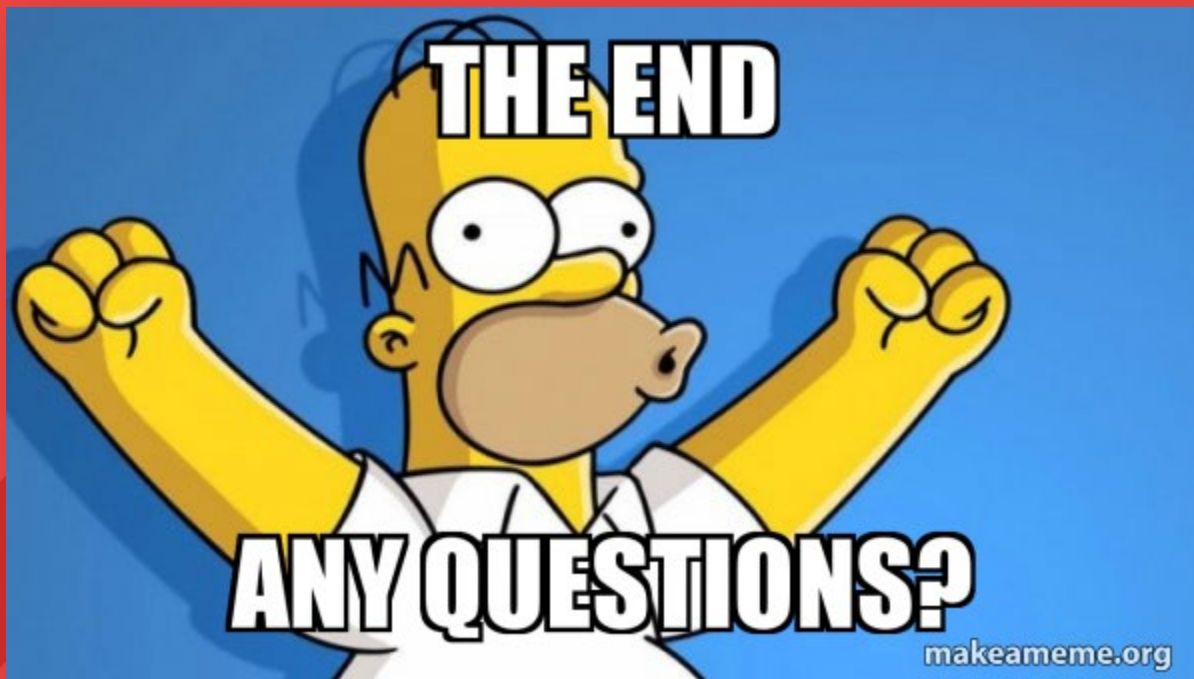
Vi rapporterer fra Trondheim  
Publisert i dag kl. 07:00

Oppslag fra NRK Trøndelag, 10. mai 2023

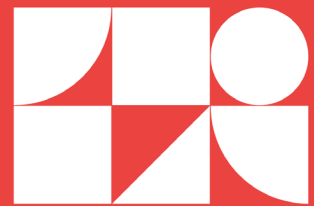
standardforklaringen helt siden jeg var i tenårene.

Artikkelen viser  
til overdreven  
soling, som jo  
har vært

# Takk for oppmerksomheten!



Lærernes  
dag 2024



Lærernes  
dag 2024