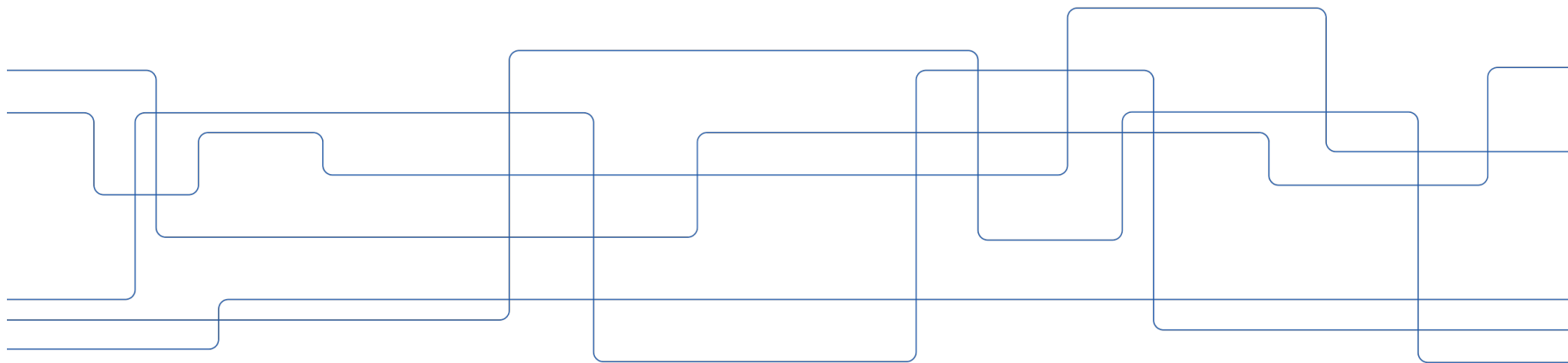




Ultraljudsavbildning – Teknik 1b

Matilda Larsson - matil@kth.se





Vad ska vi lära oss idag?

Lärandemål 2: Uppbyggnaden och principen av teknik och apparatur

- Ultraljudstransducrar
- Beam forming – dynamisk fokusering + Beam steering

Lärandemål 3: Bildkvalitet

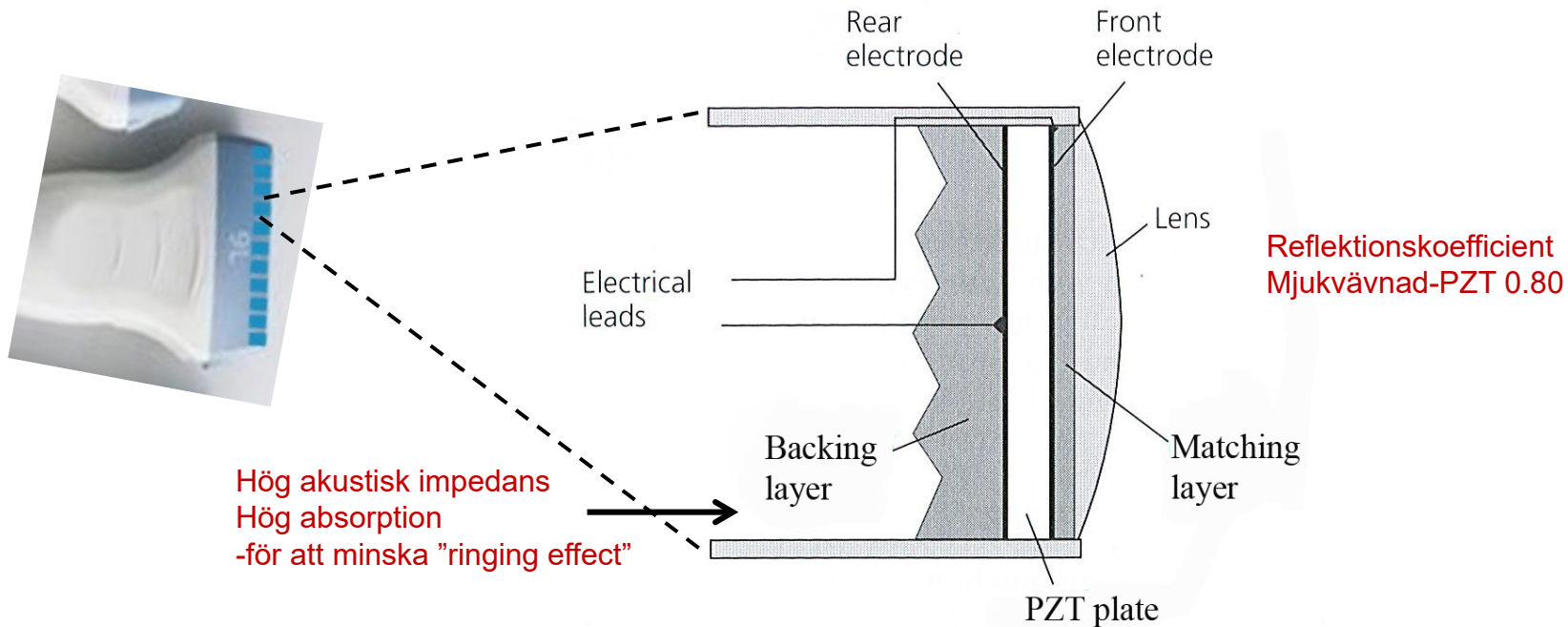
- Kontrast/Spatial/Temporal upplösning
-

Ultraljudstransducers

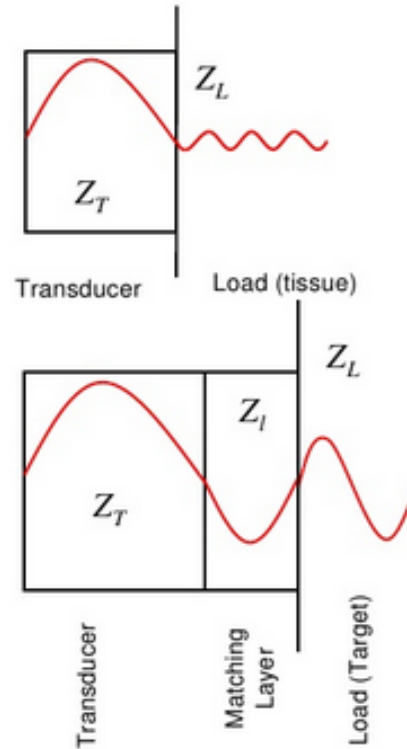


- En transducer består många element/kristaller (ex. 195 st)

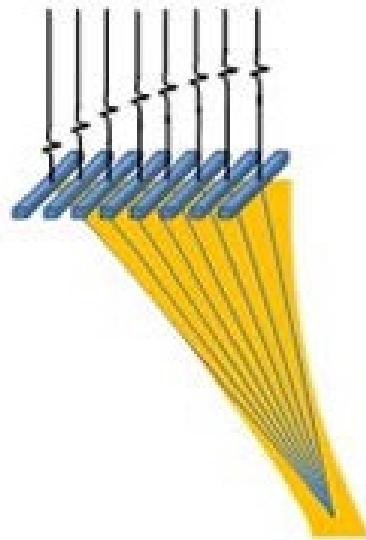
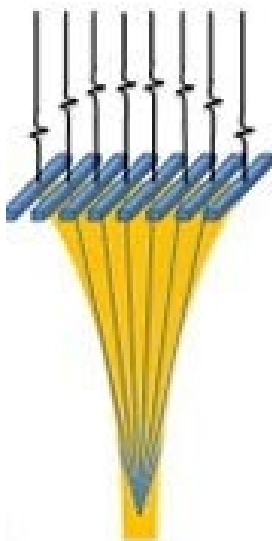
Ultraljudskristall/element



Matching layer



Beam forming / Beam steering

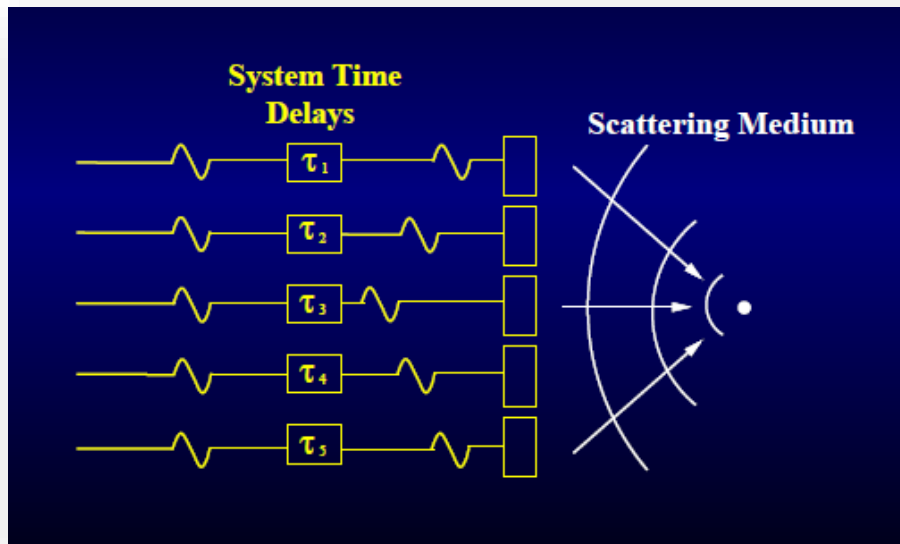


Tidsfördröjningar mellan elementen används för att:

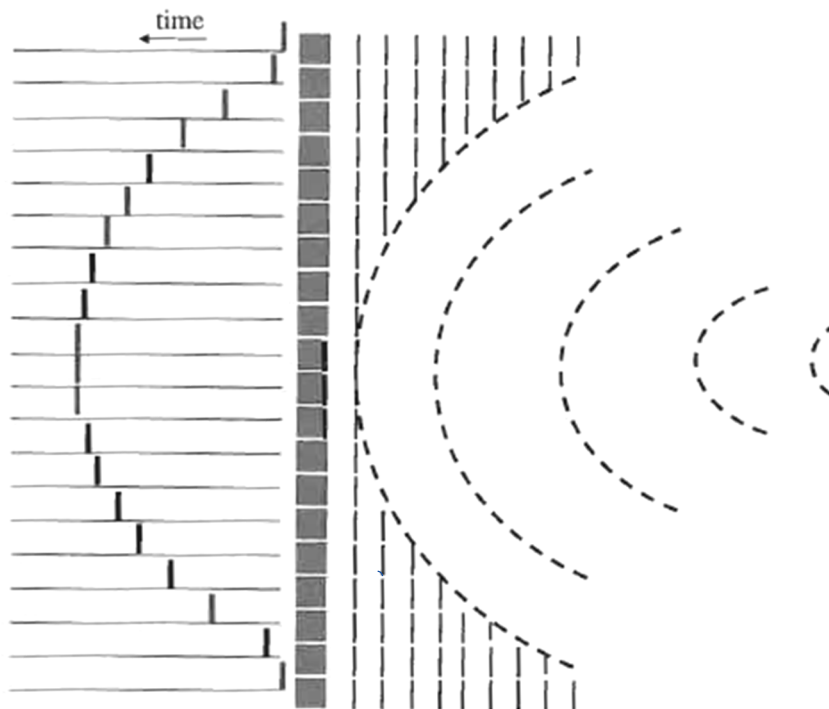
a) bilda en fokuserad stråle på ett visst djup

b) styra strålen i en viss riktning

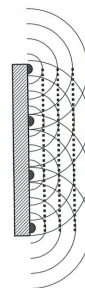
Beam forming - transmit



Beam forming - transmit

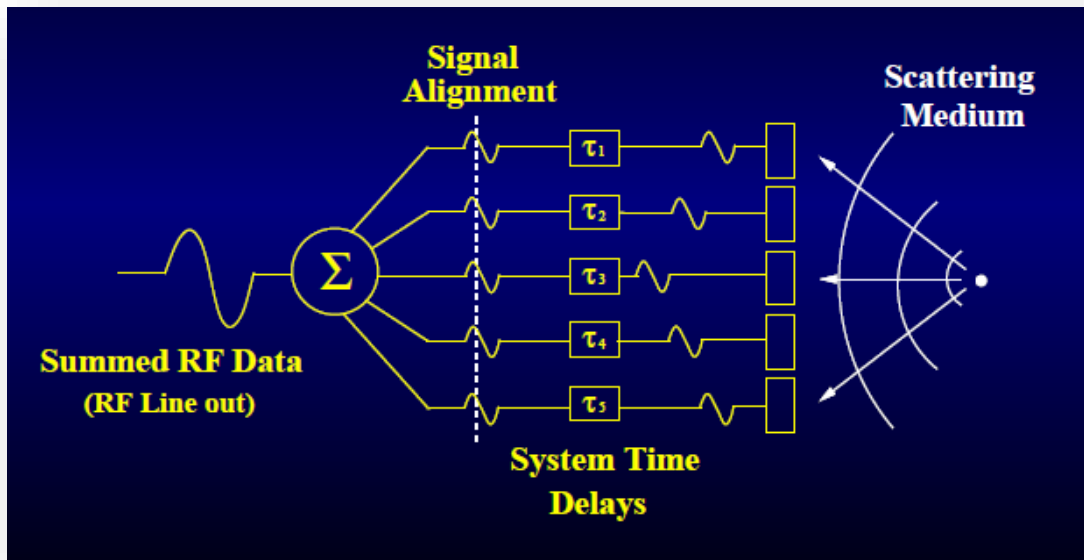


- Ljudvågorna från de enskilda elementen interfererar och en fokuserad puls (lateral fokusering) skapas på ett visst djup

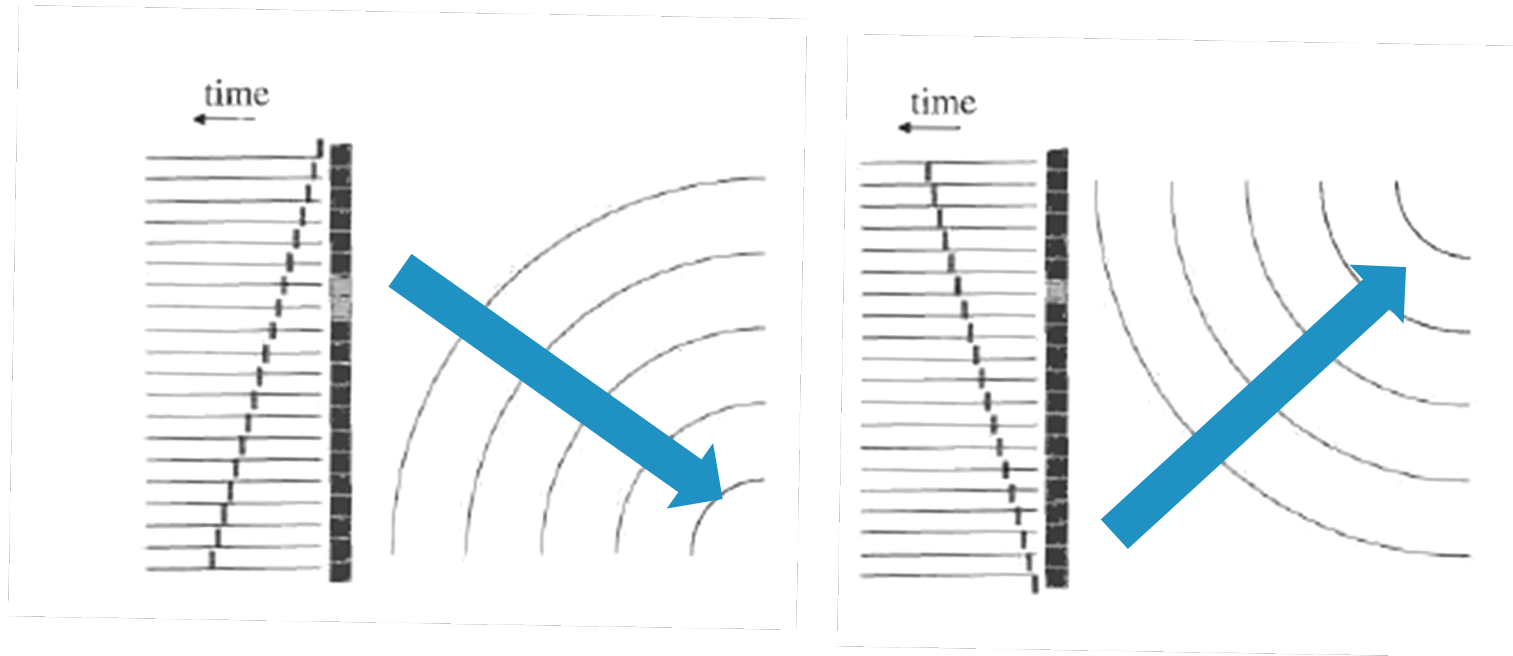


Utan tidsfördröjning
skulle vågen bli bredare

Beam forming - receive



Beam steering

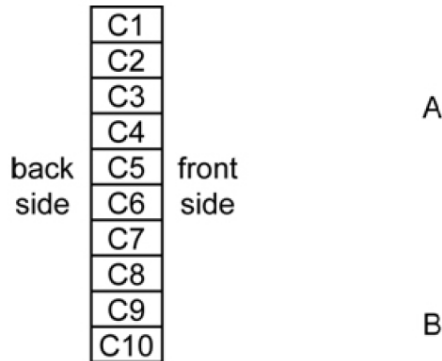


Riktning på ultraljudsvågen



Övning 2.6: I vilken punkt kommer ultraljudspulsen att fokuseras om kristallerna exciteras enligt mönstret nedan då $t = 5 \text{ ms}$?

$[C10] - t - [C9] - t/2 - [C8] - t/4 - [C7] - t/8 - [C1] - t/16 - [C6] - t/32 - [C2] - t/64 -$
 $[C5] - t/128 - [C3] - t/256 - [C4]$





**Hur fungerar olika transducertyper,
vad används de till och varför?**

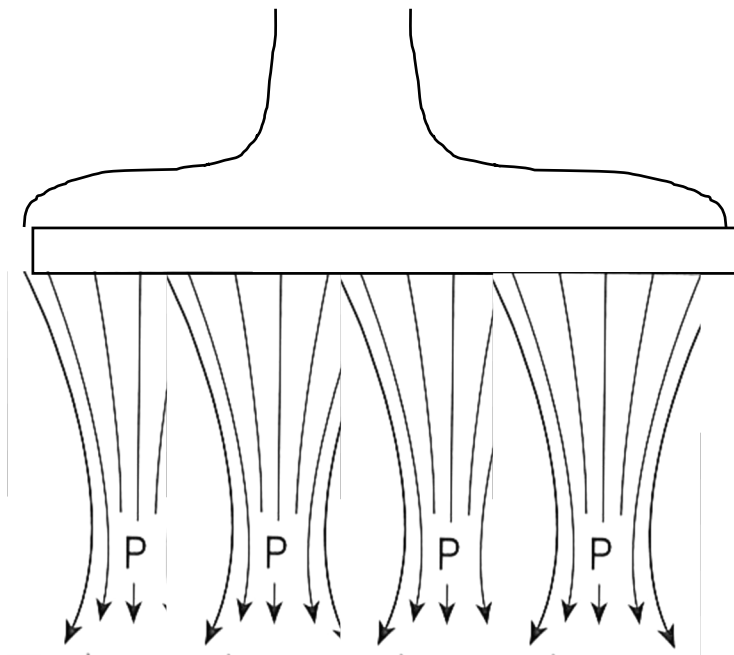
Linjär transducer

- Många element på rad (ex. 128)
- Rak front mot huden



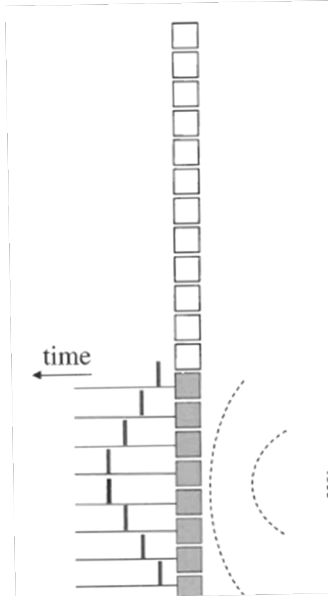
(Jason T Nomura)

Linjär transducer

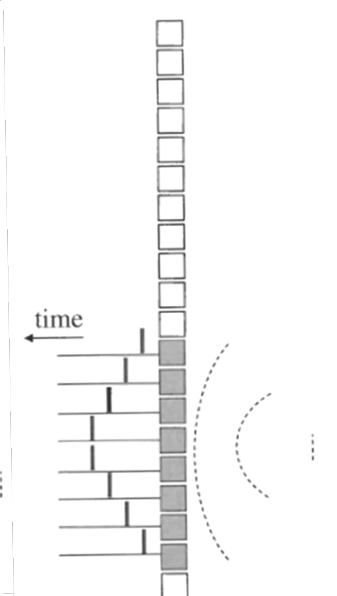


- Gruppvis aktivering av element
- En bildlinje i taget

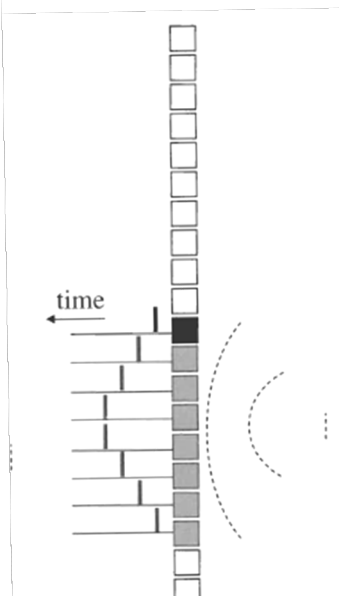
Bildlinje 1



Bildlinje 2



Bildlinje 3



- Elektronisk fokusering

Kurvlinjär transducer

- Som linjär men kurvformad front



(Jason T Nomura)

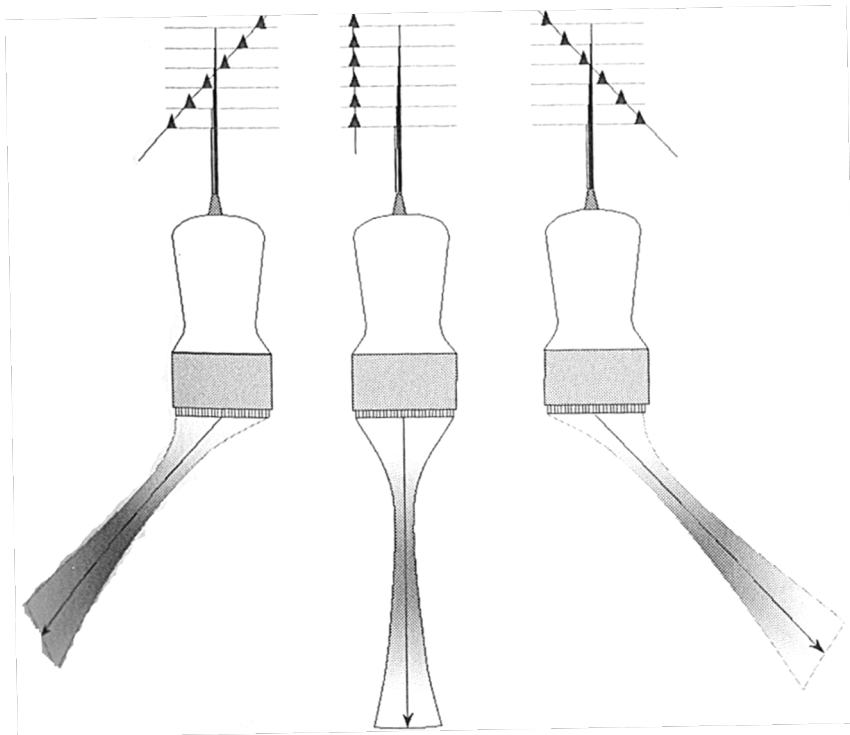
Phased array transducer

- Färre element än linjär transducer
- Smalare transducer front
- Aktivering av alla element



(Jason T Nomura)

Phased array transducer



- Elektronisk fokusering + styrning av strålen (beam steering)

Attenuering

- Gradvis intensitetsminskning när vågor propagerar i ett medium
- Bestäms av hur ljudet **absorberas** och **sprids** i ett medium

Lång propagationssträcka  hög attenuering

Frekvens (MHz)	Attenueringskoeff för mjukvävnad (dB/cm)	Intensitetsminskning /cm (%)
2	1	21
5	2.5	44
10	5	68

hög frekvens  hög attenuering

- För medicinsk avbildning används frekvenser mellan ca 1MHz – 40 MHz

Kurvlinjär transducer

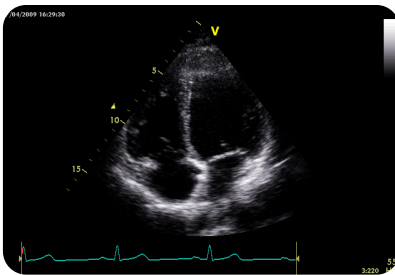
Fosterdiagnostik

3,5 MHz - 7 MHz
Bilddjup: 5-20 cm
Kurvlinjär transducer



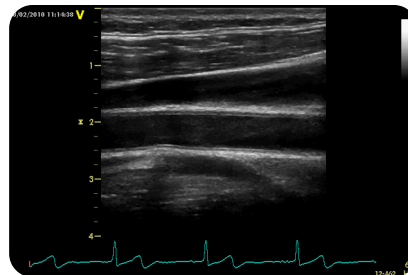
Hjärta

2 MHz - 8 MHz
Bilddjup: 10-20 cm
Phased array

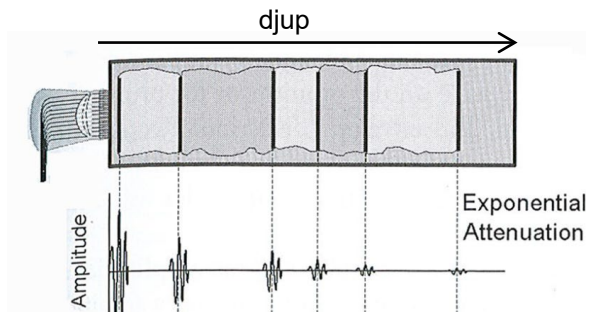


Kärl

8 MHz - 15 MHz
Bilddjup: 3 cm
Linjär transducer



Time-Gain Compensation



Attenuering → Ekon från strukturer på stort djup blir svagare

TGC används för att **kompensera för attenueringen**

TGC = Förstärka ekon från djupa strukturer mer än ekon från ytliga strukturer



Vad är bildkvalitet?

Kontrastupplösning

- Förmåga att återge kontrastskillnader

Spatiell upplösning (Rumslig upplösning)

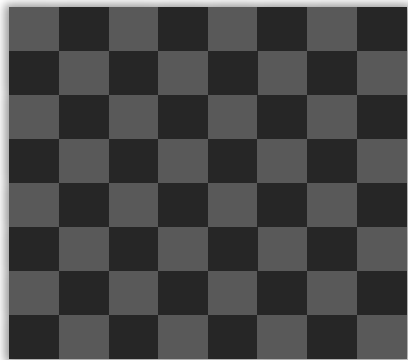
- Förmåga att upplösa små strukturer i bilden

Temporal upplösning (Bilduppdateringsfrekvens – fram rate)

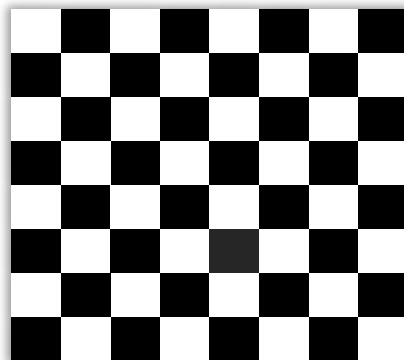
- Antal bilder per sekund
 - Förmåga att urskilja snabba tidsförlopp
-

Kontrastupplösning

- Förmåga att återge objektkontrast - skillnad i gråskaleintensitet mellan olika objekt
- "Dynamic range" (DR) är intervallet mellan lägsta och högsta ljudintensiteten som kan visas (vanligtvis 40-60dB)
- Ju större DR, desto bättre kontrastupplösning (måste kunna detektera både starka och svaga ekon)
- DR kan justeras manuellt av operatören
- Ultraljud har bra kontrastupplösning av t.ex. mjukdelar



LÅG kontrastupplösning



HÖG kontrastupplösning

Spatiell upplösning

- Förmåga att upplösa små strukturer i bilden



High Spatial
Resolution

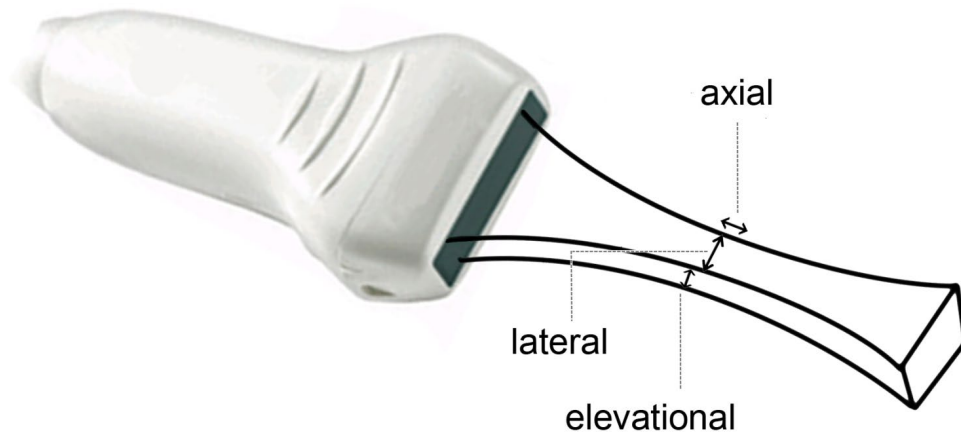


Medium Spatial
Resolution



Low Spatial
Resolution

Spatiell upplösning



Axiell upplösning - längs strålen

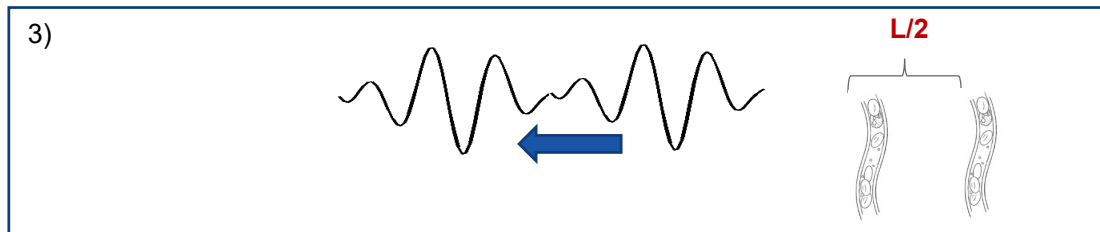
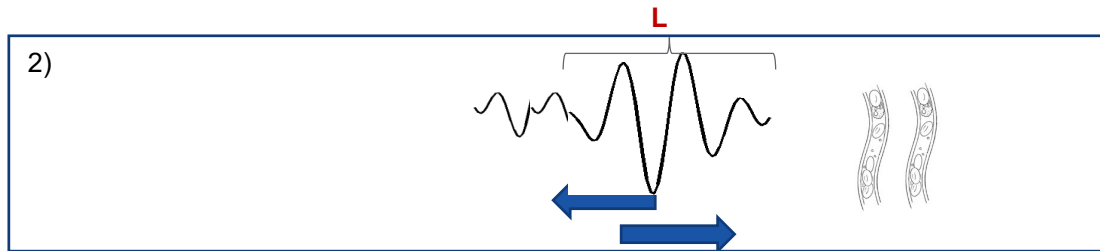
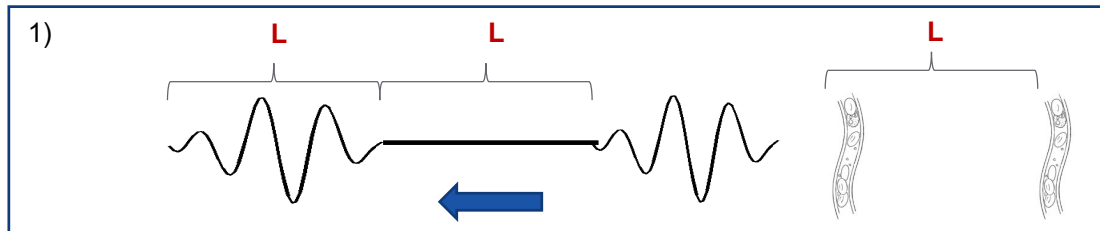
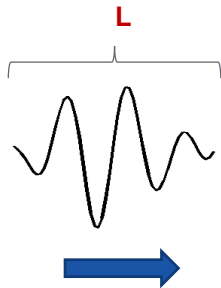
Lateral upplösning - vinkelrätt mot strålen

Elevationsupplösning - i bildens djup

Axiell upplösning

- Förmåga att separera två gränsskikt längs en bildlinje → **pulslängdsberoende**

L = spatial pulslängd



$$\text{Axiell upplösning} = \frac{\text{spatial pulslängd}}{2}$$



Vad beror pulslängden av?

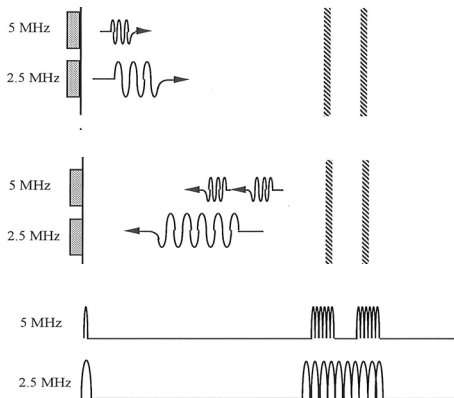
- Våglängd (frekvens)
- Dämpning

$$\text{Spatial pulslängd (mm)} = \boxed{n} \times \boxed{\lambda}$$

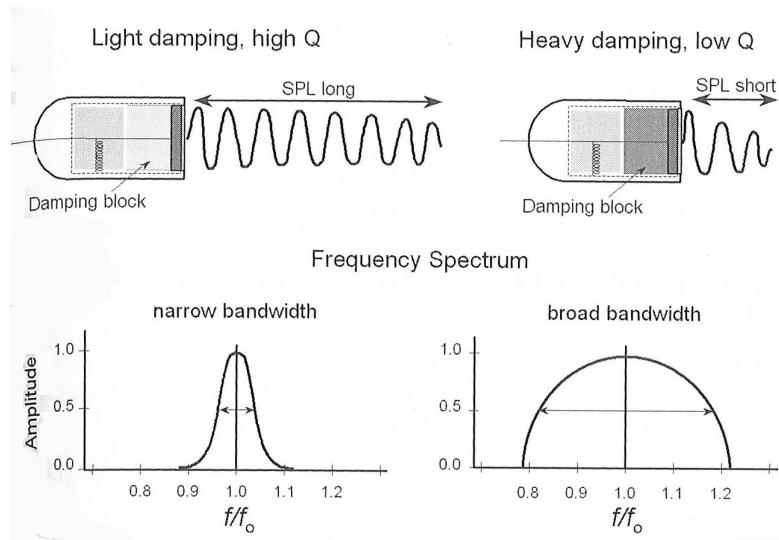
n = antal cykler, λ = våglängd

Axiell upplösning

- Våglängd – vald frekvens på utsända ultraljudet
- Dämpning - Hur ljudet som skickas ut dämpas



Högre frekvens → kortare våglängd → högre axiell upplösning



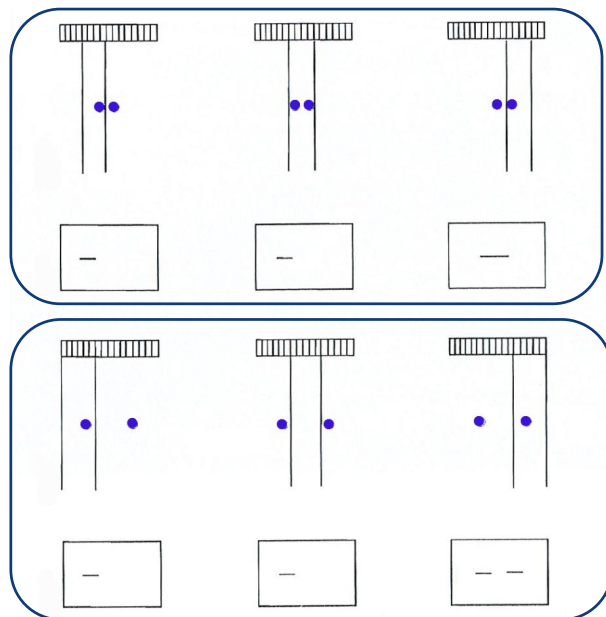
$$Q = \frac{f_0}{\text{Bandwidth}}$$

Hög dämpning → få antal cykler (n) → högre axial upplösning

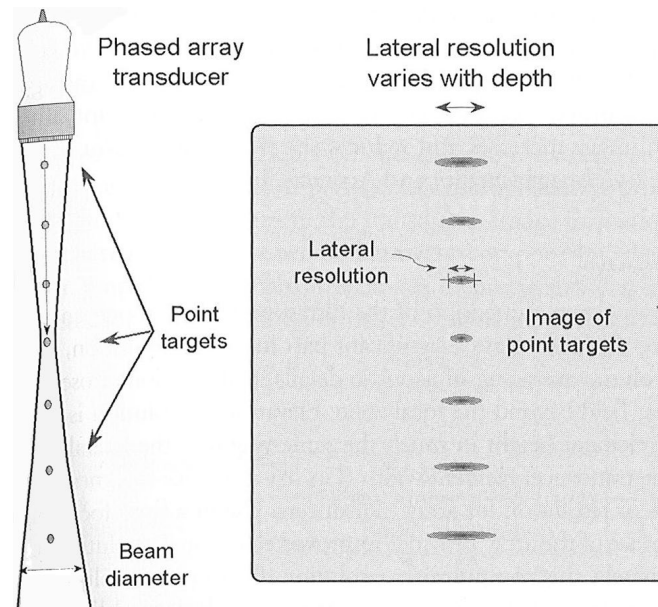
n = 3 i moderna transducrar

Lateral upplösning

- Förmåga att separera två strukturer bredvid varandra på samma djup
- Strålens bredd i lateral riktning
- Antal strålar per centimeter



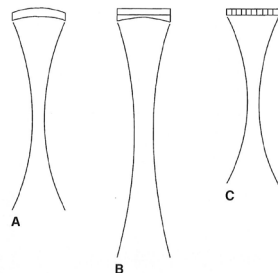
Lateral upplösning varierar längs den fokuserade strålen



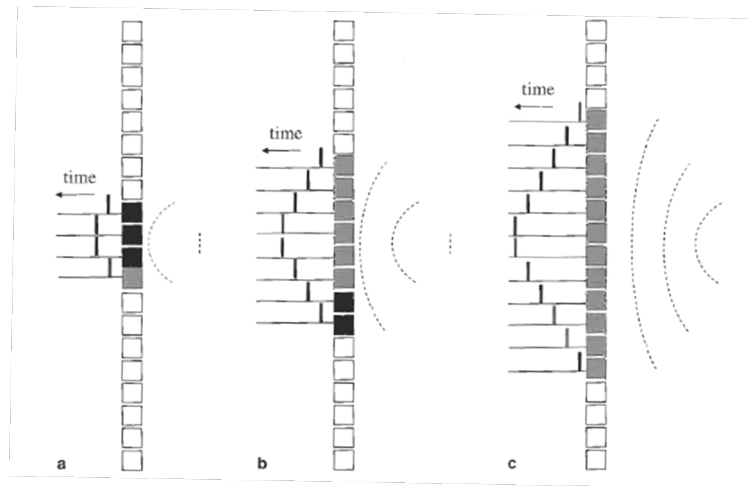
Fokusering

Olika sätt att fokusera

- A) Kurvformade transducerelement (single crystal)
- B) Akustisk lins – refraction
- C) **Elektronisk fokusering**
- Tidsfördröjning

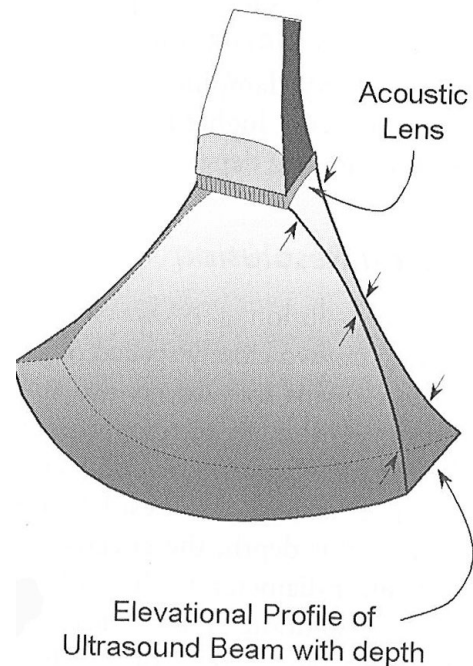


- Fokuserad stråle ger bättre lateral upplösning på ett visst djup
- Elektronisk fokusering kan utföras på flera djup genom att ändra aperturen (antal aktiva element) -> **Dynamisk fokusering**



Elevationsupplösning

- Tjockleken på strålen vinkelrätt mot bildplanet, "slice thickness"
- Kan förbättras genom fokusering
- Traditionellt en fix upplösning med en cylindrisk akustisk lins
- Nyare transducrar även elektronisk fokusering i detta plan





Vad bestämmer temporal upplösning?

- Ljudhastigheten i vävnad
- Antal linjer i bilden
- Bildens djup
- Hur många fokusdjup man har

Lär er inte formeln utan lär er
förstå hur en bild byggs upp!

Maximal frame rate (FR) med ett fokusdjup

$$FR_{max} = \frac{1}{13 \cdot 10^{-6} \cdot N \cdot D} \text{ Hz}$$

N, antal linjer i bilden, D bilddjupet i cm, 13μs är tiden det tar för ljudet att gå 1cm fram och tillbaka när c = 1540 m/s

Övning 3.9: Två ultraljudsbilder tas på samma objekt med olika inställningar. De inställningar som inte anges antas vara samma för de två bilderna.

Vilken bild (A eller B) har bäst:

- a) axiell upplösning?
- b) lateral upplösning?
- c) temporal upplösning

Bild A

Transducer: linjär
Centerfrekvens: 8 MHz
Antal cykler i pulsen (n): 7
Bilddjup: 4 cm
Bildbredd: 4 cm
Antal strålar i bilden: 200
Antal fokuspunkter: 3

Bild B

Transducer: linjär
Centerfrekvens: 4 MHz
Antal cykler i pulsen (n): 3
Bilddjup: 8 cm
Bildbredd: 2 cm
Antal strålar i bilden: 100
Antal fokuspunkter: 1