



KTH Physics

M. Wiklund



Ultraljud: Fysik och diagnostik



Martin Viklund
KTH Tillämpad fysik

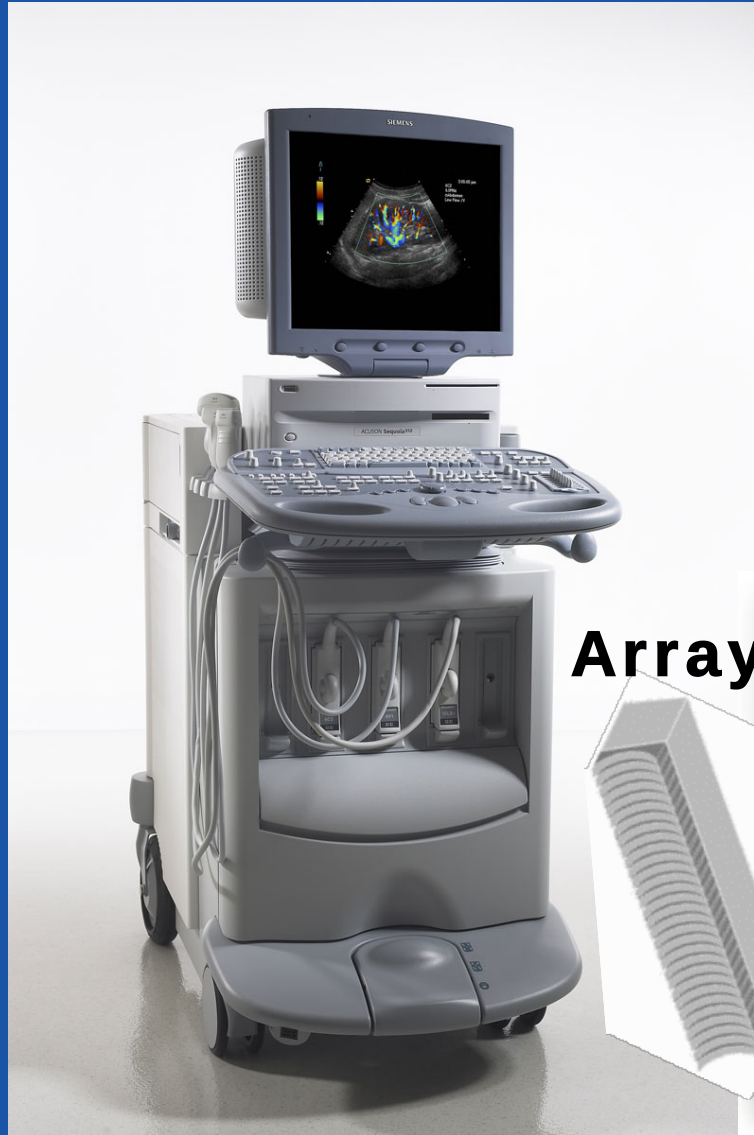
FRL 4
SK1114
2 sept 2016

Ultraljuds-diagnostik: "Eko"



KTH Physics

M. Wiklund



Jämför:



Parkerings-sensorer

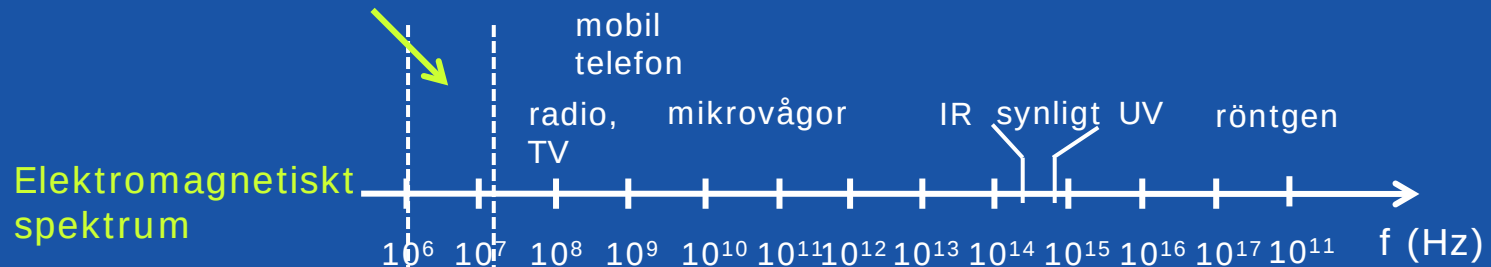


Array transducers!



Frekvens-spektrum

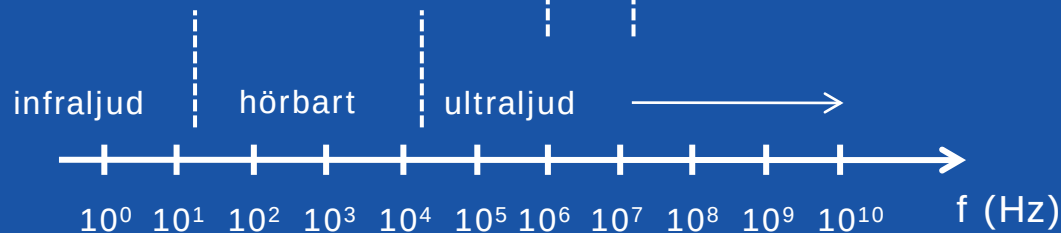
Ingen störning för RF förstärkarna!



**DIAGNOSTISKT
ULTRALJUD**
(1-15 MHz)

kavitation

absorption



Ljudspektrum



KTH Physics

M. Wiklund

Ljudhastigheten

$$c = f \cdot \lambda$$

ljudhastighet
(material-egenskap) frekvens
(input) våglängd
(output)

Typiska värden:

$c = 300 \text{ m/s}$ (gas)
 $c = 1\,500 \text{ m/s}$ (vätska)
 $c = 2\,500\text{--}10\,000 \text{ m/s}$ (fast) } Nästan 2 storleks-
ordningar!

$c = 1\,540\text{--}1\,560 \text{ m/s}$ (vävnad)
 $c = 1\,490 \text{ m/s}$ (vatten) } Liten skillnad

Exempel: $f = 3\text{MHz} \Rightarrow \lambda = 0.5\text{mm}$



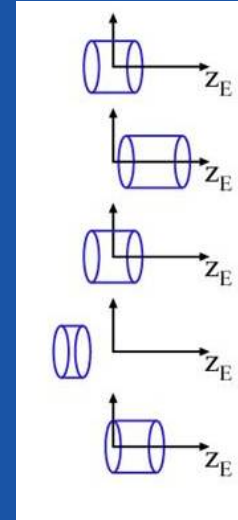
KTH Physics

M. Wiklund

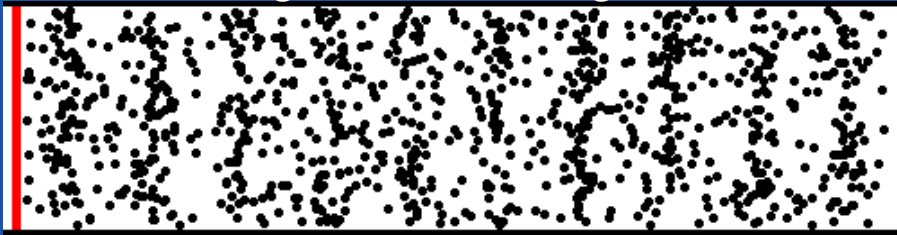
Ljudtryck och vibrationer

Två förlopp sker när ljud utbreder sig:

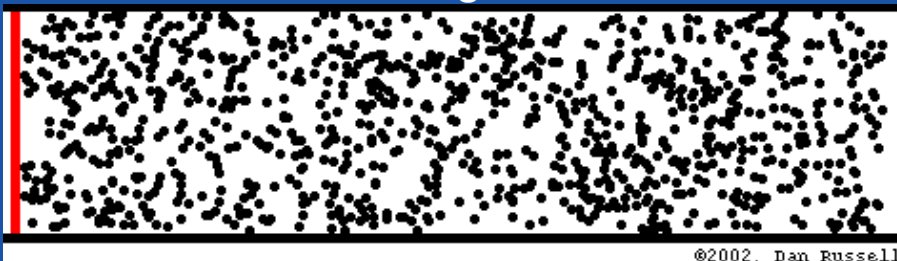
1. Vibrationer: s (= förskjutningar), samt v (= "partikel"-hastigheter)
2. Tryck-fluktuationer, p (= volyms- samt densitets-variationer)



Kontinuerlig akustisk våg:



Pulsad akustisk våg:



Storleksordning på s och p (amplituder) vid 1 MHz:

$$s = 50 \text{ nm}$$

$$p = 1 \text{ Mpa (10 atm)}$$

$$v = ds/dt = 1 \text{ m/s}$$

<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves-intro/waves-intro.html>



KTH Physics

M. Wiklund

©2002, Dan Russell

Akustisk impedans

Definition av *specifik* akustisk impedans:

$$Z_{\text{spec}} = \frac{p(\mathbf{r}, t)}{v(\mathbf{r}, t)}$$

Jämför med Ohms lag:

$$Z = \frac{U}{I}$$

Specialfall (plan, harmonisk våg i en dimension):

$$Z_{\text{spec}} = Z_{\text{char}} = \frac{p_0}{v_0} = \rho c \quad \longrightarrow \quad \text{karakteristisk akustisk impedans}$$

$$\text{Enhet, } Z? \quad [Z] = [\rho c] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} = \text{Rayl} \quad (\text{efter Lord Rayleigh})$$

Varför är Z intressant?



För beräkning av reflektion
samt transmission!

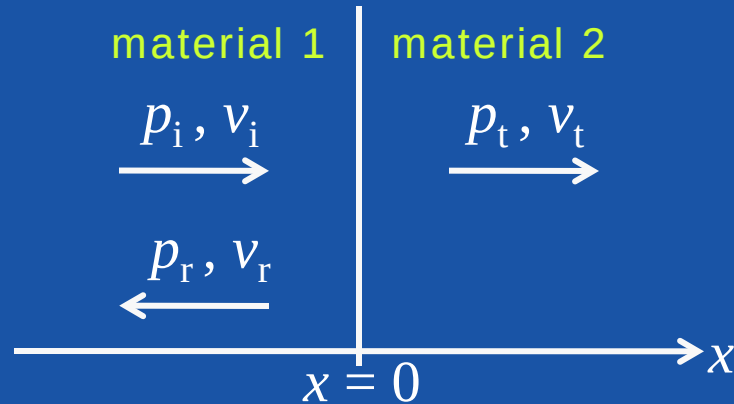


KTH Physics

M. Wiklund

Akustisk reflektion och transmission

Randvärden vid gränsyta mellan två material:



$$p_i + p_r = p_t$$

$$v_i + v_r = v_t$$

(kontinuitet i p och v
över gränsytan)

Dela första med andra ekv., eliminera v via $v=p/Z$



$$R_p = \frac{p_r}{p_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad \text{Reflektionskoefficienten (m.a.p. tryck, } p\text{)}$$

$$T_p = \frac{p_t}{p_i} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad \text{Transmissionskoefficienten (m.a.p. tryck, } p\text{)}$$



KTH Physics

M. Wiklund

Akustisk reflektion och transmission

Reflekterad och transmitterad intensitet?

$$I = \frac{p^2}{2Z} \Rightarrow R_I = R_p^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad \text{Refl. koeff. (m.a.p. } I \text{)}$$

$$T_I = \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right) T_p^2 = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad \text{Transm. koeff. (m.a.p. } I \text{)}$$



KTH Physics

M. Wiklund

Storlek på R_I ?

$$R_I = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 = \left(\frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right)^2$$

Alltså, stor kontrast i densitet och ljudhastighet: $\Rightarrow$ stor R_I

Storleksordningar:

$Z = 10^2$ Rayls

(gas)

Notera!

4 storl.ordn.
mellan gas och
vätska eller fast!

$Z = 10^6$ Rayls = 1 MRayls

(vätska)

$Z = 10^6 - 10^8 = 1 - 100$ MRayls

(fast mat.)



KTH Physics

M. Wiklund

Storlek på R_I ?

Vätska-till-fast: $R_I \approx 10-90\% \rightarrow$ Stort spann

Gas-till-fast: $R_I > 99.9\%$

Luft-till-vatten: $R_I = 99.86\%$

} Alla fast ämnen och
vätskor är perfekta
speglar rel. en gas!

Vävnad?

Fett-till-lever: $R_I = 1\%$

Muskel-till-blod: $R_I = 0.03\%$

Muskel-till-ben: $R_I = 41\%$

} Bra eller dåligt?



KTH Physics

M. Wiklund

Hur får vi kontrast i en bild?

Kontrast i akustisk impedans:

$$Z_{\text{char}} = \rho c \quad \text{betyder kontrast i densitet och ljudhastighet}$$

Vad är karakteristiskt för ett materials ljudhastighet?

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \Rightarrow Z_{\text{char}} = \rho c = \rho \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\rho K}$$

Alltså, vi avbildar en kontrast i
densitet och **styvhet** (bulkmodul)

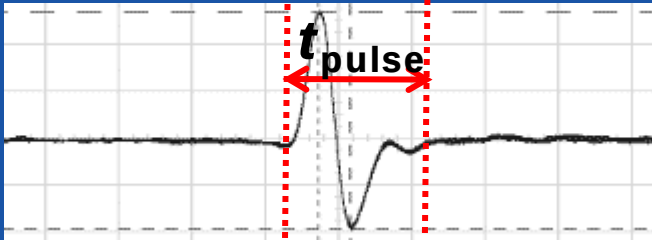


KTH Physics

M. Wiklund

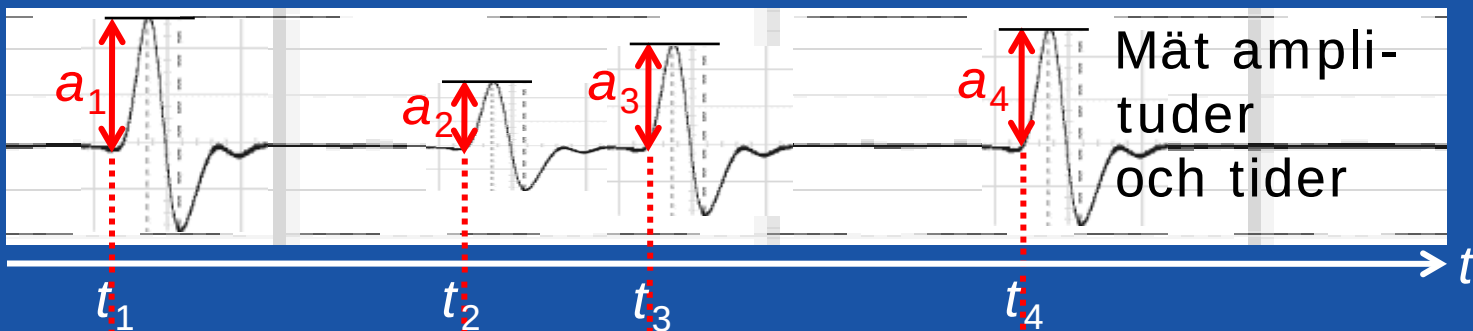
Puls-eko tekniker: Grunder

Skicka in en puls:

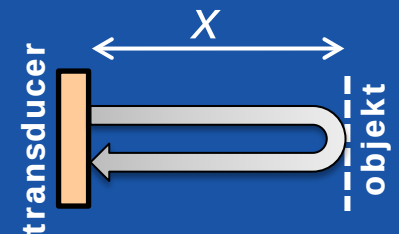


Typiskt, så är en puls en eller ett par perioder lång
($f = 1 \text{ MHz} \rightarrow t_{\text{puls}} \approx 1 \mu\text{s}$),
Och med en repetitions-frekv.
 $\sim 1 \text{ kHz}$

Registrera ekot:



Konstruera en bild genom att plotta
Amplituderna i gråskala och konvertera
tidsskalan till en längdskala (via $x = ct/2$):



KTH Physics

M. Wiklund

Avbildnings-tekniker, vanligaste

A-mod ("amplitud")

B-mod ("brightness")

M-mod ("motion")

Doppler

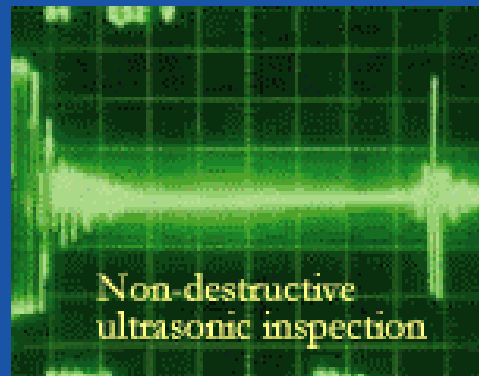
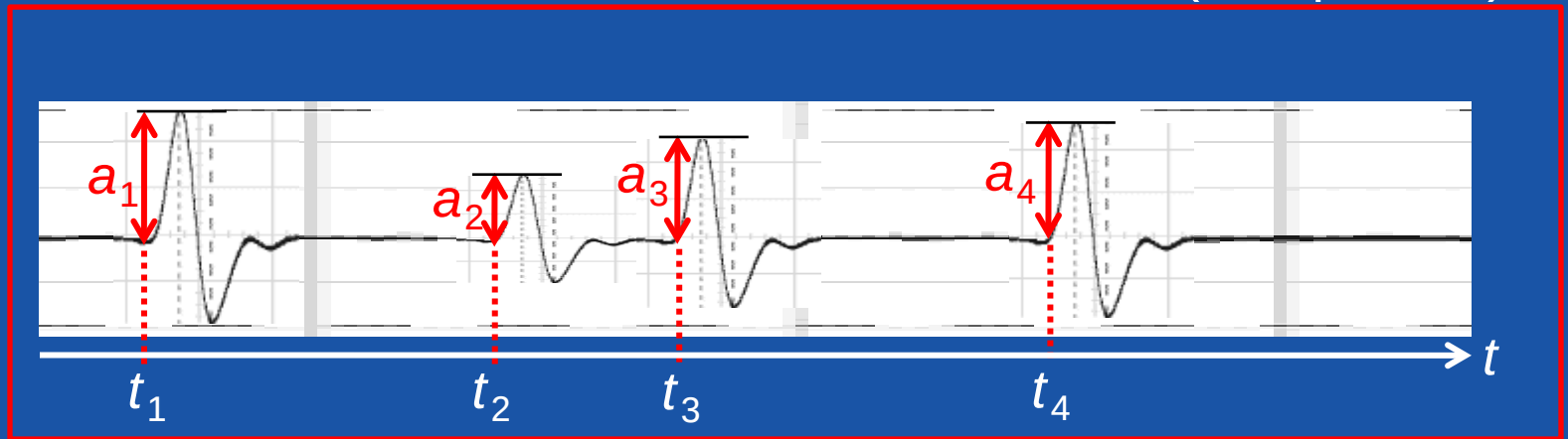


KTH Physics

M. Wiklund

Avbildnings-tekniker

A-mod ("amplitud")



Enbart 1D (djup)
avbildning

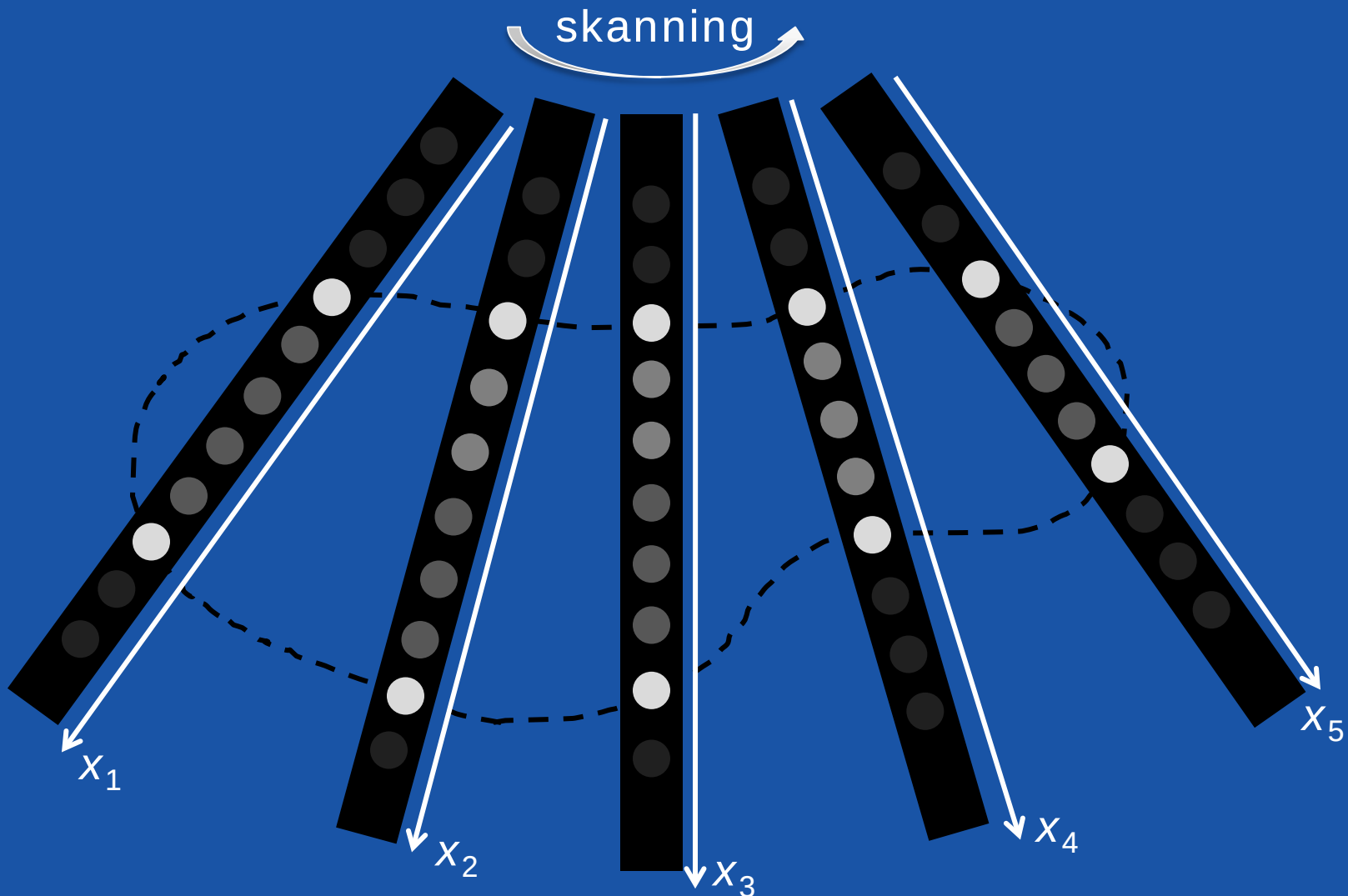


KTH Physics

M. Wiklund

Avbildnings-tekniker

B-mod ("brightness")



KTH Physics

M. Wiklund

Avbildnings-tekniker

B-mod ("brightness")

ekokardiogram



KTH Physics

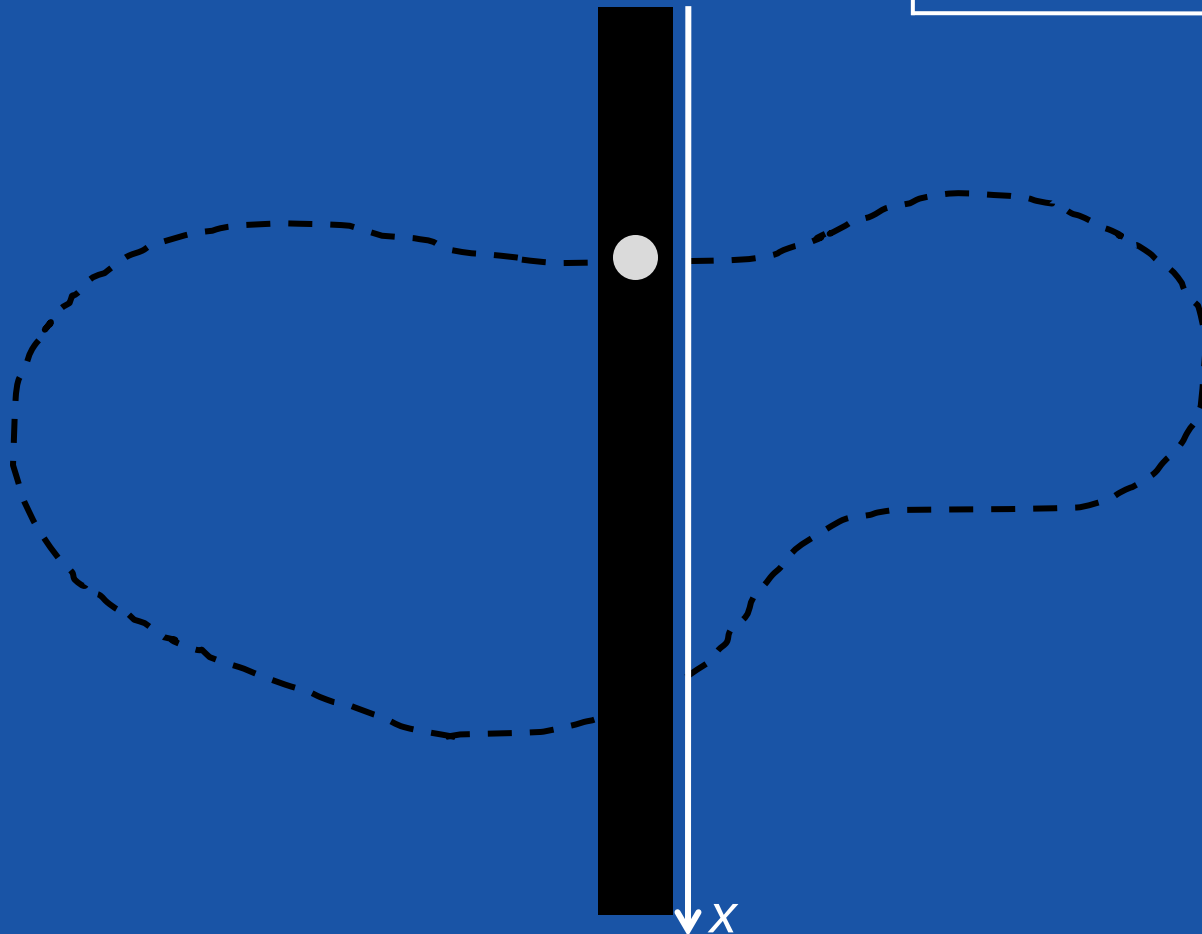
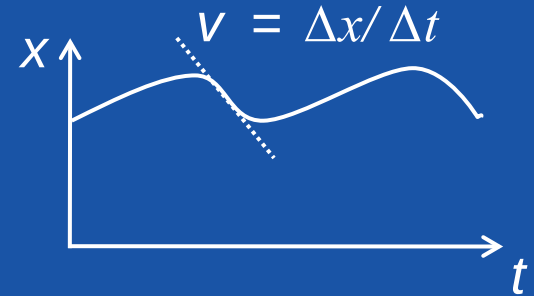
M. Wiklund

Hur fungerar avbildningssnitten?

<http://www.ultrasoundpaedia.com/>

Avbildnings-tekniker

M-mod ("motion")

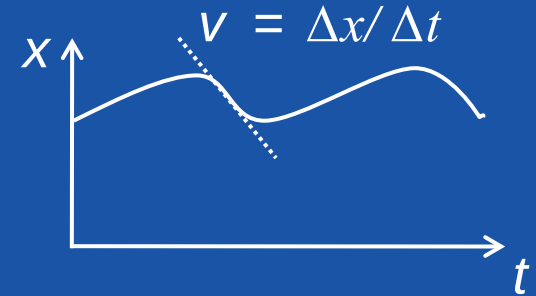


KTH Physics

M. Wiklund

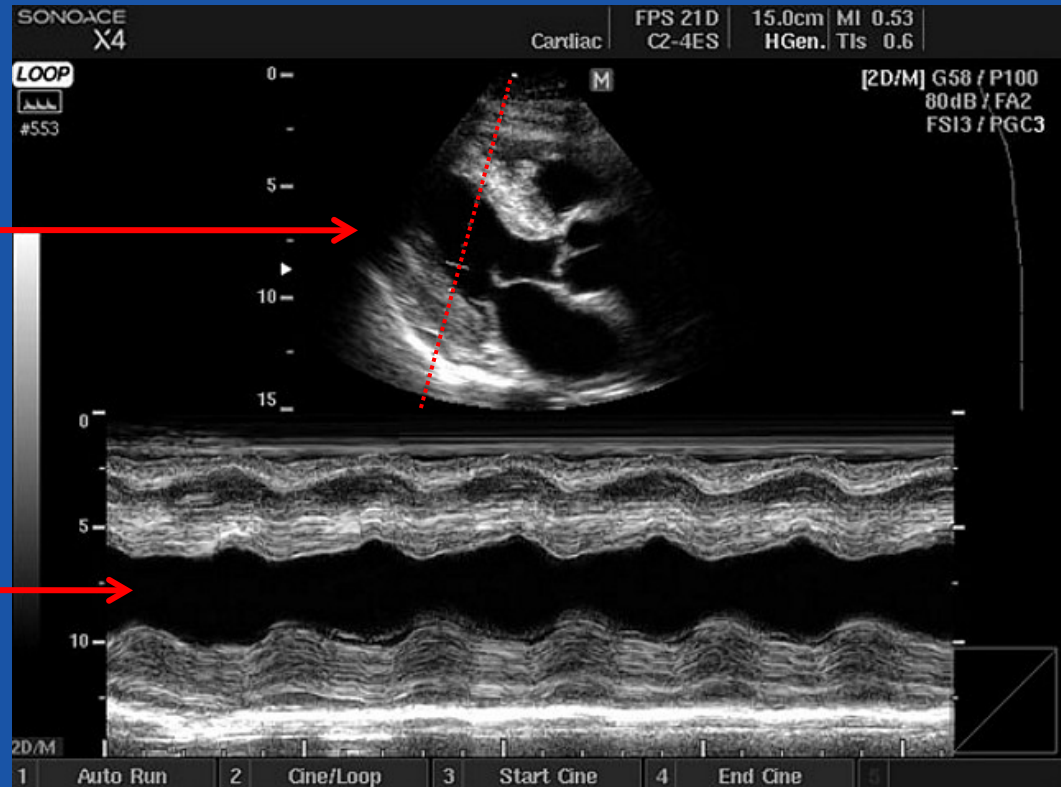
Avbildnings-tekniker

M-mod ("motion")



B-mod

M-mod

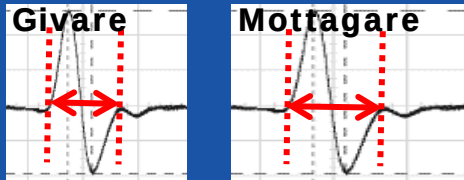


KTH Physics

M. Wiklund

Avbildnings-tekniker

Doppler →



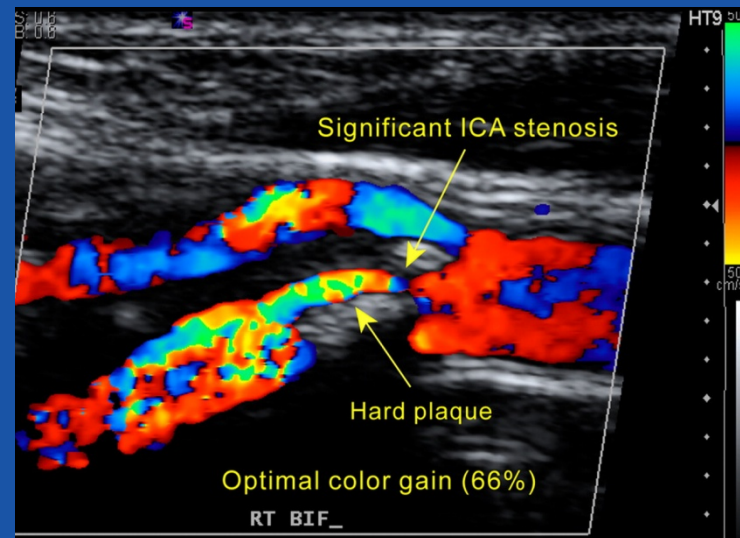
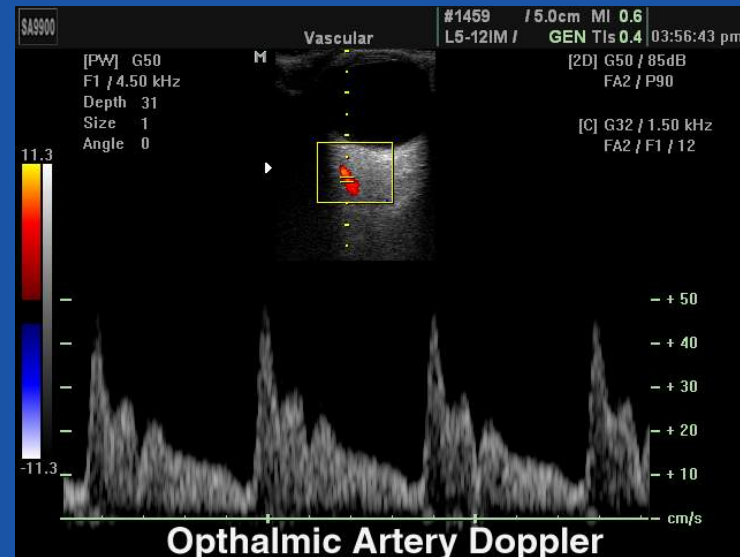
$$f_{\text{doppler}} = f_{\text{givare}} - f_{\text{mottagare}}$$

$$= \frac{2 \cdot f_0 \cdot v \cdot \cos \theta}{c}$$



$f_{\text{doppler}} = 0.1\text{--}1 \text{ kHz}$
(för v upp till 1 m/s)

Duplex →
eller
Färg-doppler



From: <http://radiographics.rsna.org/>



KTH Physics

M. Wiklund

Ett sista råd

Ultraljudsabbildning är en diagnostisk metod,
Varje undersökning måste vara medicinskt motiverad!

Råd: Gör inte så här:



31 veckor.....

27 veckor ... 23 veckor

20 veckor

16 veckor



13 veckor

11 veckor

8 veckor

M. Wiklund