



**Woudschoten 2010**  
**Het meten van geluid**

**Fontys Hogescholen**  
Opleiding Technische Natuurkunde  
Opleiding Audiologie  
Harrie Linskens  
Roeland van Klinken

- ♦ Introductie geluid
- ♦ Geluid in een ruimte
- ♦ Meten:
  - ♦ Bepaling geluidvermogen van een bron
  - ♦ Verkeerslawaaimeeting
  - ♦ Audiometer

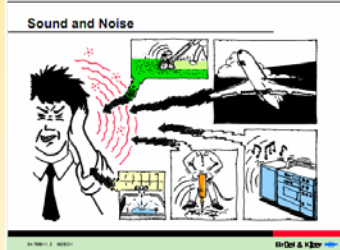
### Geluid en omgeving



Geluid is zo normaal voor ons in het dagelijks leven dat we nauwelijks stil staan bij alle functies die geluid heeft. Geluid zorgt voor ontspanning, denk aan muziek of vogelgeluiden. Het maakt communicatie mogelijk en geeft waarschuwingen, zoals de telefoon die rinkelt of een sirene. Geluid geeft ook de kwaliteit van iets aan. Als er iets rammelt aan een auto dan hoor je dat. Piepende assen vragen om ingevet te worden.

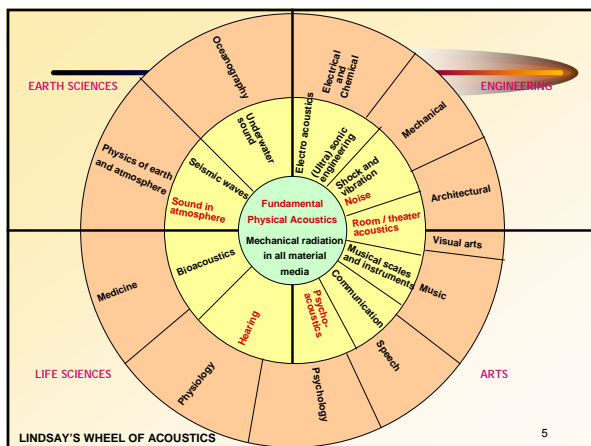
Fontys Hogescholen 3

### Geluid en herrie



Geluid is vaak ook hinderlijk. Of een geluid als lawaai opgevat wordt ligt niet alleen aan het niveau. Het ligt ook aan onze houding of opvatting. Voor de ene persoon klinkt sommige muziek prachtig, anderen vinden dezelfde muziek maar herrie. Overdag kunnen we vaak meer geluid verdragen dan tijdens de nacht.

Fontys Hogescholen 4



### Akoestiek-Automotive testing



Testen van prototypes



Communicatie in auto's

Fontys Hogescholen 6

### Akoestiek-Verkeerslawaai

Geluidkaart van een stad

Bromfietsgeluid meten

Fontys Hogescholen 7

### Electro-Akoestiek

Telefoontesten

Luidsprekers

Fontys Hogescholen 8

### Geluid: een longitudinale golf

Luchtmoleculen bewegen longitudinaal

Dit is de geluidsdruk

Atmosferische druk

Fontys Hogescholen 9

### Geluidsdruk & geluidsdruk niveau

$p(t)$  = geluidsdruk in Pa

'geluidsterkte' ~  $p_{eff}$

$p_{eff} = \sqrt{\overline{p^2(t)}}$  in Pa

$L_p = 10 \cdot \log \frac{p_{eff}^2}{p_0^2}$  in dB

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa

$p_0$  = referentie waarde = 20  $\mu$ Pa  
= geluidsdruk van nog juist hoorbaar geluid

Fontys Hogescholen 10

### Geluidsdruk niveau $L_p$ in dB

Vanwege de enorme verschillen in geluidsdruk wordt de amplitude van de geluidsdruk logaritmicus weergegeven ten opzichte van een referentiewaarde:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p_{eff}}{p_0} \text{ [dB]}$$

$2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} < p_{eff} < 200 \text{ Pa}$

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa}$

Fontys Hogescholen 11

### Berekenen van $L_p$

$p = 1 \text{ Pa}$ :  $L_p = 20 \cdot \log \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} = 20 \cdot \log 5 \cdot 10^4$   
 $= 80 + 20 \cdot \log 5 = 94 \text{ [dB]}$

Het geluidsdruk niveau bij de gehoordrempel:

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{2 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 10^{-5}} = 20 \cdot \log 1 = 0 \text{ [dB]}$$

Het geluidsdruk niveau bij de pijndrempel,  $p = 200 \text{ Pa}$ :

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{200}{2 \cdot 10^{-5}} = 20 \cdot \log 10^7 = 140 \text{ [dB]}$$

Fontys Hogescholen 12

### Twee even sterke bronnen optellen

$L_{p1} = X \text{ dB}$   
 $L_{p2} = X \text{ dB}$   
 $L_{p1} + L_{p2} = X + 3 \text{ dB}$

Fontys Hogescholen 13

### $L_p$ 's grafisch optellen

Verhoging totale geluidsniveau in dB

Niveaueverschil  $L_{p1} - L_{p2}$  in dB

Fontys Hogescholen 14

### Bereik van het geluiddrukkniveau

Sound Pressure, p [Pa]

Sound Pressure Level,  $L_p$  [dB]

Fontys Hogescholen 15

### Demonstratie van de dB-schaal

- ♦ 'Broadband noise in 10 steps of 6 dB':
- ♦ 'Broadband noise in 15 steps of 3 dB':
- ♦ 'Broadband noise in 20 steps of 1 dB':

Fontys Hogescholen 16

### Perceptie van dB's

Verandering in geluiddrukkniveau (dB)	Verandering in waargenomen luidheid
1	Nauwelijks waarneembaar
3	Net waarneembaar
6	Duidelijk waarneembaar
10	Dubbel zo luid (of $\frac{1}{2}$ )
20	Vier keer zo luid (of $\frac{1}{4}$ )

Fontys Hogescholen 17

### 1/12-octaaftanden

Frequency [Hz]

Fontys Hogescholen 18

### Frequentiebanden: Octaven

45 90 180 Hz 355

63 125 250

octaven

Octaafband-midden-frequentie  $f_M$  (Hz):  
31.5 - 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000

$$f_M = \sqrt{f_L * f_H} = \sqrt{f_L * 2f_L} = f_L * \sqrt{2}$$

$$[f_L, f_M, f_H] = [ \frac{f_M}{\sqrt{2}}, f_M, f_M * \sqrt{2} ]$$

19

### Geluidrukniveaumeter

**B & K 2250**  
Sound Level Meter

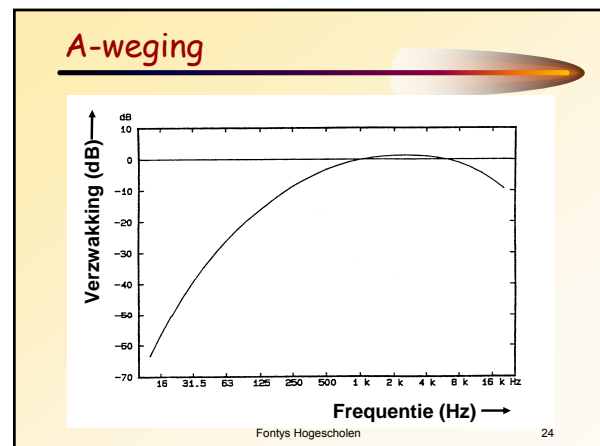
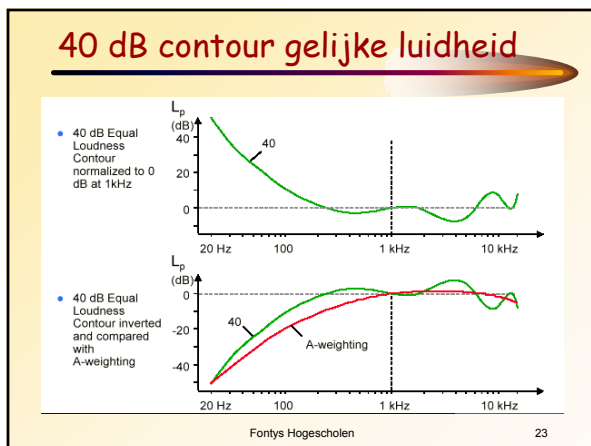
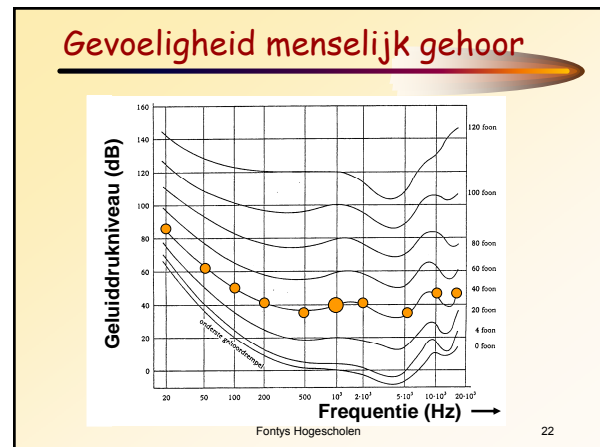
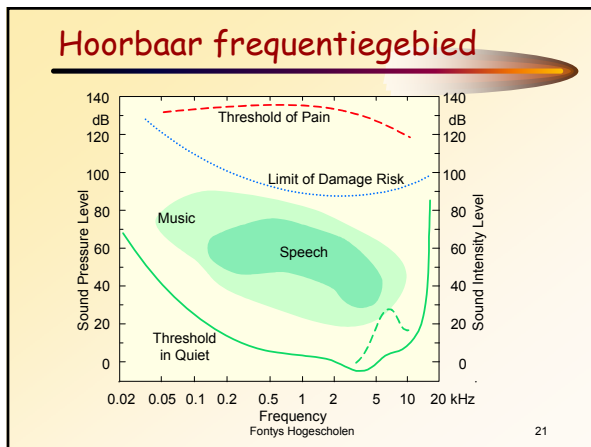
- Frequentie-analyse in octaven en tertsen
- Sound recording
- Nagalmodule
- Logging
- Lineair, A, B en C-weging
- Fast, slow, peak, impulse



Brüel & Kjær

Fontys Hogescholen

20



### Correctie A-weging

Frequentie (Hz)	Correctie (dB)
16	-56.7
31.5	-39.4
63	-26.2
125	-16.1
250	-8.6
500	-3.2
1000	0
2000	+1.2
4000	+1.0
8000	-1.1
16000	-6.6

Fontys Hogescholen 25

### Frequentiebanden

Fontys Hogescholen 26

### Rekenvoorbeeld

Geluidmeting in 6 oktaafbanden.  
 Ongewogen: geen A-weging toegepast.  
Oktaafband - meetwaarde - A-weging - geluidniveau in dB(A)

125 Hz	96,1 dB
250 Hz	91,6
500 Hz	83,2
1000 Hz	86,0
2000 Hz	86,8
4000 Hz	71,0

Fontys Hogescholen 27

### Geluidvermogen

EU-label Geluidemissie voor grasmaaier

Opgegeven waarde:  $L_{WA}$  of  $L_{pA}$  op operator-positie

Fontys Hogescholen 28

### Geluidsdruk versus geluidvermogen

Pressure  $p$  [ $N/m^2 = Pa$ ]  
 $L_p$  [dB]  
 Power  $P$  [W]  
 Sound Source

**Analogy**  
 Temperature  $t$  [ $^{\circ}C$ ]  
 Power  $P$  [W]  
 Electrical Heater

Fontys Hogescholen 29

### Geluidvermogeniveau

Het door een bron uitgezonden geluidvermogen wordt uitgedrukt in Watt en wordt ook logaritmisch weergegeven ten opzichte van een referentie:

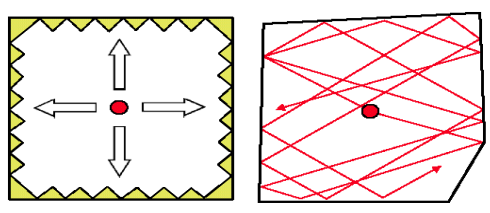
$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \text{ [dB]}$$

$$W_0 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W} = 1 \text{ pW}$$

Fontys Hogescholen 30



### Ruimten



- Echovrije ruimte: wanden absorberen geluid
- Nagalmkamer: wanden reflecteren geluid

Fontys Hogescholen 31

### Echovrije ruimte (Anechoic room)



Fontys Hogescholen 32

### Nagalmkamer (Reverberation room)



Fontys Hogescholen 33

### Nagalmtijden

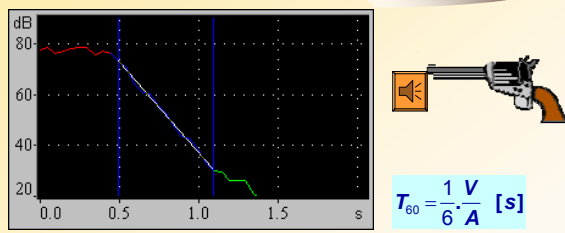
Gewenste nagalmtijd hangt af van de functie van de ruimte:

Normale kamer	0,5 s
Klaslokaal	0,4 – 0,5 s
Theater	0,9 – 1,3 s
Kamermuziek	1,2 – 1,5 s
Opera	1,2 – 1,6 s
Concertzaal	1,7 – 2,3 s
Kerk	1,5 – 2,5 s

De waarden zijn de gemiddelden van 500 en 1000 Hz.

Fontys Hogescholen 34

### Nagalmtijd $T_{60}$



$T_{60} = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{A}$  [s]

- $T_{60}$  = nagalmtijd = tijd waarin het geluidniveau met 60 dB afneemt

Fontys Hogescholen 35

### Sabine

$$T_{60} = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{A} = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i} \text{ [s]}$$

- $T_{60}$  = nagalmtijd = de tijd waarin het geluidniveau met 60 dB afneemt
- $V$  = volume van de kamer in  $m^3$
- $A$  =  $m^2$  Open Raam
- Sabine als  $\alpha < 0,2$

Fontys Hogescholen 36

### Een bron in een ruimte: geluidvelden

Fontys Hogescholen 37

### Geluidvelden in een ruimte

- Het **nabijheidsveld** is het gebied zeer dicht bij de machine. Het geluiddrukkniveau kan er sterk variëren bij geringe positieveranderingen. Het gebied ligt binnen een golflengte van de laagste door de bron uitgezonden frequentie of op minder dan tweemaal de grootste afmeting van de machine, afhankelijk van welke afstand het grootste is. Het is beter om niet in dit gebied te meten.
- In het **vrije (of directe)** veld gedraagt de bron zich als in de open lucht, zonder reflecterende vlakken welke interferentie bij de geluidvoortplanting zouden kunnen veroorzaken. Dit betekent dat het geluidniveau in dit gebied met 6 dB afneemt bij verdubbeling van de afstand tot de bron.
- In het **galmveld** domineren reflecties van wanden en andere objecten het geluidveld. Fontys Hogescholen

38

### Vrije veld

Under free-field conditions:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log \frac{1}{4\pi r^2} \text{ [dB]}$$

Met richtingsfactor Q:  $L_p = L_w + 10 \cdot \log \frac{Q}{4\pi r^2} \text{ [dB]}$

$$\rightarrow L_p = L_w - 20 \cdot \log(r) - 11 + 10 \cdot \log(Q) \text{ [dB]}$$

Fontys Hogescholen 39

### Akoestisch evenwicht

Geluid uit de bron = Geluid in de ruimte + Door de wand geabsorbeerd geluid

- $L_w$  = maat voor het vermogen van de bron (dB)
- $L_p$  = geluiddrukkniveau in de ruimte (dB)
- $A$  = absorberend oppervlak ( $m^2$  O.R.)
- $A$  is gekoppeld aan volume  $V$  van de ruimte en aan de nagalmtijd  $T$

Fontys Hogescholen 40

### Galmveld

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log \left( \frac{4}{A} \right) \text{ [dB]}$$

$$T_{60} = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{A}$$

$A = \bar{\alpha} \cdot S$

- $S$  = oppervlak van de wanden in  $m^2$
- $\bar{\alpha}$  = gemiddelde geluidabsorptie factor
- $A$  = geluidabsorberend oppervlak van een kamer in  $m^2$  O.R. (Open Raam)

Wat gebeurt er als:  $A \rightarrow 0$   
 $A \rightarrow \infty$

Fontys Hogescholen 41

### Formule

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right) \text{ [dB]}$$

Alleen vrije veld:  $L_p = L_w + 10 \cdot \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} \right)$

Alleen diffuus veld:  $L_p = L_w + 10 \cdot \log \left( \frac{4}{A} \right) = L_w + 10 \cdot \log \left( \frac{24 \cdot T}{V} \right)$

Wat gebeurt er:

- Volume  $V$  groter  $\rightarrow$  meer / minder absorptie?  $\rightarrow L_p$  wordt kleiner / groter?
- $T$  groter  $\rightarrow$  meer / minder absorptie?  $\rightarrow L_p$  wordt kleiner / groter?

Fontys Hogescholen 42

### Geluidvermogen $L_W$ bepalen

- Bron in buitenlucht (bolstraler):  $L_p = L_w + 10 \cdot \log \frac{1}{4\pi r^2} \text{ [dB]}$

of binnen met:

- Referentiebron
  - Verskil in geluidrukniveau = verschil geluidvermogeniveau
- $$L_{p,bron} - L_{p,ref. bron} = L_{W,bron} - L_{W,ref. bron}$$



Sound Power Source

- $L_W$  bekend: Nagalmtijd uitrekenen.

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log \left( \frac{4}{A} \right) = L_w + 10 \cdot \log \left( \frac{24 \cdot T}{V} \right)$$

### Verkeerslawaaimeting



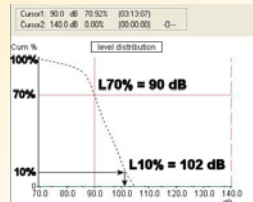
- niveaus meten langs weg, tellen, in Excel verwerken
- statistische niveaus bepalen:  $L_5, L_{10}, L_{90}, L_{95}$

### Statistische niveaus

Toepassing bij verkeerslawaai.

$L_{10}$  is het geluidrukniveau dat in 10% van de meettijd wordt overschreden → piekniveaus

$L_{90}$  is het geluidrukniveau dat in 90% van de tijd wordt overschreden → achtergrondniveau

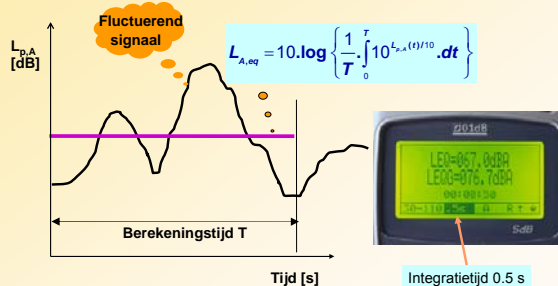


### Geluidniveaumeters



### Integrerende geluidniveaumeter

Equivalent niveau: vereist integratie over tijd T



### Geluidrukniveaumeter BK 2240



Eenvoudige integrerende meter

$L_{A,eq}$

$L_{C,peak}$

Fast, slow

Geen oktaafbanden

Instelbaar meetbereik: bv. 20-120 dB



## Geluidrukniveaumeter

**B & K 2250**  
Sound Level Meter

**Nagalmtijd-module**




Brüel & Kjær

Fontys Hogescholen 49

## Calibratie

- ♦ sound level calibrator B&K Type 4230 of 4231
  - ♦ 94 dB, 1 kHz, nauwkeurigheid 0.3 dB
  - ♦ voor geluidsniveaumeters,
  - ♦ speciaal bedoeld voor meters met A-weging





Microfoon B&K 4231 B&K 4230

Fontys Hogescholen 50

## ♦ Dank voor uw aandacht

Contactgegevens:

- ♦ Fontys Hogeschool Toegepaste Natuurwetenschappen
- ♦ Opleiding Technische Natuurkunde
- ♦ [tnw@fontys.nl](mailto:tnw@fontys.nl)
- ♦ [h.linskens@fontys.nl](mailto:h.linskens@fontys.nl)

Fontys Hogescholen 51