

Ultraljudsavbildning

Teknik

Föreläsning 1

Matilda Larsson

matil@kth.se

Kursens lärandemål

1. Förklara och tillämpa de fysikaliska processerna som ligger till grund för avbildning
2. Redogöra för uppbyggnaden och principen av bildgivande tekniker och apparatur
3. Redogöra för modaliteternas bildkvalitet
4. Redogöra för modaliteternas för- och nackdelar ur ett kliniskt och tekniskt perspektiv

Lärandemål Ultraljud

- Vad ultraljud är, dess egenskaper samt hur det breder ut sig i ett medium
- Hur ultraljud genereras och detekteras inom medicinsk avbildning
- Interaktion mellan ultraljud och vävnad
- Hur en ultraljudsbild skapas med utgångspunkt från beamforming och vävnadsinteraktion
- Hur gråskalebilden skapas från den detekterade RF-signalen
- Hur kontrast skapas i ultraljudsbilder
- Vad som bestämmer pixelintensitet i en ultraljudsbild
- Vad temporal och spatiell upplösning i en ultraljudsbild är och vad som bestämmer upplösningen
- Hur bildkvaliteten (kontrast, temporal och spatiell upplösning) kan förbättras i en ultraljudsbild
- Ingående delar i en ultraljudsutrustning samt deras funktion
- Hur rörelse- och deformationsanalys fungerar inom ultraljudsavbildning samt olika teknikers för- och nackdelar
- Hur parameterval i ultraljudsutrustningen påverkar bildkvaliteten
- Hur man kan mäta bildkvalitet i en experimentell uppställning
- Säkerhetaspekter kopplat till ultraljudsavbildning
- Den kliniska nyttan av ultraljudsavbildning samt redogöra för vilka kliniska situationer som ultraljud är en lämplig avbildningsmetod
- Hur ”harmonic imaging” inom ultraljudsavbildning fungerar och varför man använder det
- Vilka artefakter som kan uppstå vid ultraljudsavbildning och varför de uppstår
- Olika tekniker för att avbilda med ultraljud i tre dimensioner (endast översiktligt)
- Ultraljudsteknikens styrkor och svagheter i jämförelse med andra tekniker

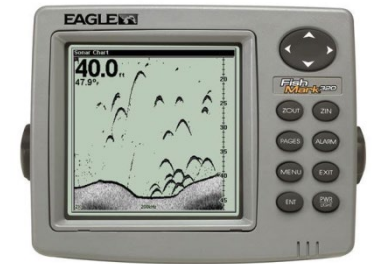
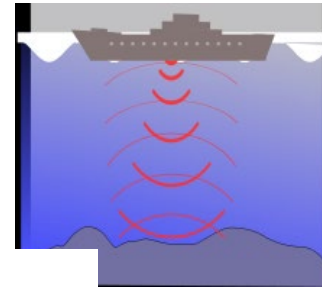
Vad ska vi lära oss idag?

Del 1

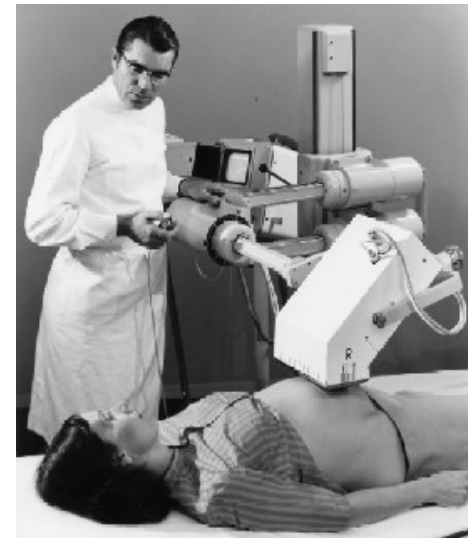
- Introduktion
- Vad är ultraljud?
- Hur genereras/detekteras ultraljud?
- Vad händer med ultraljud i vävnad? (+ÖVNING)
- Hur skapas en ultraljudsbild?

Introduktion

- Fladdermöss och delfiner
- Industriella tillämpningar
- Ekolod
- Medicinska tillämpningar
 - Terapi
 - Avbildning**



1953



1965 Philips



Sonografi

"Att avbilda med ljud"

Sänder ultraljud – lyssnar på ekot

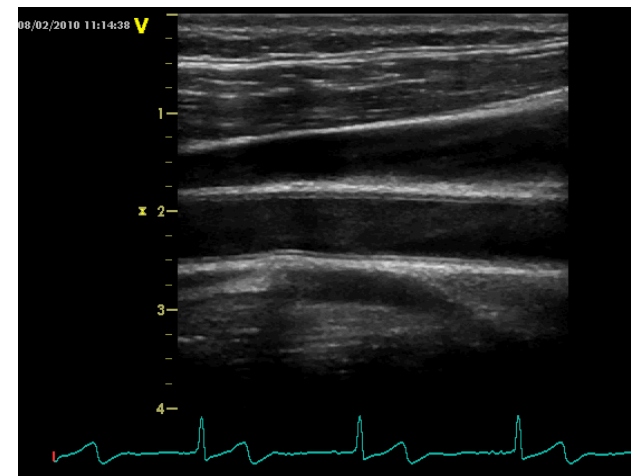
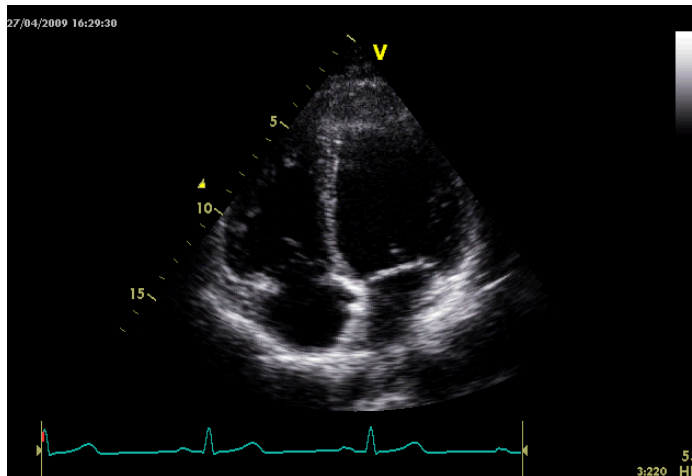
Vad kan avbildas?

Mjukvävnad, organ och flöden

Fosterdiagnostik



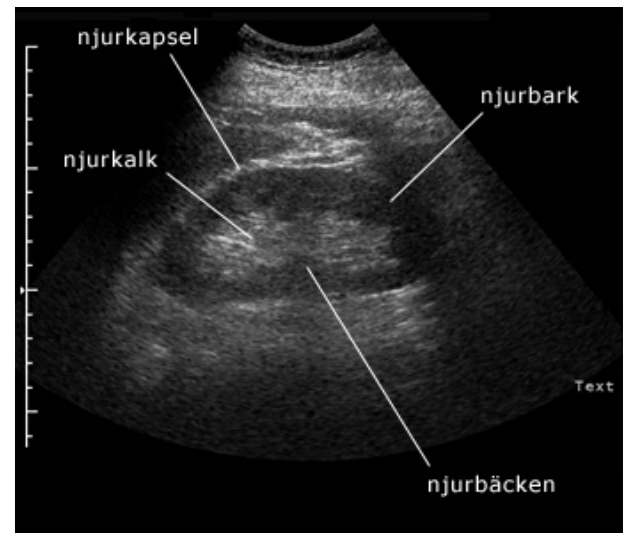
Hjärt-kärldiagnostik



Gynekologi



Njurdiagnostik



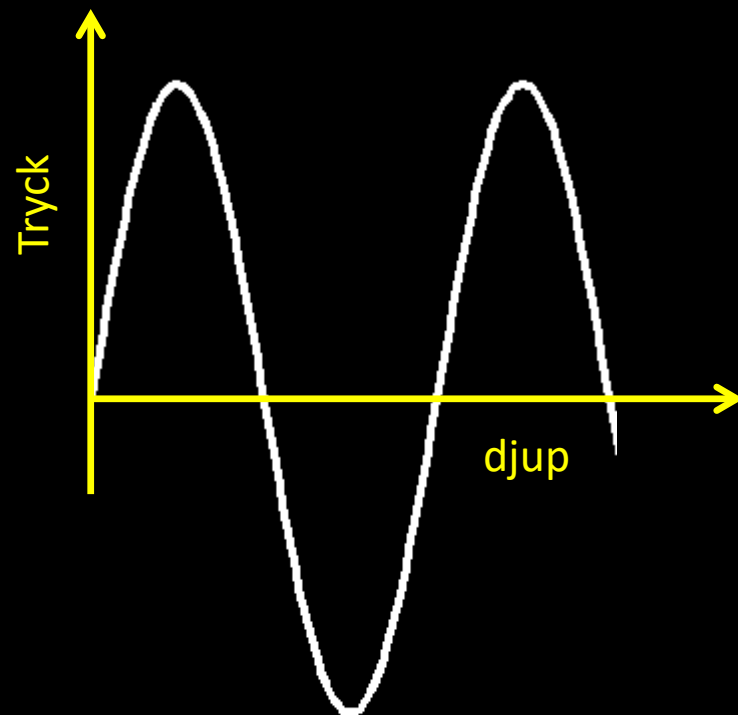
Fråga 1

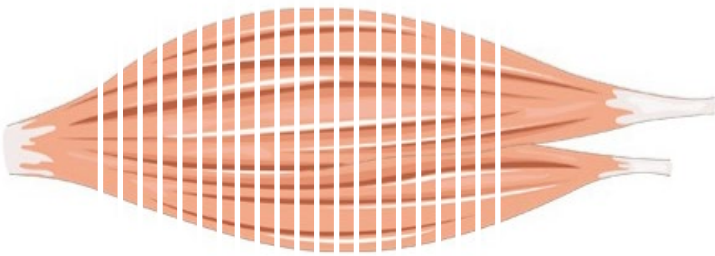
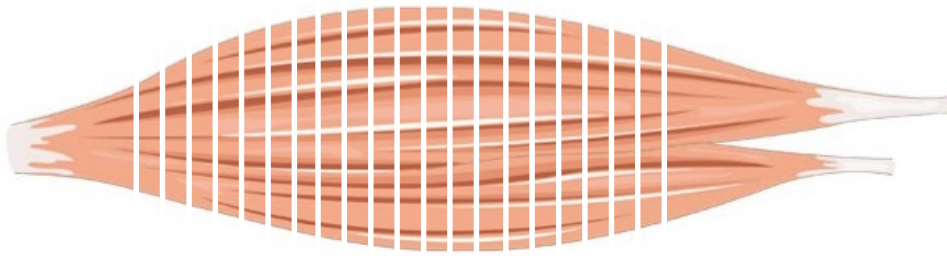
Vad är ultraljud?

- A) Ultraljud är en mekanisk våg som kan propagera i vakuum
- B) Ultraljud är en transversell våg som utbreder sig i ett medium, alltså i gas, vätska eller fast ämne
- C) Ultraljud är en longitudinell våg som förflyttar materian i det mediet som den utbreder sig i
- D) Ultraljud är en våg som svänger vinkelrätt mot dess utbredningsriktning och skapar tryckförändringar i mediet som den propagerar i

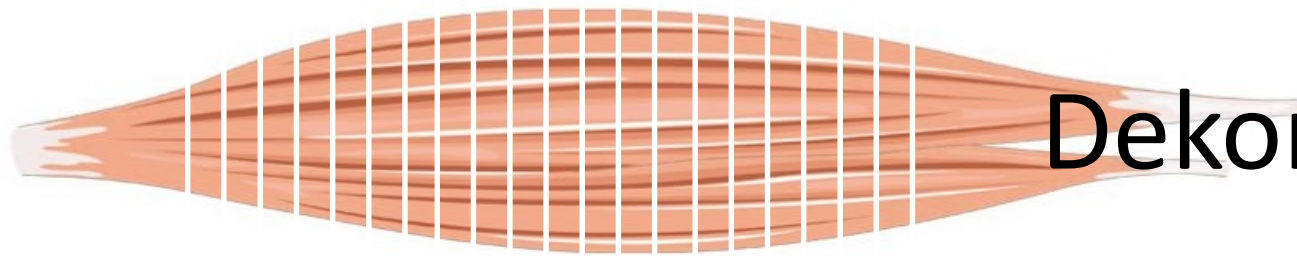
Ljudvågor med $f > 20 \text{ kHz}$

Mekaniska vågor
Longitudinella vågor

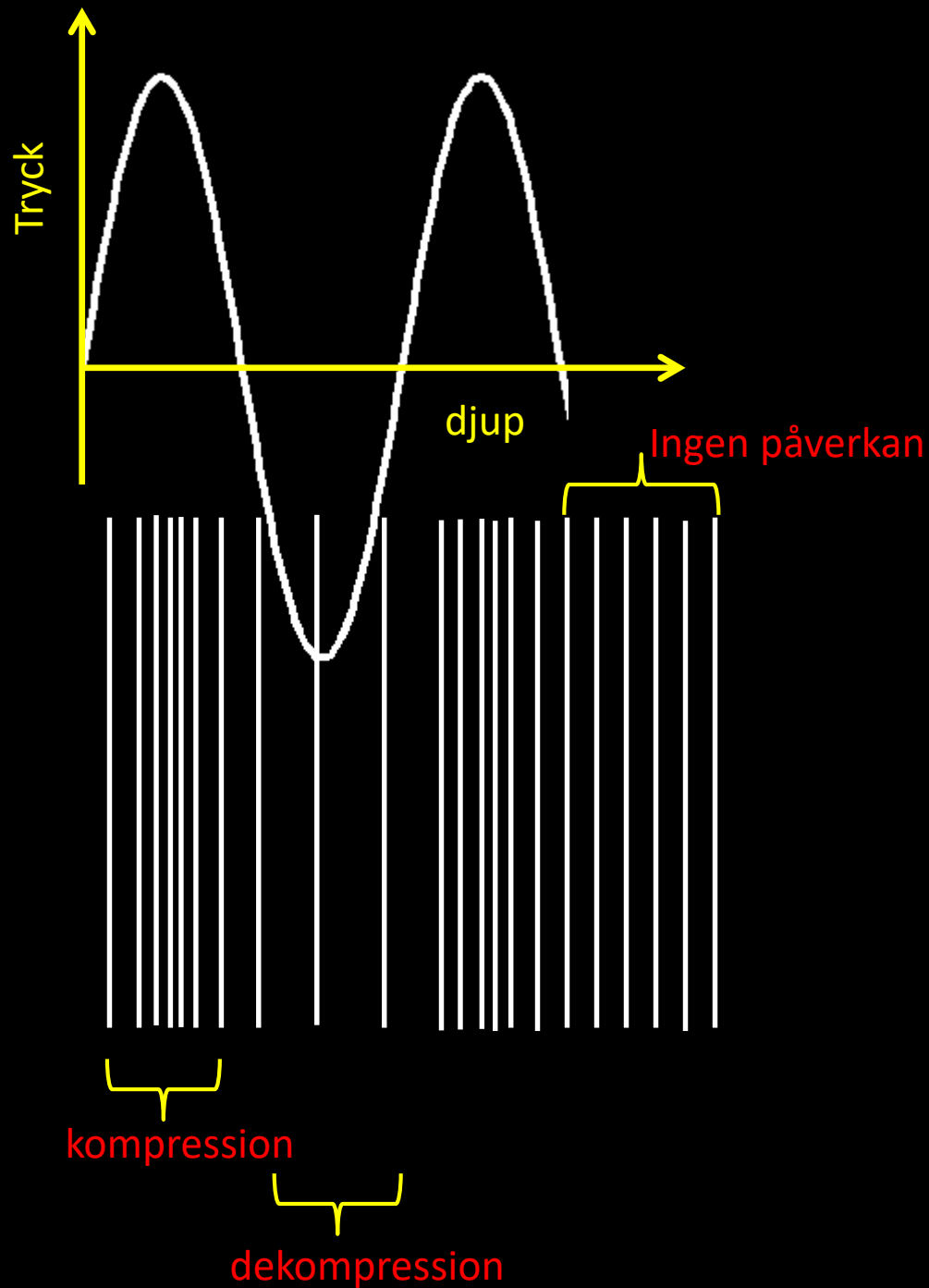




Kompression

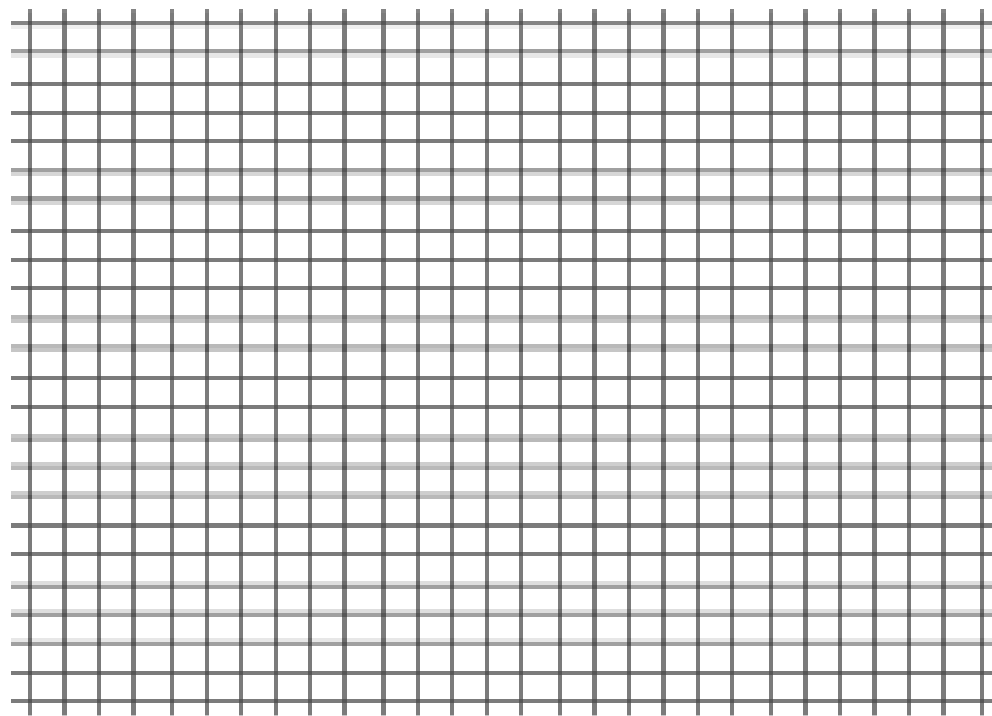


Dekompression

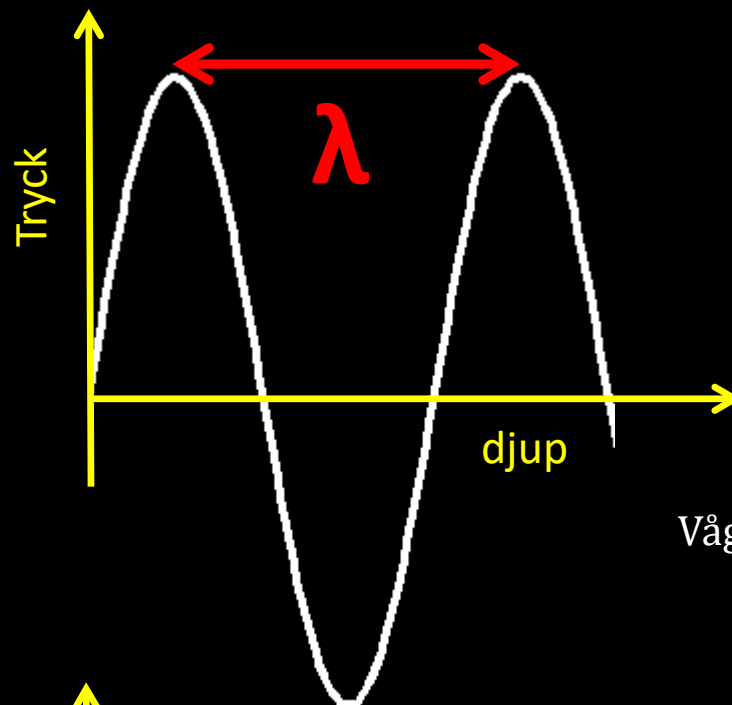


Intensitet $\sim$ tryck i kvadrat

$$I \sim P^2$$



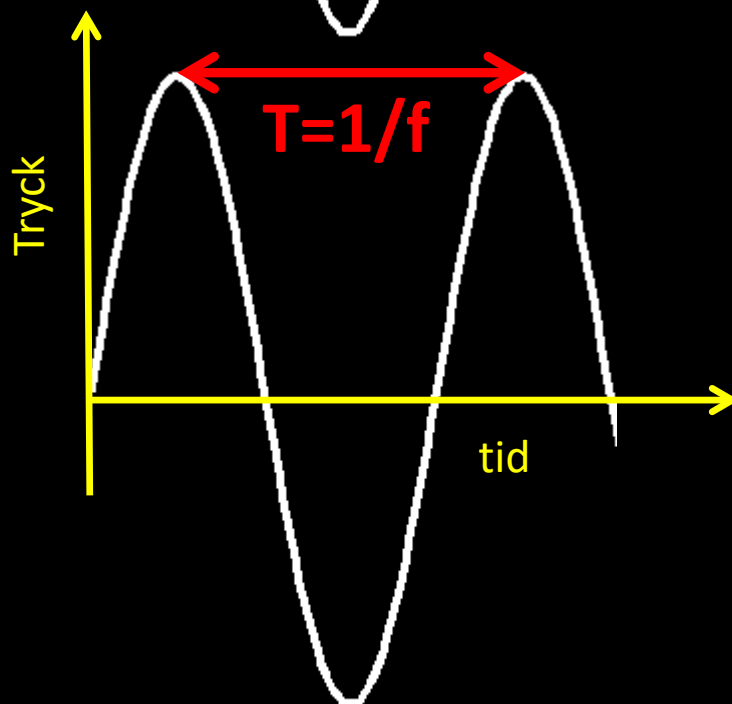
Rumsdomän



Våglängd $\times$ frekvens = ljudhastighet

$$\lambda f = c$$

Tidsdomän



Varför kallas ultraljudsekot ofta RF-våg?

- Mekanisk våg och inte elektromagnetisk våg
- Med frekvens i radiofrekventa spektrumet
(10 kHz till 300 GHz)

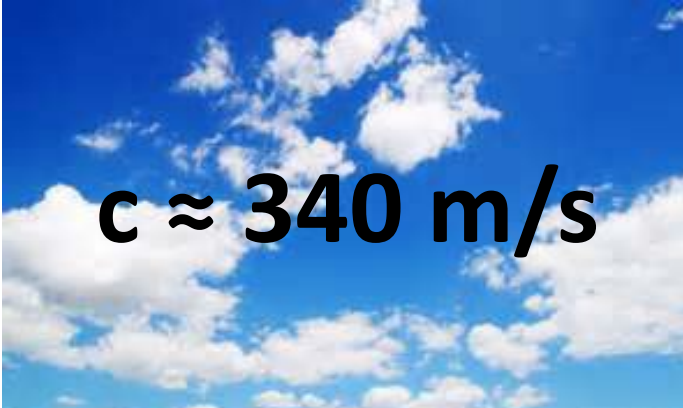
Ljudhastighet (c)

$$c = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$$

styvhet
densitet

Låg ρ och hög k = hög c

Hög ρ och låg k = låg c



$c \approx 340 \text{ m/s}$



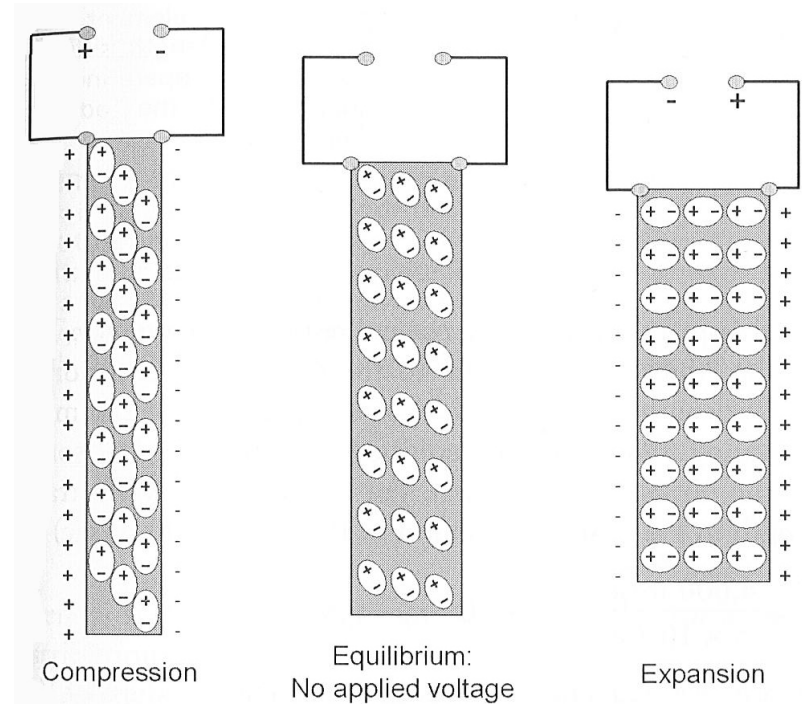
$c \approx 1540 \text{ m/s}$

Hvad genereres af lyd?

Piezoelektricitet

(piezo = "trycka, pressa")

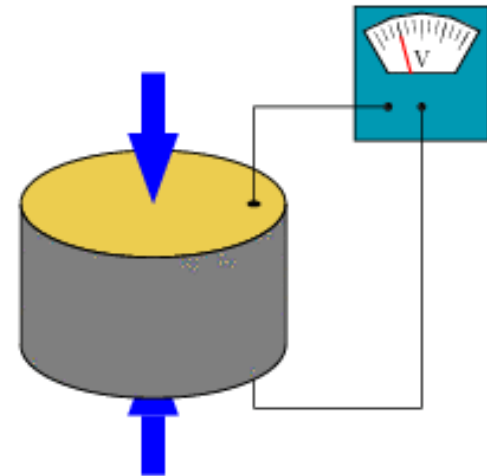
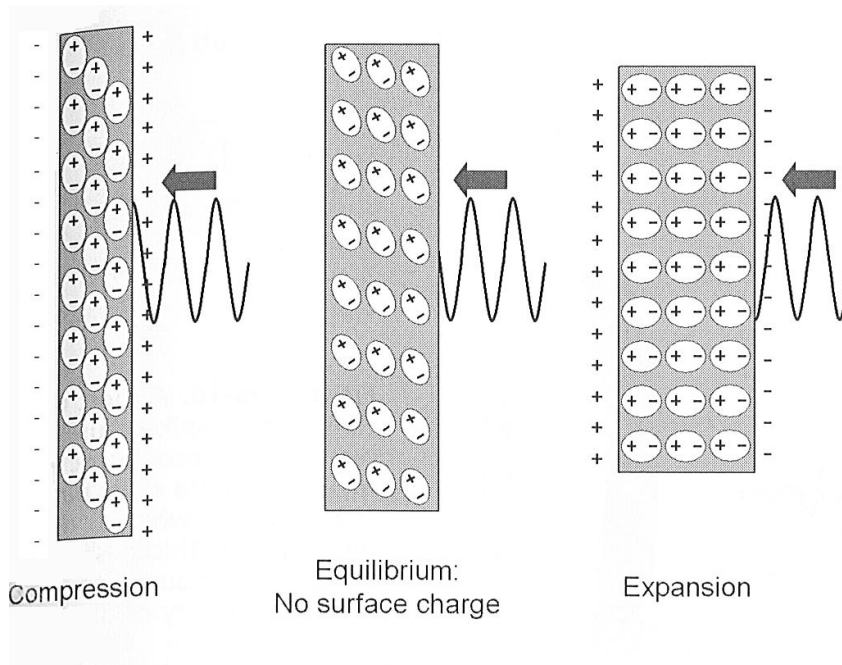
- Ämnet består av dipoler (osymmetriska laddnings - förskjutningar)
- Kristaller eller keramiska material



Elektricitet → Materialet vibrerar → Ultraljud genereras

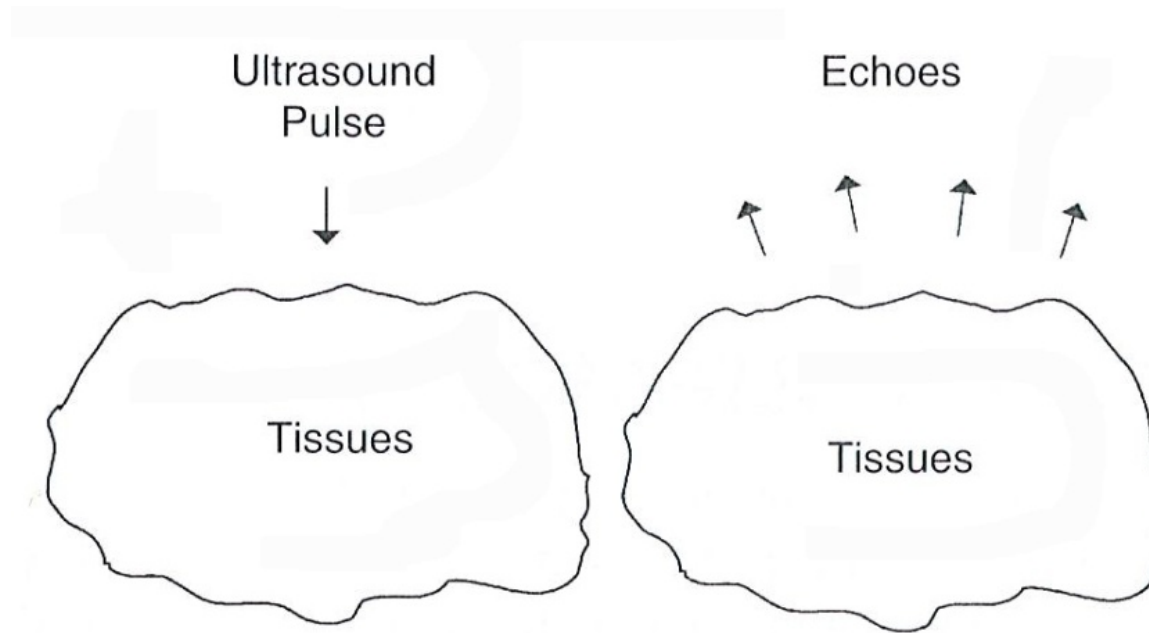
Hur detekteras ultraljud?

Piezoelektricitet



Ultraljudsekon → Materialet vibrerar → Elektrisk signal genereras
= Information för att bygga upp ultraljudsbilden

Vad händer med UL i kroppen?



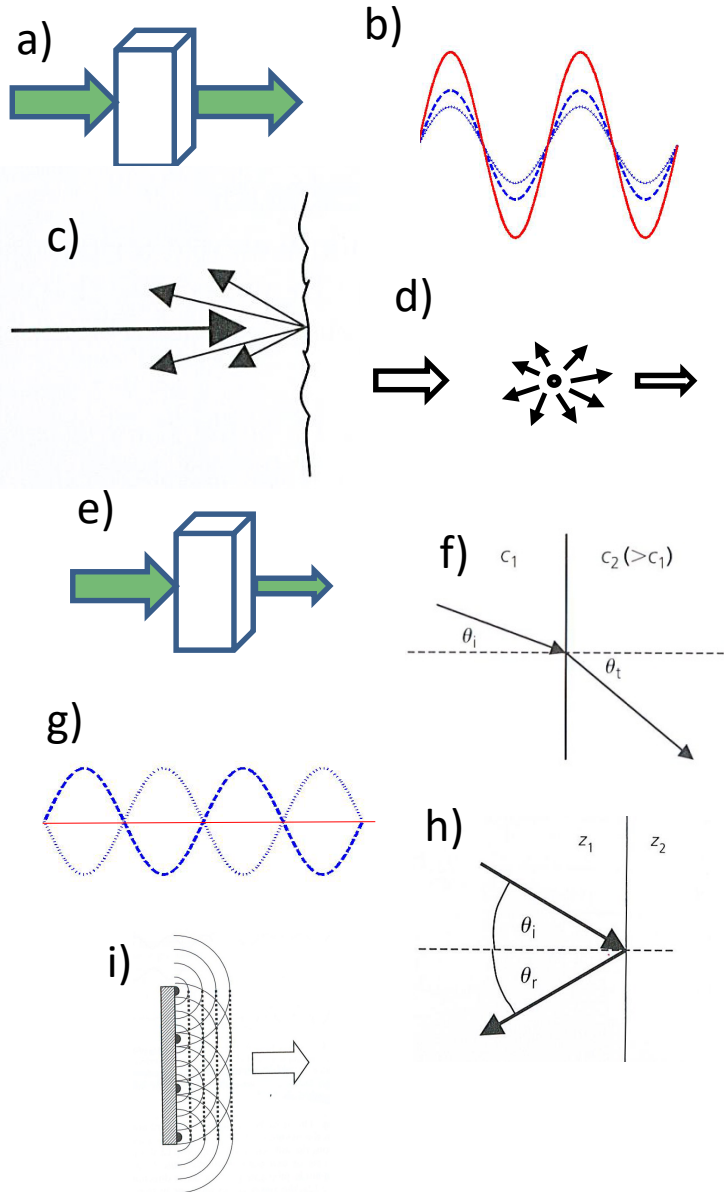
1) Generera ultraljud

2) Interaktion med vävnad

3) Detektera ultraljud

Vilka hör ihop?

1. Transmission
2. Refraktion
3. Reflektion (spegling)
4. Diffus reflektion
5. Destruktiv interferens
6. Spridning - scattering
7. Konstruktiv interferens
8. Diffraction
9. Absorption

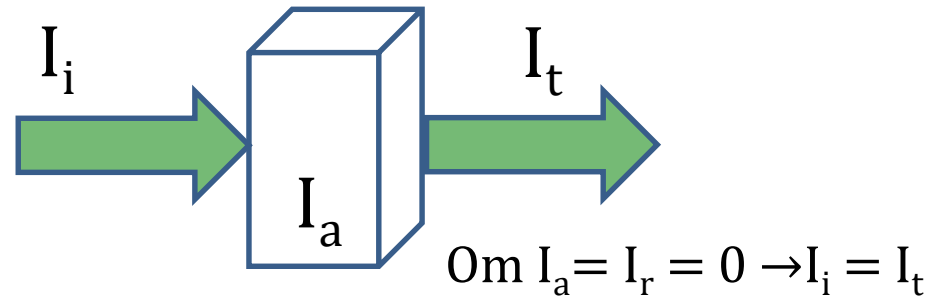


- A. Ljudet studsar mot en yta och ändrar riktning
- B. Energin i en ljudvåg minskar då vågen propagerar i ett medium på grund av värmeförluster
- C. Ljudvågen sprids när den propagerar från en källa
- D. Överlagring av två eller flera vågor där resultatet blir utsläckning
- E. Ljudvågen byter riktning vid övergången mellan två medier
- F. Ljudet studsar mot en yta och börjar propagera i flera olika riktningar
- G. Ljudet sprids mer eller mindre lika mycket i alla riktningar
- H. Ljudet fortplantar sig i ett medium
- I. Överlagring av två eller flera vågor där resultatet blir förstärkning

Transmission

- Ljudet fortplantar sig, propagerar i mediet

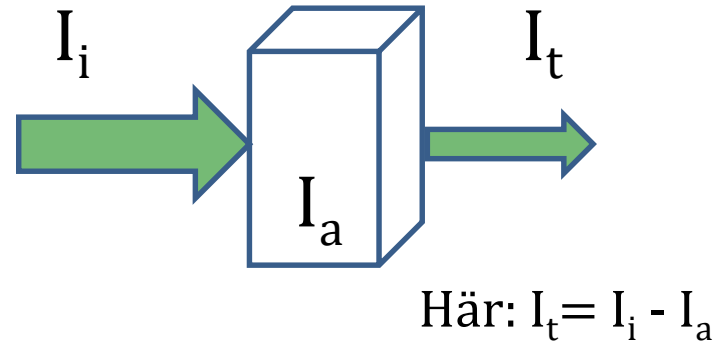
(1-a-H)



Absorption

- Då energin i en ljudvåg absorberas på grund av värmeförluster

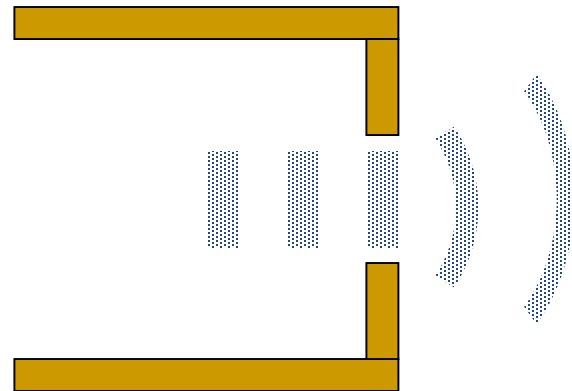
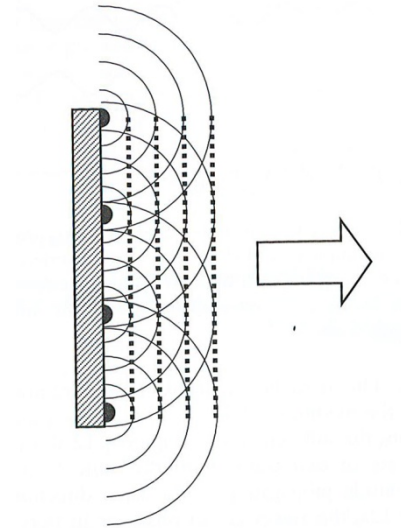
(9-e-B)



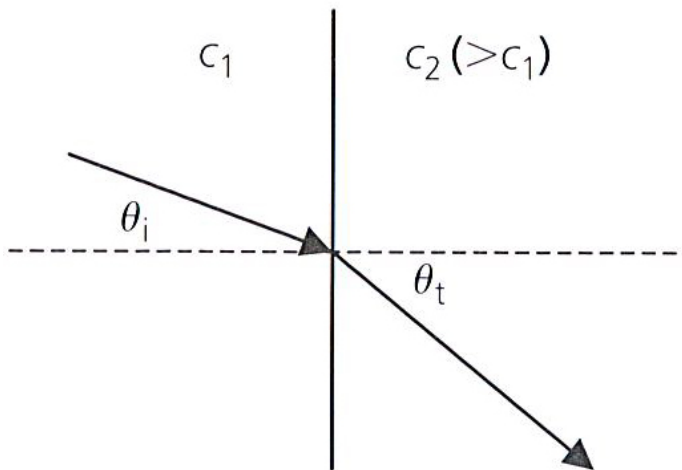
Diffraktion

- Fenomen som innebär att ljudvågen sprids ut när den propagerar från en källa eller böjs kring ett hinder

(8-i-C)



Refraktion - brytning (2-f-E)



$$\text{Snell's law: } \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2}$$

Ljudhastighet i olika medier

Medium	C (m/s)
Vatten	1480
Njure	1560
Mjukvävnad	1540
Ben	3190-3406



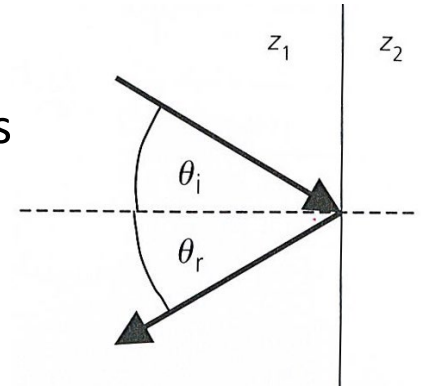
Jämför: Ljus i gränsskikt vatten-luft

Reflektion (1/4)

- I gränsskikt mellan medier med skillnad i akustisk impedans

Akustisk impedans

- Mått på hur svårt det är för partiklarna att röra sig i ett medium
- En materialegenskap hos ett medium



Låg ρ och låg k = låg z

Hög ρ och hög k = hög z

$$z = \sqrt{\rho k} = \rho c$$

$$(kg/m^2 s)$$

$$(c = \sqrt{\frac{k}{\rho}})$$

ρ - mediets densitet , c - ljudhastigheten i mediet , k - styvhet

Akustisk impedans

Akustisk impedans

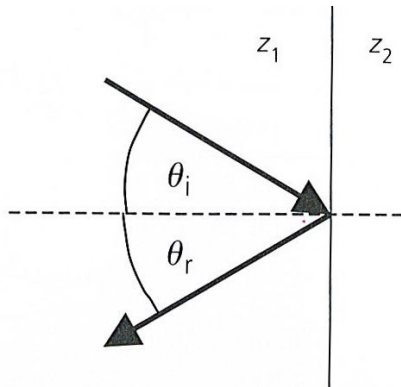
Medium	Z
Muskel	1.7×10^6
Njure	1.62×10^6
Fett	1.38×10^6
Luft	4.2×10^2
Bly	1.36×10^7

(kg/m^2s)

Reflektion (2/4)

- Hur mycket som reflekteras beror på hur stor skillnaden i akustisk impedans är

$$\frac{I_r}{I_i} = R_i = R_A^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$



Reflektionskoefficienter

Gränsskikt	R_A
Lever-njure	0.006
Lever-ben	0.59
Lever-luft	0.9995
Mjukvävnad-PZT	0.80
Gas - vävnad	0.999
Lever-muskel	0.0001
Ben-muskel	0.3

PZT – lead zirconate titanate

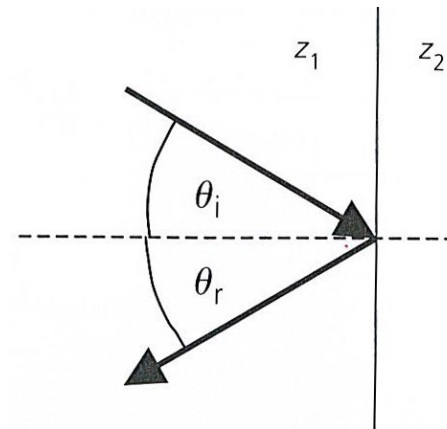
**Måste använda gel vid ultraljudsundersökning!
- annars totalreflektion**

Reflektion (3/4)

- I vilken riktning ljudet reflekteras beror på hur ytan ser ut som ljudet reflekteras mot.

Spegling (specular reflection)

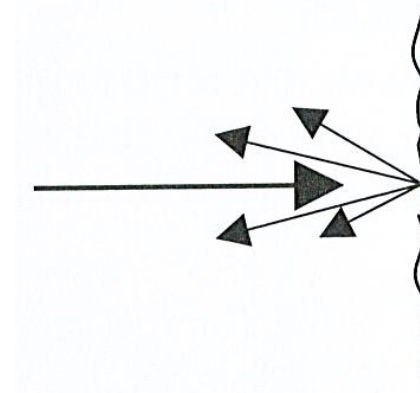
- Reflektion av ljud från en **jämn** yta
- Ljudet infallsvinkel = Ljudets reflektionsvinkel



(3-h-A)

Diffus reflektion

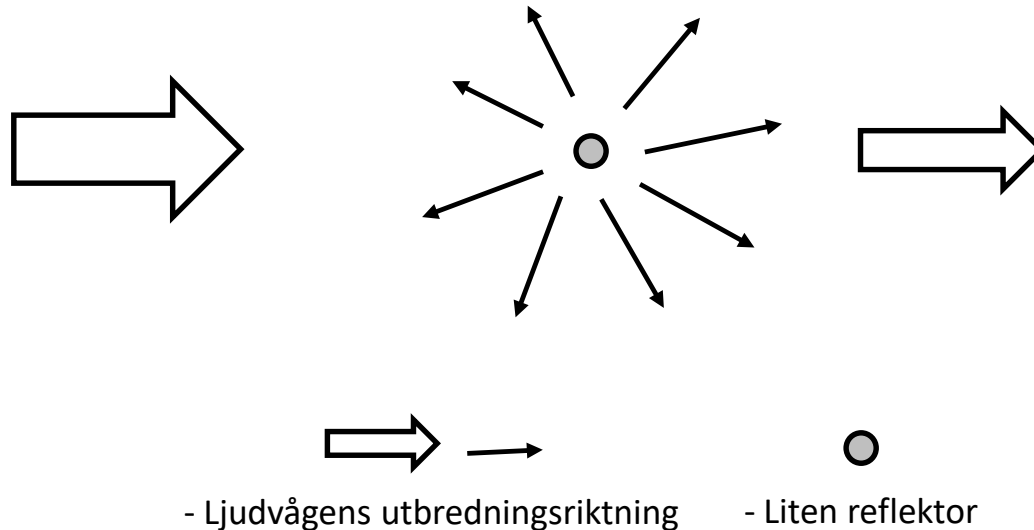
- Reflektion av ljud från en **ojämn** yta
- Ljudet reflekteras i många olika riktningar på grund av ojämnheter i ytan



(4-c-F)

Spridning - Scattering (6-d-G)

- När ljudet träffar en liten reflektor ($< \lambda$) sprids ljudet mer eller mindre lika mycket i alla riktningar.
- **OBS!** Ingen spridning i ett homogent medium



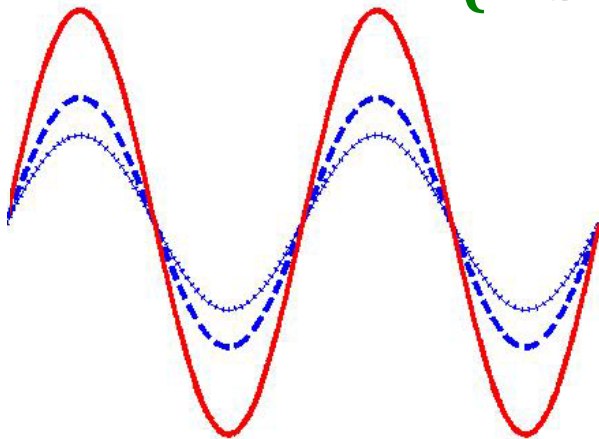
Interferens

- Överlagring (superposition) av två eller flera vågor
→ ett nytt vågmönster bildas

Vågor kan både **FÖRSTÄRKA** eller **SLÄCKA UT** varandra

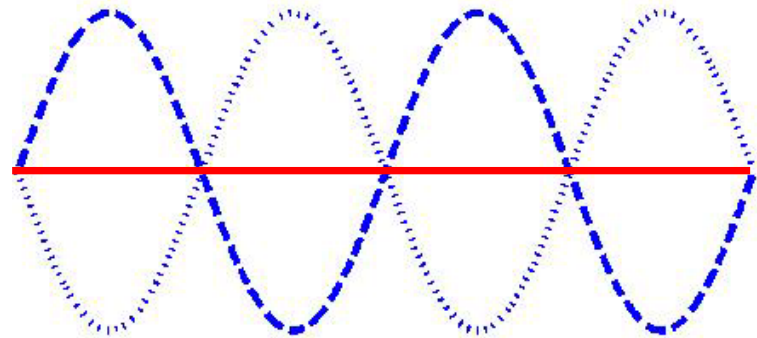


Konstruktiv Interferens
(7-b-I)



A  B  A+B 

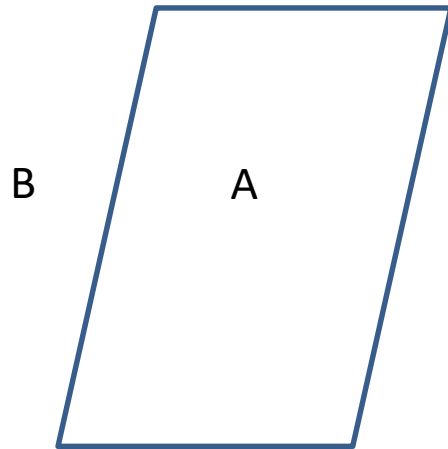
Destruktiv Interferens
(5-g-D)



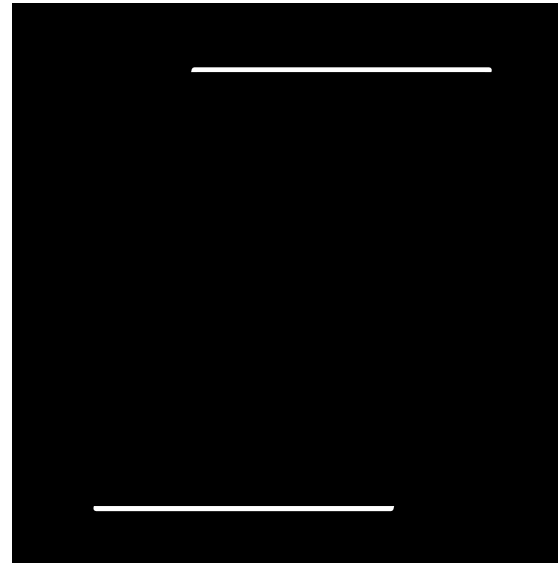
A  B  A+B 

Homogent objekt

- inga reflektorer
- $Z_A \neq Z_B$

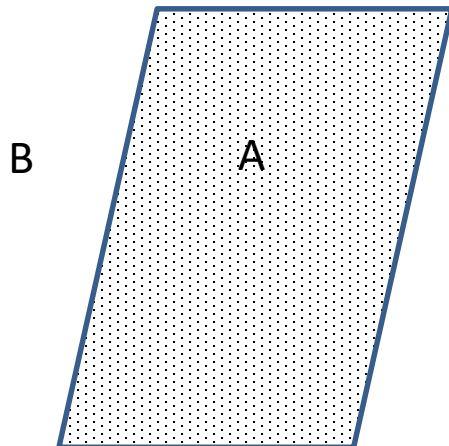


Bild?

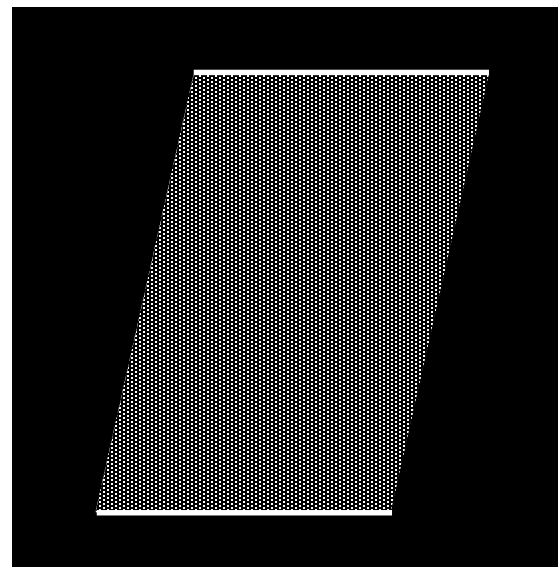


Icke-homogent objekt

- många reflektorer
- $Z_A \neq Z_B$



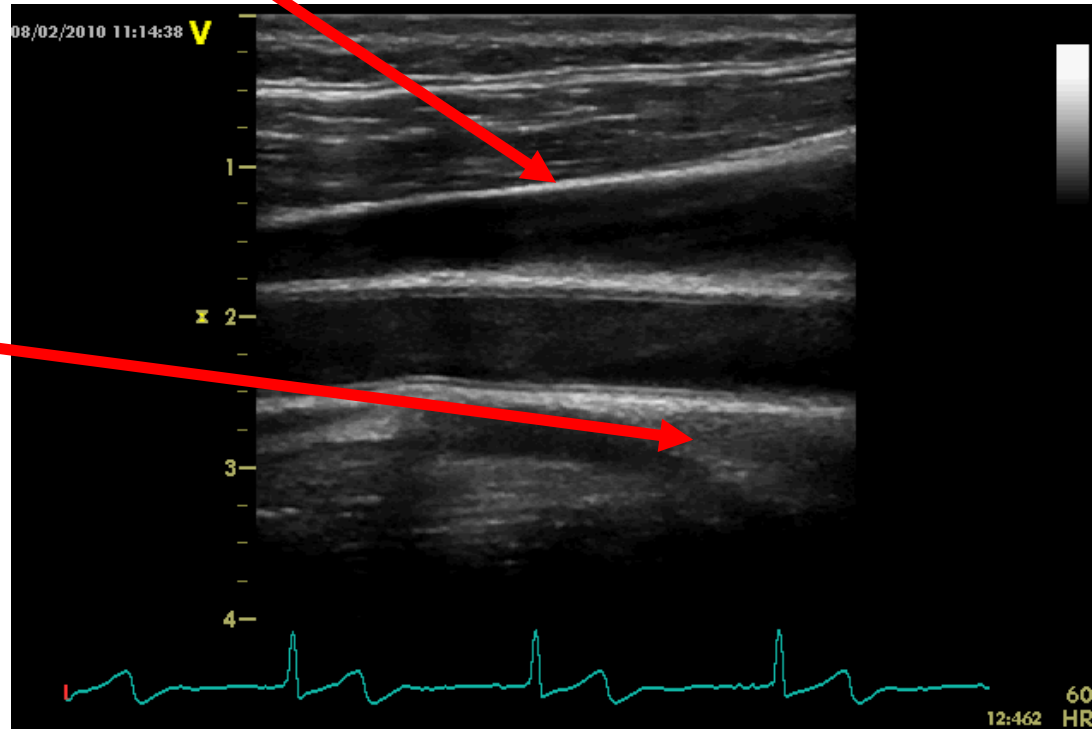
Bild?



Vad är skillnaden?
- Spridning

Reflektion från gränsskikt

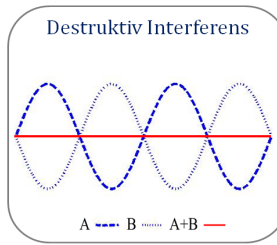
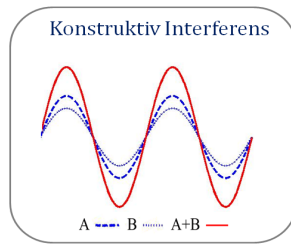
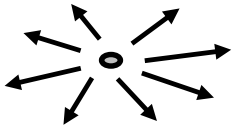
Speckle



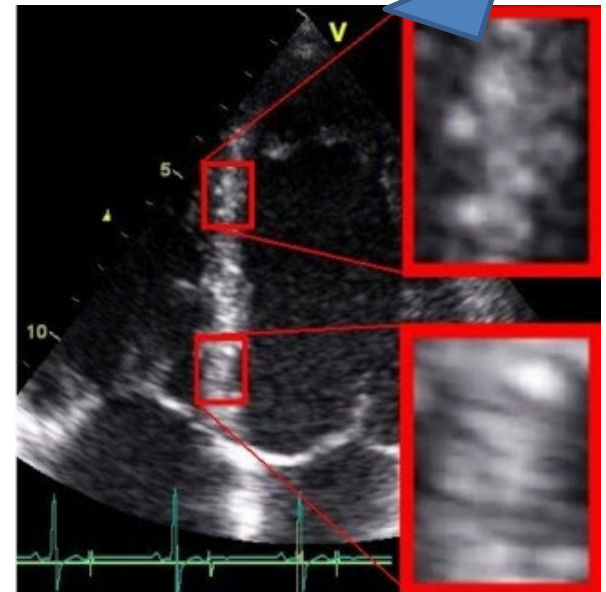
Speckle

Vävnaden är ej homogen!!

→ Spridning → Interferens → Speckles



Speckle = gråskalemönster / slumpvis
intensitetsvariation i bilden på
grund av konstruktiv och destruktiv interferens



Fråga 2

Vävnadens egenskaper i vilken en
ultraljudspuls propagerar
påverkar ultraljudspulsens:

A) Frekvens

B) Hastighet

C) Våglängd

D) Amplitud

Vad händer med UL i kroppen?

Transmission

Spridning - scattering

Refraktion

Konstruktiv interferens

Reflektion (spegling)

Diffraction

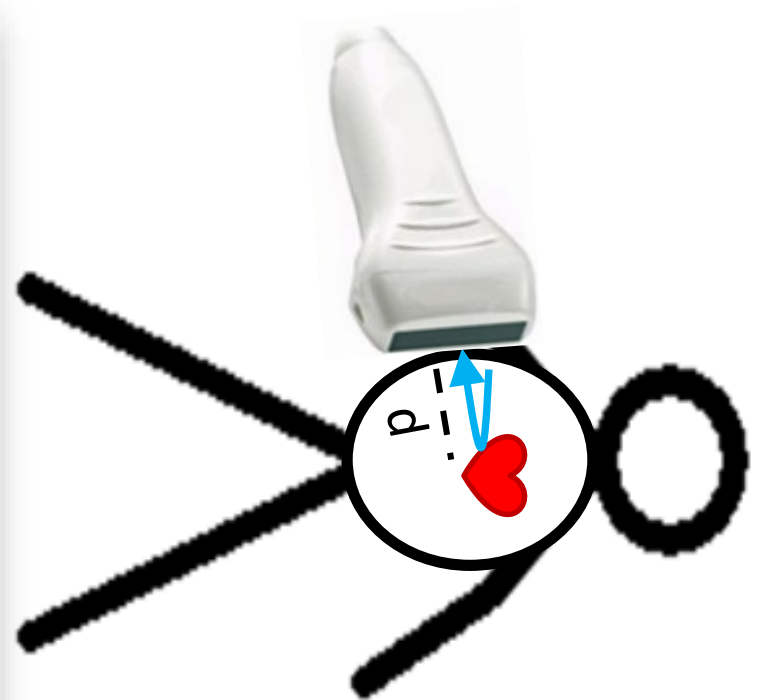
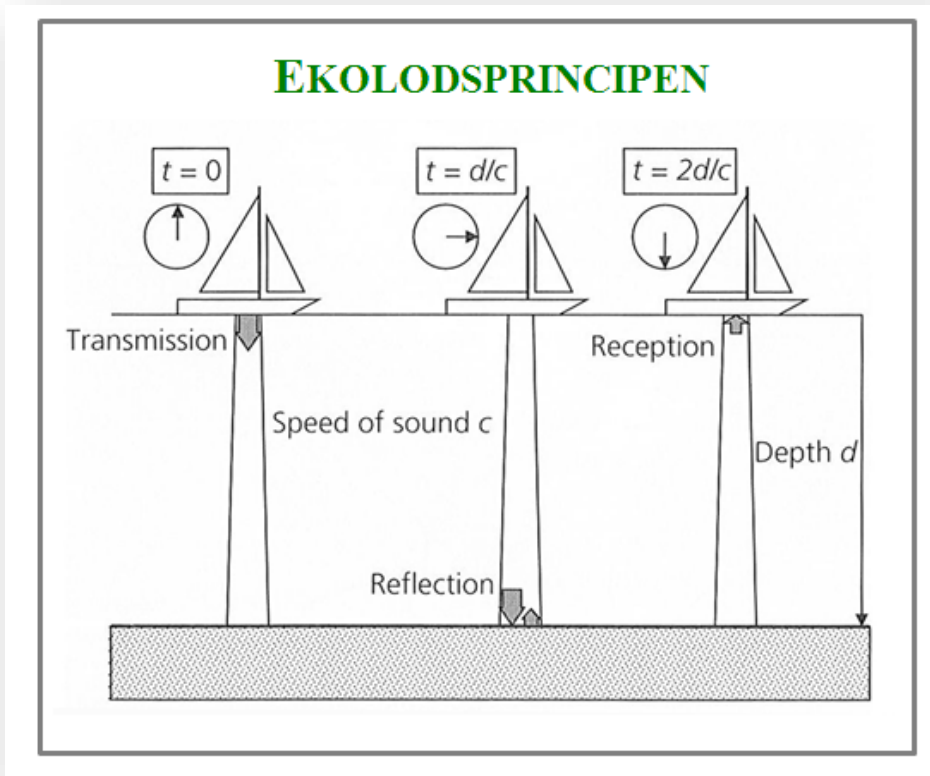
Diffus reflektion

Absorption

Destruktiv interferens

Pulsekometoden

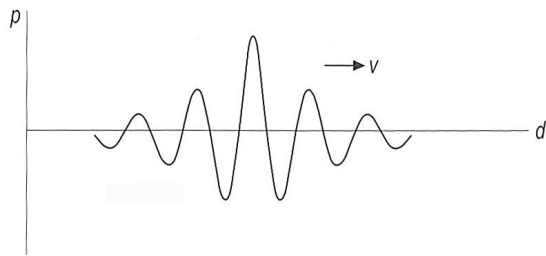
- **Tiden** från sändning till detektion används till att bestämma reflektionsdjupet!



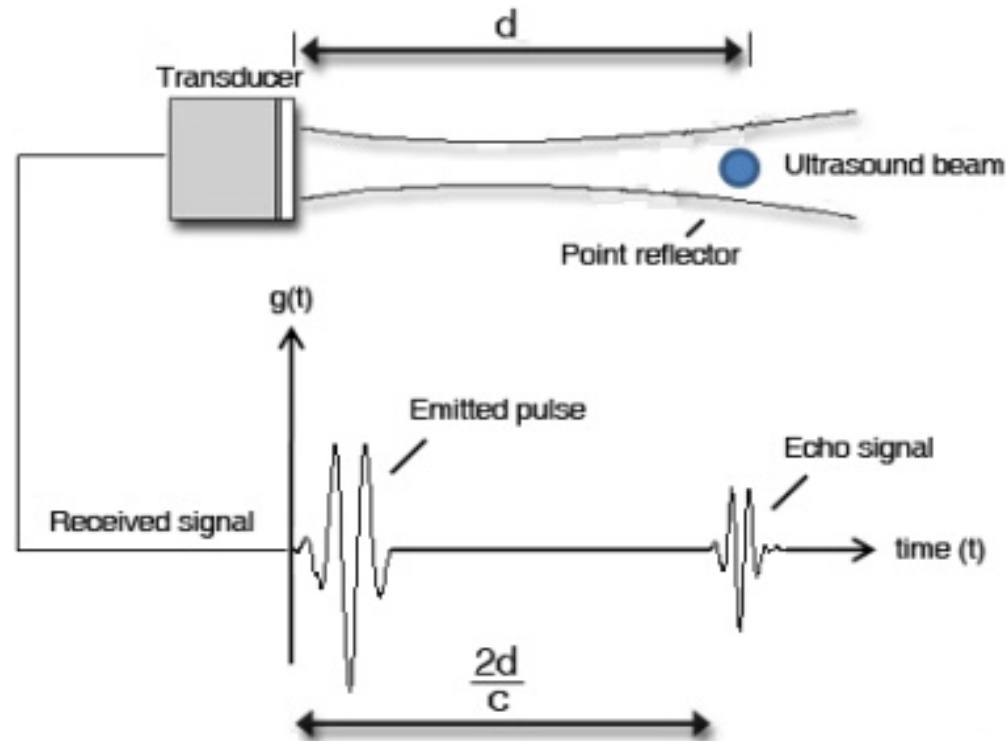
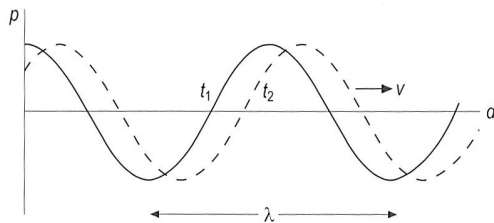
ANTAGANDE: Ljudhastigheten är 1540 m/s i kroppen

Pulsekometoden

Pulsad signal för att få djupinformation

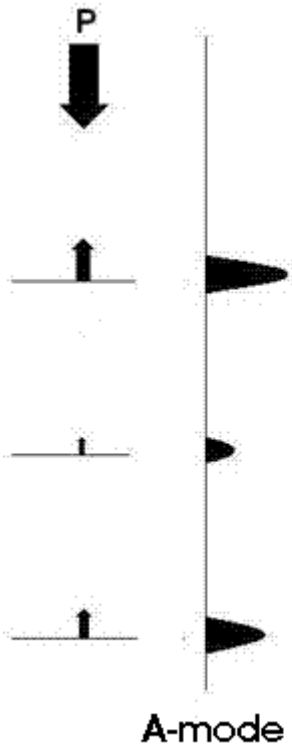


Kontinuerlig signal $\rightarrow$ ingen djupinformation



ANTAGANDE: Ljudhastigheten är 1540 m/s i kroppen

Olika pulseko-moder

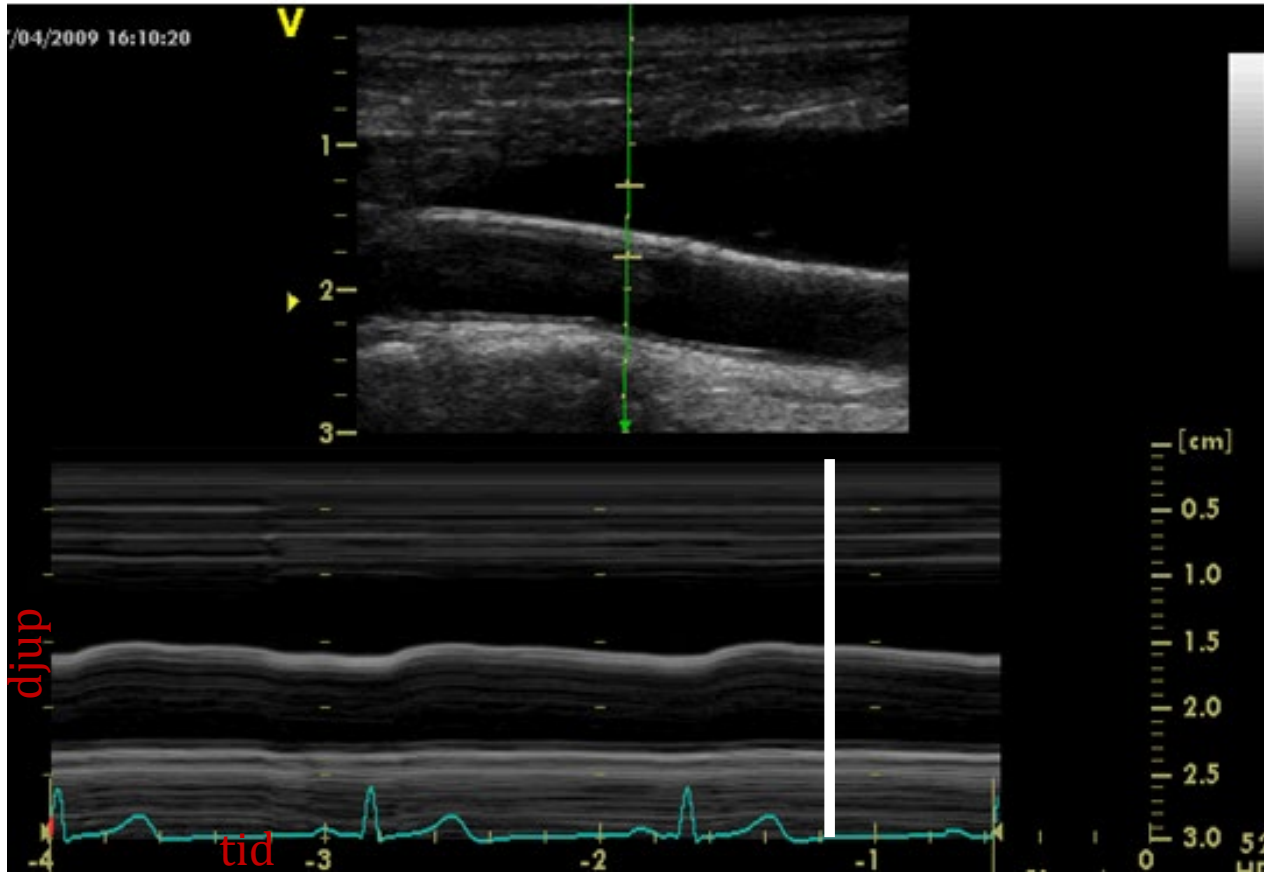


A-mode (Amplitude mode)
- visar på vilket djup gränsskikten finns med en amplitudkurva hur starkt ekot är

B-mode (Brightness mode)
- visar på vilket djup gränsskikten finns och med en fläck/prick hur starkt ekot är

M-mode (Time-Motion mode)
- visar över tiden hur gränsskikten längs en stråle rör sig över tiden

Olika pulseko-modero



B-mode

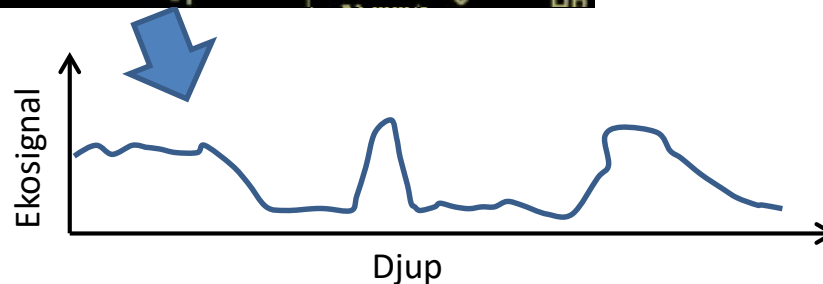
- Brightness mode

M-mode

- Time-Motion mode

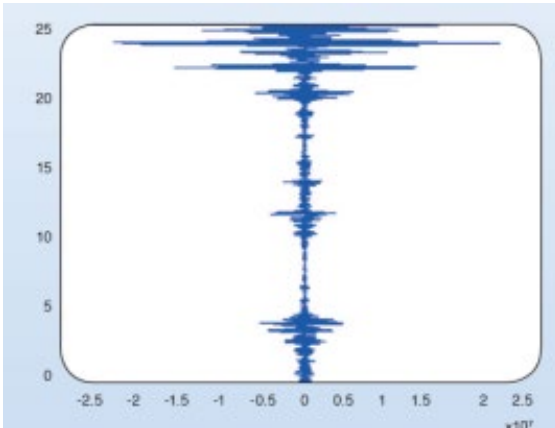
A-mode

- Amplitude mode

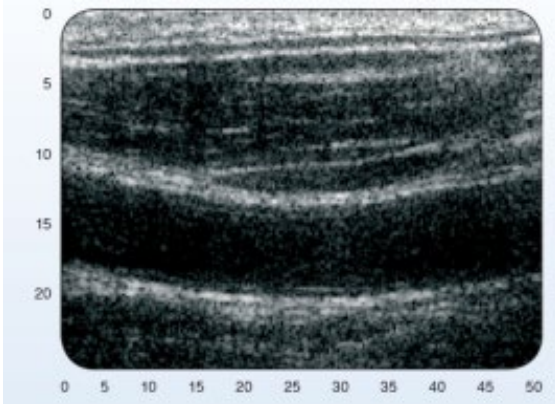


Hur skapas gråskalebilden?

RF-data



B-mode



B-mode för varje ljudstråle (beam) som skickas ut

= RF-signalen kodas till ett
intensitetsvärde för varje pixel

Hur gör man det?

Hur skapas gråskalebilden?

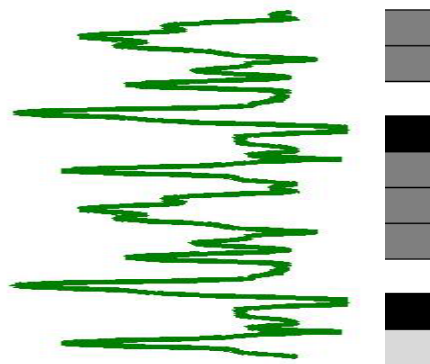
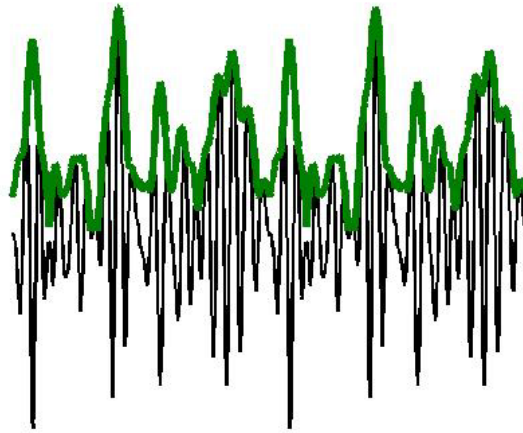
B-mode för varje ljudstråle (beam) som skickas ut

1) Sändning, Vävnadsinteraktion, Detektering (**RF signal**)

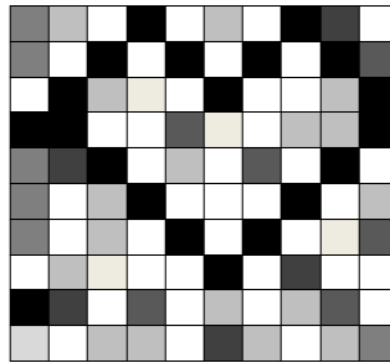
2) Envelope detection

(Hilbert transform)

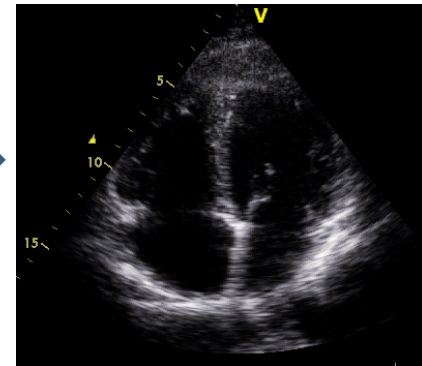
-kurvformsdetektion



Beam 1

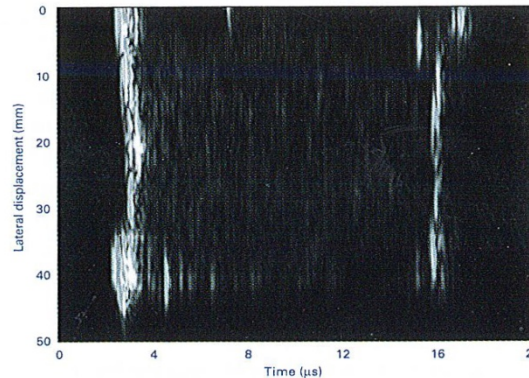
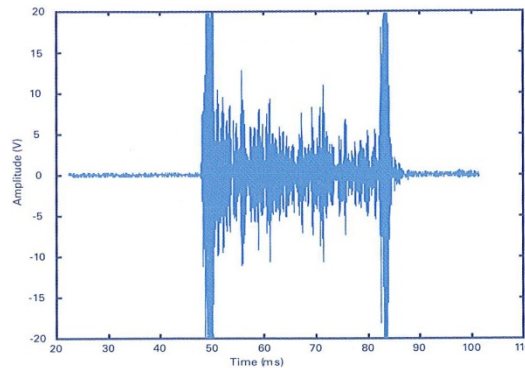


Beam 1 2 3 4 5 osv...



Hur skapas gråskalebilden?

3) Logkompression – Framhäva intensitetsskillnader i mörka områden och undertrycka intensitetsskillnader i ljusa områden



Originalbild med tydlig "specular reflection"

Logkompression

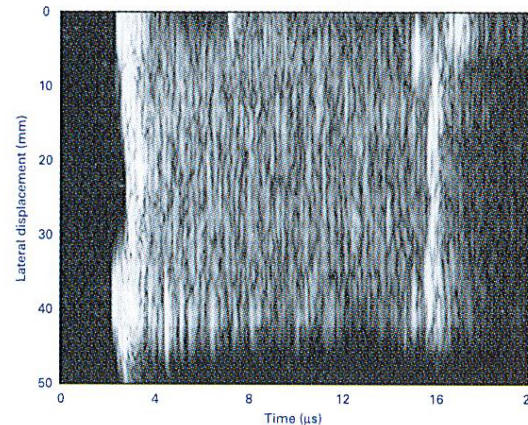
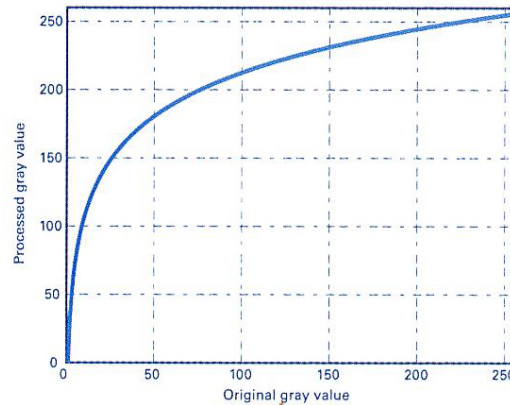


Bild efter logkompression