



Master class meten in de
Bouwakoestiek (woningbouw)

Wim Beentjes | 1 december 2021

LBP|SIGHT
Bouw | Ruimte | Milieu

1



Wim Beentjes

1980: Bouwcentrum
Sinds 1998: LBP|SIGHT

Vakgroep Bouwakoestiek
Sinds 1980 werkzaam geluidisolatie in de woningbouw.
Sinds 1984 betrokken bij NEN 5077 en wijzigingen.
Lid normcommissie NE 351-003 Geluidwering in gebouwen.

- Overzicht van meten in de woningbouw.
- Veranderingen in de loop der jaren.

LBP|SIGHT

2



Inhoud

- Welke grootheden?
 - Welke Meetapparatuur?
 - In de loop van de tijd?
- Eengetalsgrootheden SNQ
- Normen in de loop van de tijd
- Meten is weten.....
- Aanvullende technieken
- Meet(on)nauwkeurigheid
- Meten met twee maten
 - I_{lu} versus D_{nTA}
 - W versus A
 - Octaven en tertsen
- Meetfouten
- Toegift
- Conclusies

LBPISIGHT

3

Welke grootheden?

Luchtgeluidisolatie

$$D_{nT} = L_z - L_o + 10 \lg (T/0,5)$$

Contactgeluid

$$L_{nT} = L_{co} - 10 \lg (T/0,5)$$

Geluidwering gevel

$$G = L_{2m} - C_r - L_o + 10 \lg (T/0,5)$$

Installatiegeluid

$$L_i = L_o - 10 \lg (T/0,5)$$



4

Niveaumetingen : Apparatuur In de loop van de tijd



Hoe

LBPISIGHT

5

Posities microfoon en afstanden

1978 ISO 140-4: Your own measurement procedure

NEN 5077 aantal en afstanden

vloeroppervlakte in m ²		minimaal vereist aantal meetposities	
groter dan	tot en met	bij 1 bronpositie	bij 2 bronposities
–	4	1	1
4	12	2	2
12	30	3	2
30	50	4	3
50	–	5	4

Internationaal Fixed : minimaal 5

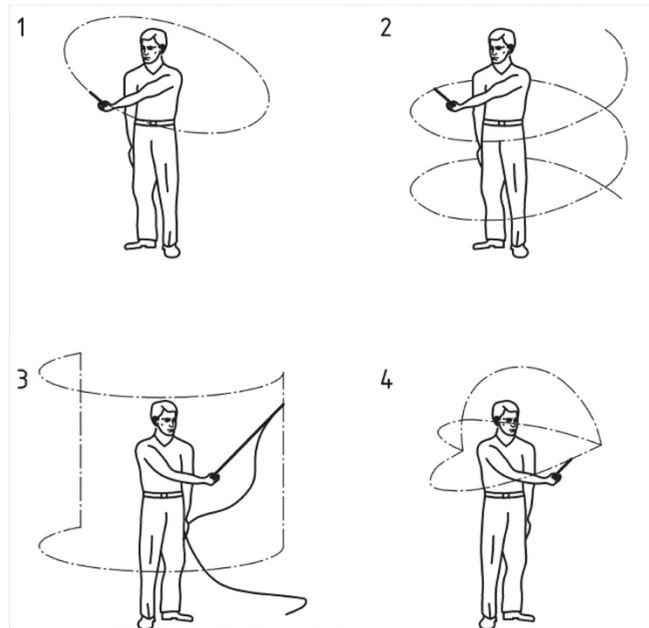
aard van het obstakel	minimaal aan te houden afstand
voornaamste geluidafstralende constructie	1
geluidbron	1
begrenzings van de ruimte	0,5 ¹⁾
personen in de ruimte	0,5
objecten met een oppervlak groter dan 0,5 m ²	0,5
overige meetposities	1

LBPISIGHT

6

Ochtendgymnastiek voor akoestici:

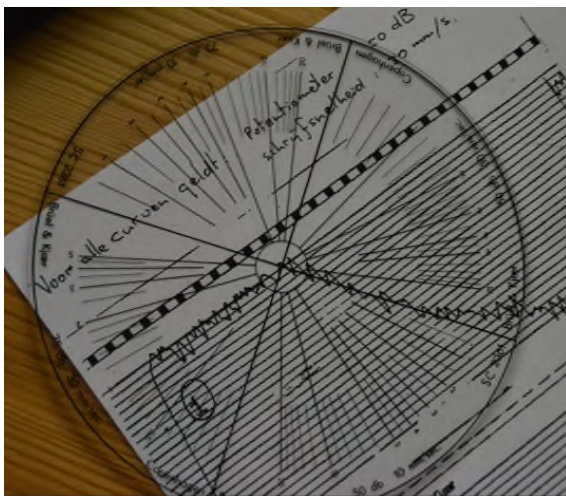
- CONFORM ISO 16283 : 2014
 - Eerste Round Robin met deze techniek: grote spreiding.
 - 1 en 2 linkshandig.
 - 3 en 4 rechtshandig.
 - Te precies omschreven.
-
- Conclusie:
 - Fixed positions voorkeur.



LBPISIGHT

7

Nagalmtijd meten in de loop van de tijd 1965 -1983



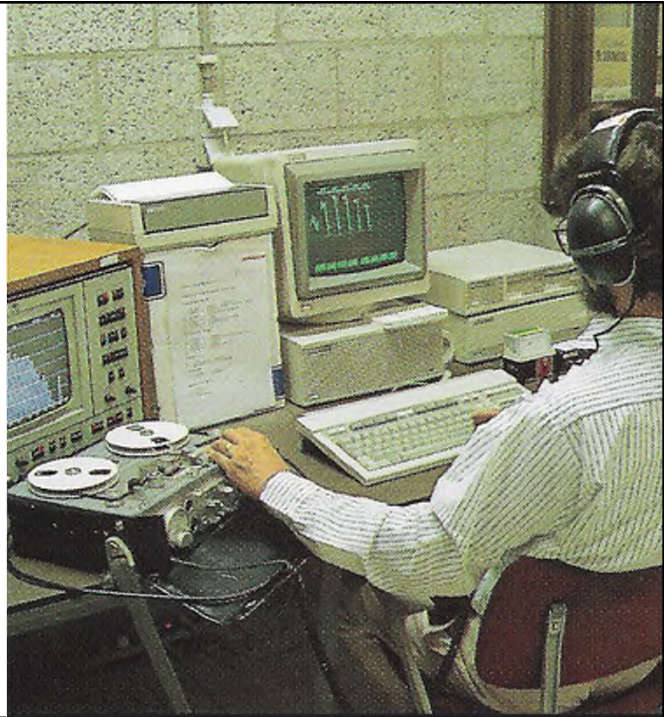
LBPISIGHT

8

Nagalmtijd meten in de loop van de tijd

1983 - 1997

- Opnemen met bandrecorder.
- Verwerken en opslaan in computer.
- Niveaus in computer met code.
- Berekening I_{LW} , I_{CO} , G_A en L_{IA} .



9

Nagalmtijd meten

Na 2010

- Met geluidniveaumeter op locatie.
- Gelijk nagalmtijden in tertsen en octaven.
- Tijdconstante meter: $< T/20$.
- Na 2019: tijdconstante $< T/30$.
- Wie heeft er weleens de nagalmtijd in bewoonde woningen gemeten in de stand Fast?
- $T = 13,8 * 0,125 = 1,72 \text{ s}$.



10

Genereren geluidveld in zendruimte Luchtgeluid en geluidwering gevel

- Eerst boxen met highpower-luidspreker breedbandig.
- Bron geplaatst in drievlakshoek.
- In ISO 16283 -1 en 3: omnidirectioneel.
- Vraag waarom :
 - minder spreiding in zendruimte
- Bij gevel: je gooit bijna al het geluid weg!



13038



11

Geluidbron contactgeluid

- Het slechtste apparaat > het beste dat we hebben.
 - Geen standaard looper nodig.
- In ISO 16283-2 ook:
 - Rubber bal voor de lage frequenties. Tot 600 Hz
 - Met twee man op stap.
 - (Nog) niet in woningbouw in Nederland
 - Alternatief bij lichte constructies
 - In Japan ook de scooterband automatic
 - met twee man vervoeren
 - Niet praktisch in de woningbouw > laboratorium only



LDFIDIGHT

12

Installatiegeluid: werkcyclus

Zie ISO 16032 (2004) (under revision): L_{ASmax}

- Lift
 - Beneden – alle verdiepingen stoppen – boven en dan direct naar beneden.
- Toilet
 - Doortrekken – tot vlotter kraan weer afsluit.
- Kraan
 - Helemaal open van koud naar warm en terug.
- CV
 - Koud – naar warm, één voor één radiatoren open en dicht helemaal afkoelen.
- Mechanische ventilatie
 - L_{Aeq} bij ventilatie die voldoet aan het Bouwbesluit



13

Een-getals-aanduidingen(SNQ)

Luchtgeluid en geluidwering gevel

- Oudnederlands: I_{ij}
 - Partiële verschillen
- D_{nTA} : A-weging C
 - terts 100 – 3150 Hz
 - oct 125 – 2000 Hz
- G_A -correctie C_{tr}
- D_{nTw} (C,Ctr)
- Algemene formule:

$$X_{Aj} = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \text{ dB}$$

Frequency Hz	Sound levels, L_{ij} dB			
	Spectrum No. 1 to calculate C		Spectrum No. 2 to calculate C_{tr}	
	One-third octave	Octave	One-third octave	Octave
100	-29	-21	-20	-14
125	-26		-20	
160	-23		-18	
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	-10
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1000	-10	-5	-8	-4
1250	-9		-9	
1600	-9		-10	
2000	-9	-4	-11	-6
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

NOTE All levels are A weighted and the overall spectrum level is normalized to 0 dB.

LBPISIGHT

14

Een-getals-aanduidingen

Contactgeluid

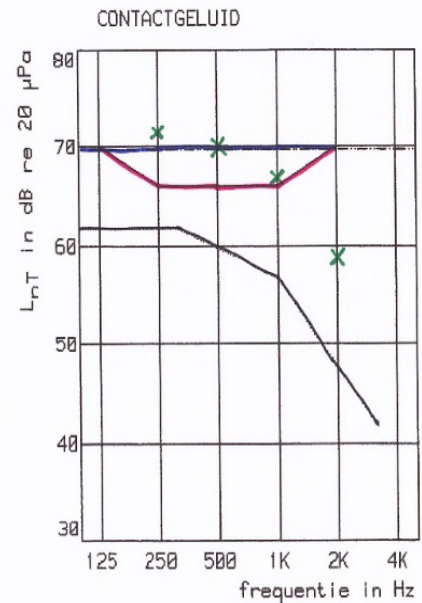
- Oudnederlands: I_{co}
- Oud
- W-weging
- L_{nTA}
 - Geen weging
 - Energetisch optellen
 - 15 vanaf trekken

— Normcurve NEN 5077

— Duitse Normcurve L'_w

— Normcurve voor $L_{nT,A}$

x x Dutch curve 1962

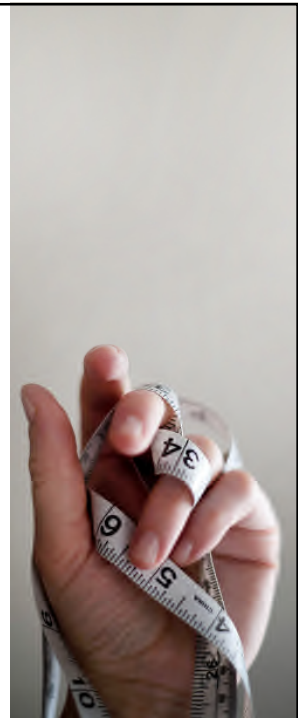


15

Normen in de loop van de tijd

- Normen steeds dikker: ISO 140-IV 1978 (5), 1998 (16), 2014 (43).
- Steeds strikter.
- Nederland:
 - 1987 NPR 5077A, B en C voor technici.
 - 1991 NEN 5077 juridisch geformuleerd (deel wet).
 - Definitie van I_{luk} , G_{Ak} en L_{IAK} (vrije indeelbaarheid).
 - 1992-9-29 regeling Bouwbesluit: somformule I_{luk}
 - 1997 vereenvoudigde somformule + C_{vg}

$$I_{lu;k} = -10 \lg \left[\sum_{j=1}^m \frac{V_j}{6 T_0 S_{z;vg}} 10^{\frac{I_{lu;j}}{10}} \right] - 1 - c_{vg}$$



16

Vervolg Nederlandse ontwikkelingen

C_{vg}

Totaal aantal ruimten van het verblijfsgebied	Herleidingsterm C_{vg} in dB			
	Aantal gemeten ruimten van het verblijfsgebied			
	1	2	3	≥ 4
1	0			
2	1	0		
3	1,5	0,5	0	
≥ 4	2	1	0,5	0

- 2001 Introductie constructiedeel gevels.
- 2006 Introductie D_{nTA} , D_{nTAK} , L_{nTA}
0,16V/ST₀ versus V/3S scheelt + 0,2 dB
- 2019 Tertsmetingen in plaats van octaaf (ISO 16283 1, 2, 3)
Stringenter, eisen bron aantal bronposities.



17

Huidige norm NEN 5077:2019

- Richtkarakteristiek bron: omni-directioneel: dodecaëder.
- Alleen Nederland en Japan meten tot nu toe in octaven.
- Verplicht meten in tertsen: projecten na 1-1-2021.
- Meer aandacht voor exceptionele ruimten (niet in woningbouw).
- Meer posities etc.
- Extra procedure bij 50 t/m 80 Hz als $V < 25 \text{ m}^3$: in hoeken meten.
- $$L = 10 \cdot \lg[(10^{\text{MAX}(L_{\text{hoek}}, 1)}) + 2 \cdot 10^{\text{MAX}((L_{\text{galm}})^*, 1)/3}]$$

Engineering vs Survey method

- Toestaan van survey methode (ISO 10052).
 - als verschil met eis ABS(verschil) $\geq 2 \text{ dB}$.
 - Minder posities van geluidbronnen en microfoons
 - Geen strenge omnidirectionele eis luchtgeluidbron
 - Wel altijd de nagalmtijd meten.



18

Meten is weten!

- MAAR...
- Is een SNQ genoeg!
- Maar als je meet-object een black box is... leer je niks.
- Dus:
- Meten is alleen weten, als je weet wat je meet.
- Constructies herkennen aan het meetresultaat.

Tabel-2.1::Tabel-voor-vastleggen-van-toegepaste-constructies¶

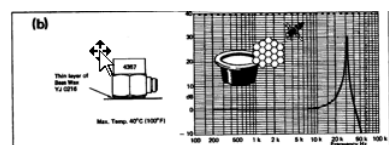
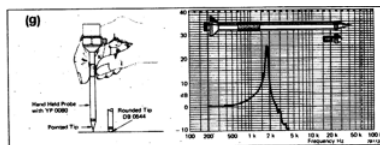
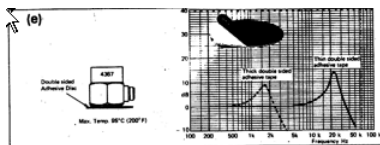
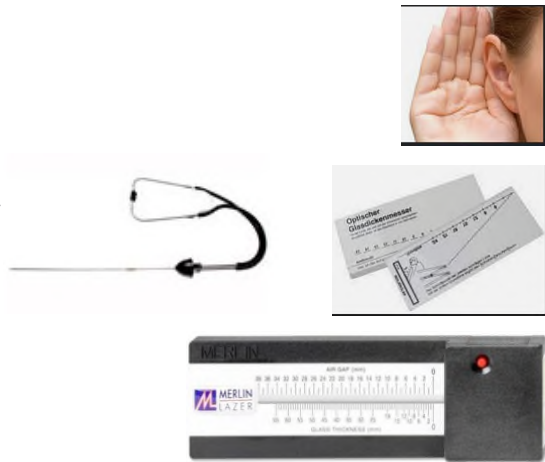
PROJECT:	→	projectnr.: _____¶
Meetdatum:	→	waarnemers: _____¶
Gebruikte constructies¶		
Type/schakeling □	2/1kap rij par / gesp / ruglaan/rug egh / mgh portiek/ galerij / kwadrant □	
Woningscheidende wand massief/ankerloos □		
Materiaal¶	Kzb / kze / betonsteen / beton gestort / prefab beton / cellenbeton / hsb / ¶	
Dikte¶	_____ mm massa = _____ kg/m ³ ¶	
Bijzonderheden¶	dilatie; stuclaag; stabilisatiewand¶	
Begane grondvloer NPR 5070 : Ba		
Materiaal¶	Kanaalplaatvloer / PScombinatie / Stampbeton / Ribcassette / ... ZC / Anhy. ¶	
Dikte¶	_____ mm + _____ mm ¶	
Bijzonderheden¶	wol bij wsw / flexibel / verdiepte fundering _____ m / rubbergranulaat / vilt / drielaags ¶	
¶	wsw / dekvloer star / flex - EPS fabriek - EPS langs wsw / naam oplegmateriaal¶	
Verdiepings / -woningscheidende vloer massief - / ΔL _{iso} = _____ dB - droge / natte vq - dekvloer NPR 5070 : Va		
Materiaal¶	Beton / breedplaat / kanaalplaat / ter plaatse gestort / Wingvloer / ZC / Anhy. ¶	
Dikte¶	_____ mm + _____ mm - massa : _____ kg/m ³ ¶	
Bijzonderheden¶	verend - opgelegde dekvloer type : ¶	
Binnenspouwblad NPR 5070 : Ga		
Materiaal¶	Kzb / kze / prefab beton / gestort beton / HSB ¶	
Dikte¶	_____ mm massa : _____ kg/m ³ ¶	
Bijzonderheden¶	Star / flexibel - ¶	



19

Aanvullende technieken

- Gebruik van een stethoscoop (geluidleken en trillingen).
- Glasdiktemeter.
- Suskast open, suskast dicht.
- Geen intensiteitsmetingen: te lange nagalmtijd.
- Ga met drie microfoons op stap (2 van jezelf).
- Trillingsanalyse.



20

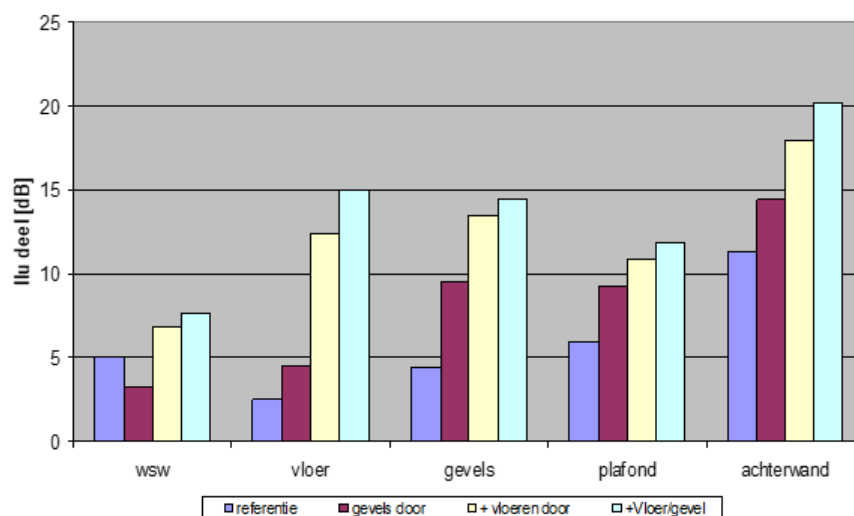
Hulpmiddelen trillingsanalyse

- Met versnellings/snelheidsmeter de vlakken ontvangruimte aftasten.
- Bevestiging: tape of bijenwas of pin.
- Niet voorspellen van ontvangniveau maar deelisolatie.
- Luchtgeluid
 - $D_{nT,i} = L_z - 20 \lg (a_i/a_0) + 10 \lg (0,32 V / S_i) + 20 \lg (f) - 136 - 10 \lg (\sigma_i)$ [dB] $a_0 = 1 \text{ m/s}^2$
- Contactgeluid
 - $L_{nT,i} = 20 \lg (a_i/a_0) - 10 \lg (0,32 V / S_i) - 20 \lg (f) + 136 + 10 \lg (\sigma_i)$ [dB]
- Afstraalfactoren: theorie van Maidanek.
- Situaties onderling vergelijkbaar.

LBPISIGHT

21

Voorbeeld: bij massieve wand doorzagen verbindingen



LBPISIGHT

22

Hulpmiddelen: verbindingsdemping

- Meten van de verbindingsdempingen ISO 10848:
 - Alleen toepasbaar bij onderzoek in mock-up.
 - In bewoonde situatie te tijdrovend (die man met die hamer!!)
 - Maakt vergelijking met theorie mogelijk. En aanscherping (EN 12354)
 - Zeer belangrijk bij transitie naar lichter bouwen in mock-up-situaties.

LBPISIGHT

23

Meet(on)nauwkeurigheid

Round Robin

1986 NPR 5077

 I_{Lr} , I_{Co} en G_A 1990 L_{IAk}

Tabel A1: De standaardafwijking voor reproduceerbaarheid bij diverse metingen volgens NEN 5077; σ_m in dB

Bron	Ruimteniveau	Verblijfsgebied / gemiddelde herhaling
luchtgeluid	1,1	(<1,1)
geluidwering gevel	0,8	(<0,8)
contactgeluid	1,3	(1,3)
ventilatie	(1,1)	1,1
CV	1,1	(1,1)
toilet	1,7	1,1
kraan	2,4	1,5
lift	(4,5)	-

OPMERKING
De waarden tussen haken () zijn geschat uit de overige onderzoeksresultaten.

LBPISIGHT

24

Meet(on)nauwkeurigheid

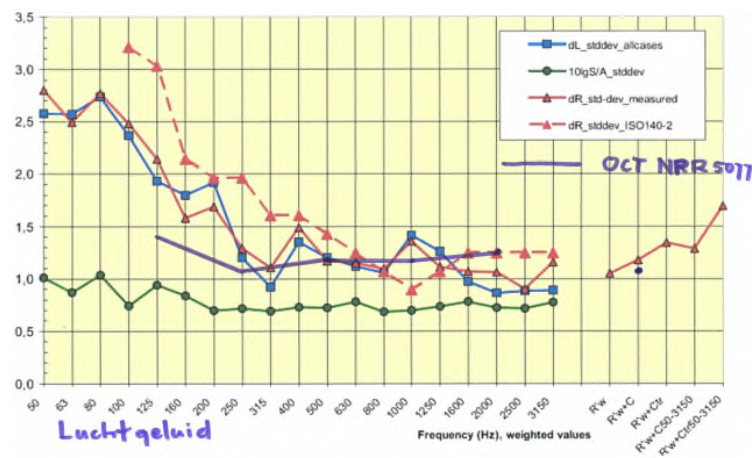
Reproduceerbaarheid SNQ

- Verschil tussen maximum en minimum: $2,83 \cdot$ standaard afwijking (s_R).
- Praktisch $s_R = 1,1$ dB :
- als het verschil tussen twee metingen in dezelfde situatie groter is dan 3 dB:
 - dan heeft minstens 1 van de 2 zich niet aan de norm gehouden.
 - of de constructie is veranderd.

LBPI SIGHT

25

Internationale Round Robin standaard afwijking



LBPI SIGHT

26

Goed- of afkeuren

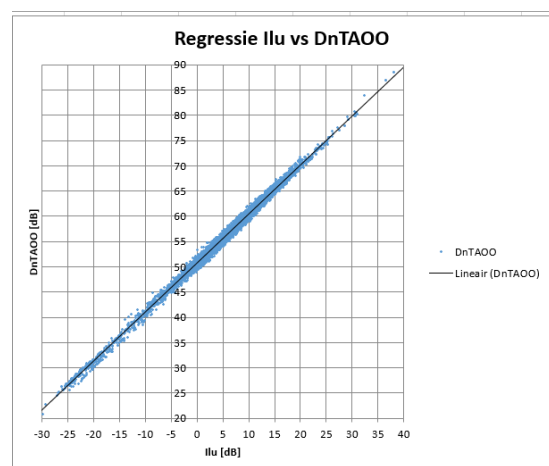
- Meten volgens NEN 5077 (door Bouwbesluit aangewezen).
- Procedure volgen tot het eind > dat is de SNQ.
- Dat resultaat moet worden getoetst.
- Geen correcties meer voor wat dan ook.
 - Alleen middelen bij meer metingen conform NEN 5077
 - één dB = één dB 52 dB vs 51 dB
- Rechtspraak / Arbitrage
 - meetonnauwkeurigheid niet ten gunste van een der partijen uitleggen.
- Hoe zal dat gaan onder wet kwaliteitsborging?
 - Zal de kwaliteitsborger net zo streng zijn als de Arbitrer ?
 - Bevoegd gezag in de 80 jaren : vaak -3 dB dat is ook nog goed
 -
 -



27

Metten met twee maten D_{nTA} en I_{lu}

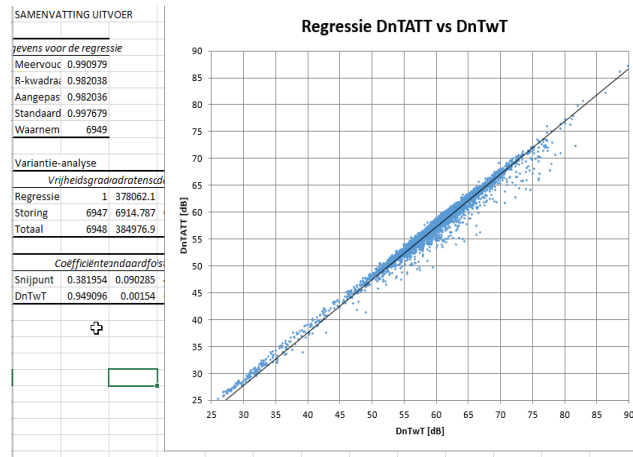
- Aantal: 8815.
- Standaard fout = 0,6 B.
- $D_{nTA} = 50,7 + 0,97 I_{lu}$
- In literatuur:
 - $D_{nTA} = 51 + I_{lu}$



LBPI SIGHT

28

Meten met twee maten: DnTAT en DnTwT

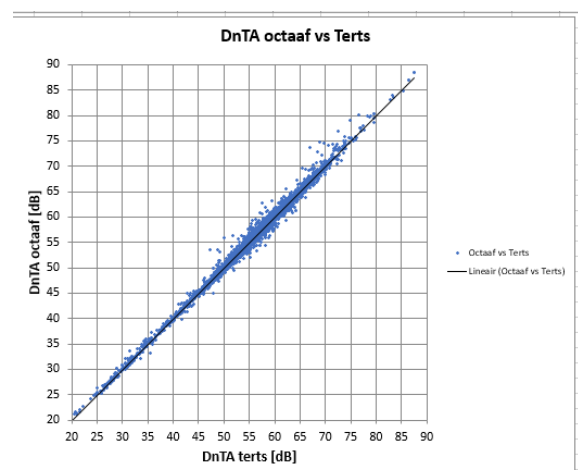


LBPI SIGHT

29

Meten met twee maten: D_{nTA} octaaf - tert

- Aantal: 6783.
- Standaard fout = 0,6 dB.
- $D_{nTA,octaaf} = -0,04 + 1,00 D_{nTA,terts}$ dB
- Over het algemeen geen grote verschillen.
- Grote verschillen bij lage frequenties:
 - HSB.
 - Licht bouwen.
- Interactie bij:
 - Lage zendniveaus.
 - En lage geluidisolaties.

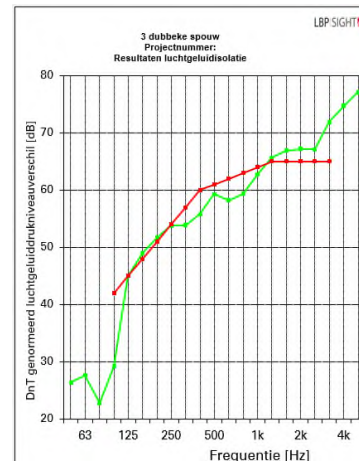


LBPI SIGHT

30

Grote verschillen D_{nTA} octaaf en Terts: voorbeeld

- D_{nTA} octaaf: 59,5dB
- D_{nTA} (terts-octaf): 53,9 dB
- D_{nTA} terts: 56,3 dB
- D_{nTw} octaaf: 61 dB
- D_{nTw} terts: 61 dB
- A-weging geen compensatie
- W-weging wel
- In ISO 16283 deel 1:
 - Verschil opeenvolgende tertsbandniveau.
 - Maximaal 8 dB.
 - Anders bron iets verplaatsen.



LBPISIGHT

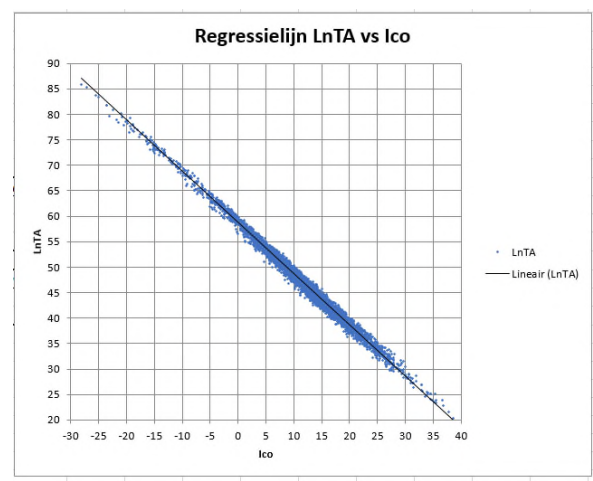
31

Metten met twee maten: L_{nTA} en I_{CO}

Aantal: 5400.

Standaard fout = 0,8 dB.

$L_{nTw} = 58,8 - 1,0082 I_{CO}$ dB.



LBPISIGHT

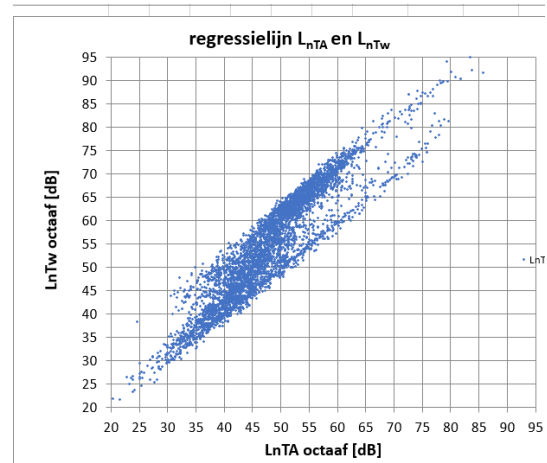
32

Meten met 2 maten: L_{nTA} en L_{nTw}

Aantal: 5400.

Standaard fout = 4,4 dB.

$$L_{nTw} = -3,2 + 1,2 L_{nTA} \text{ dB.}$$

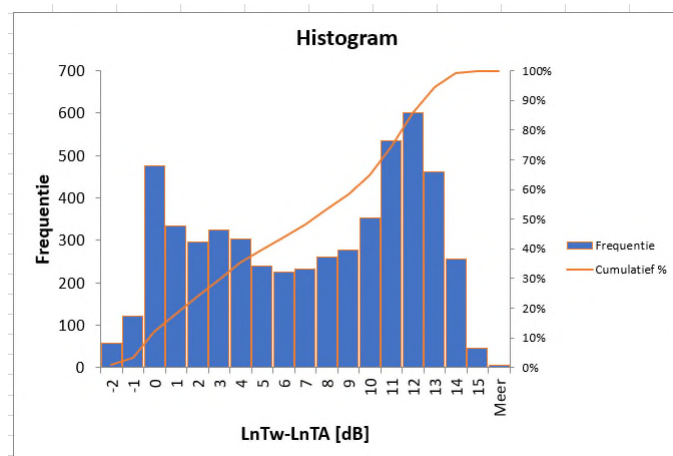


LBPISIGHT

33

Histogram verschil $L_{nTw} - L_{nTA}$

- ca 11 dB:
 - massieve constructies
- ca 0 dB:
 - HSB, houten vloeren
- 4 á 8 dB:
 - Bg flex of ankerloos
 - Slechte vo dekvloer

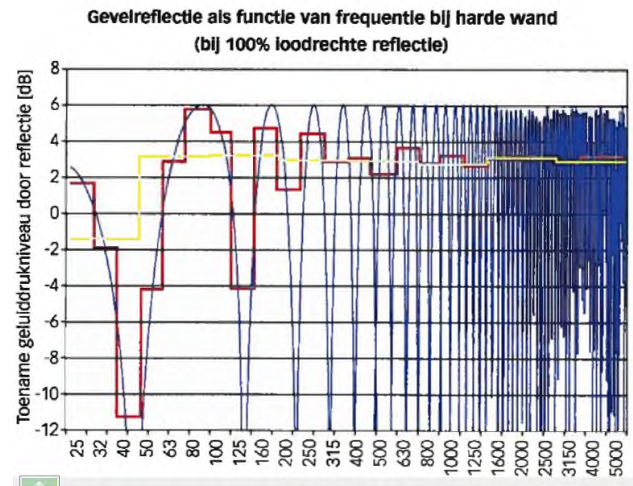


LBPISIGHT

34

Meten met twee maten Geluidwering gevel octaaf en terts

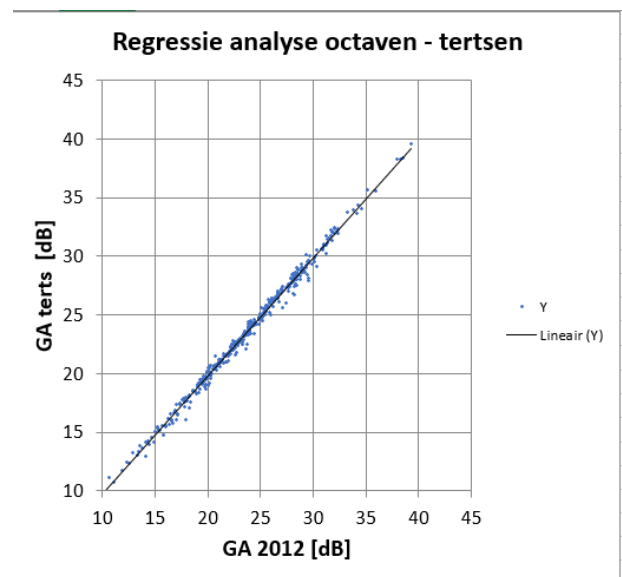
- Theorie in 1986 NPR 5077C
- Effect reflectie tegen gevel:
 - Loodrecht.
 - Rood in tertsen.
 - Geel in octaven.
- Effect vergelijkbaar bij inval 45°
- Nooit meten in tertsen.
 - ALTIJD octaven.
- Praktijk tot nog toe.
- Wat is het effect nu naar tertsen?



35

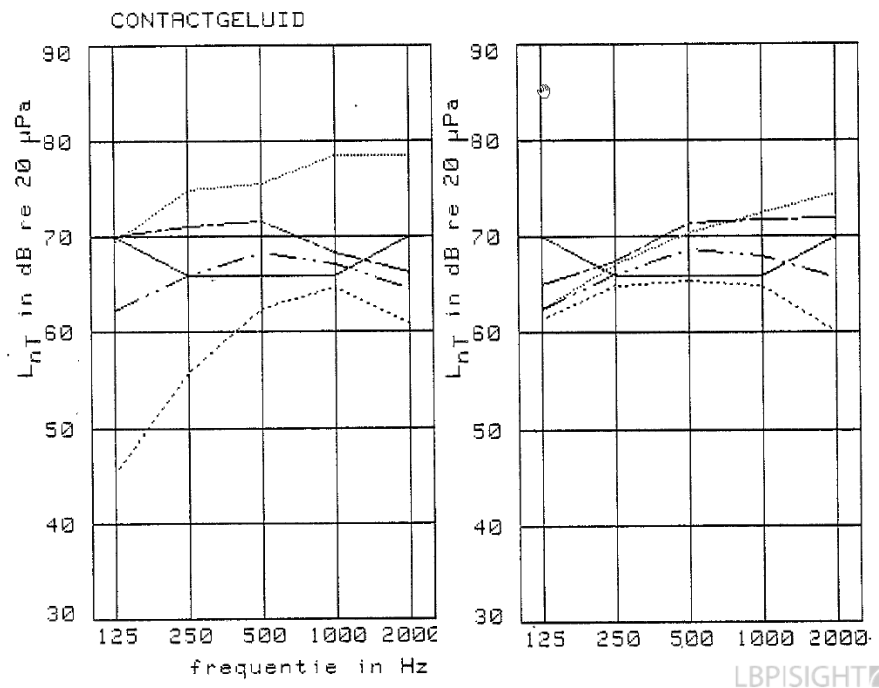
Geluidwering gevel octaaf naar terts

- Regressie analyse.
- Aantal: 419.
- $G_{A\text{ tertsen}} = -0,32 + 1,007 G_{A\text{ octaaf}}$
- Standaard fout : 0,40 dB.
- Geen/weinig correlatie tussen:
 - direct en reflectie.
 - toepassing roze ruis.
 - 125 Hz niet bepalend?



36

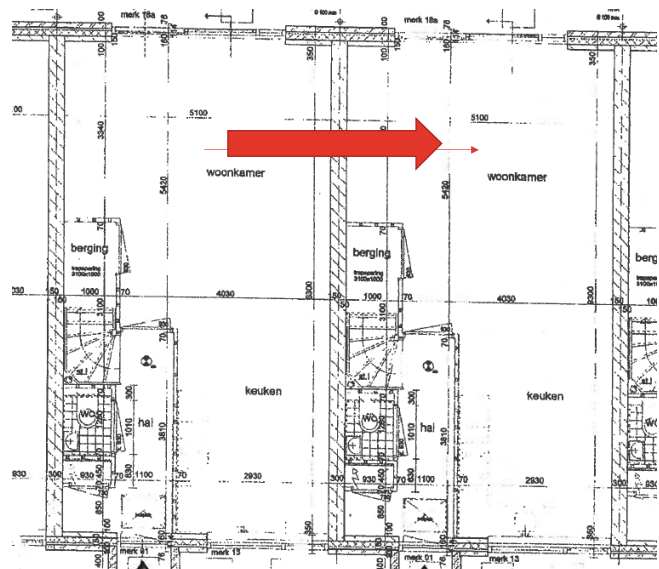
Meetfout 1



37

"Meetfout 3"

- Meting woningen parallel geschakeld.
- In de meetbladen bleek : $l_{luk} = i_{lu} = 3$ dB.
- maar $V = 129$ m³ en $S = 15,2$ m²:
 - $V/S = 8,5$ m
 - $l_{luk} = l_{lu} - 10\log(V/3S) - 1$ dB
- Hoe kan dat?
- Als S is ingevuld het vloeroppervlak!!
- $V/S = 2,6$ m.
- Voldoen en toch niet voldoen.



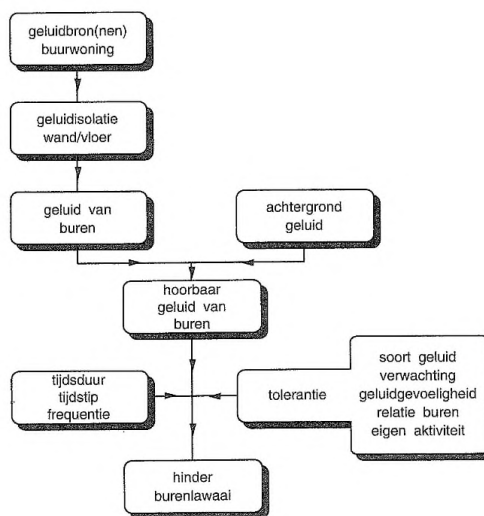
LBPISIGHT

38

Toegift : De Lawaaimeter

Bij geluidhinder 3 componenten:

- Het geluid in de buurwoning.
 - De geluidisolatie van de scheidingsconstructies.
 - De geluidgevoeligheid van de ontvanger.
 - De dagelijkse praktijk: alleen de geluidisolatie.
 - Wat te doen bij ernstige klachten?
-
- Rein Muchall
 - De lawaaimeter
 - geluidniveaumeter in woning klager.
 - trillingsmeter op scheidingsconstructie.
 - Bij geluid van buiten : microfoon 1m voor gevel



LBPISIGHT

39

lawaaimeter beoordeling

Uitgebreide rapportage over alle gemeten factoren

Tabel 4. Klassenindeling burenlawaai

KLASSE BURENLAWAAI	OMSCHRIJVING	OVERSCHRUIJING VAN HET NORMNIVEAU
0	Buren wel hoorbaar maar normaal niet hinderlijk	Geen
1	Buren tamelijk vaak duidelijk hoorbaar. Vaak enige geluidoverlast, soms ernstige geluidhinder	0-5 dB
2	Vaak ernstige geluidhinder	5-10 dB
3	Ontoelaatbaar veel geluidoverlast	Meer dan 10 dB

De rechter bepaalt

de ernst van de situatie
de gevolgen voor de lawaaimaker

Burgemeester kan optreden ASO wet

Beschrijving	symbool	eenheid	geluiden binnen LAeq	Piekgeluiden binnen LAmax	Geluidniveau 1 m voor de gevel	piekgeluiden 1 m voor de gevel
grenswaarde representatieve geluidniveau in de woon of slaapkamer overdag niet tonaal en niet impulsvormig geluid	Lrap	dB(A)	35	55	50	70

Tabel 2. Toeslagfactoren

Beschrijving	Symbool	Eenheid	Continu geluid binnen LAeq waarde	Piek geluid binnen LAmax waarde	Continu Geluid 1 m voor de gevel Waarde	Piekgeluid 1 m voor de gevel Waarde
gemeten geluidniveau per gebeurtenis	Lm	dB(A)	Legm	LAmx	Lu,1m	LuAmx
Toeslagen op gemeten geluidniveau		dB(A)				
Tijdstip	ctijd					
Avond				5	5	5
Nacht				10	10	10
Nagalm bij meting in ongemeubileerde kale ruimte	Cgalm	dB	-5	-5	-5	-5
soort geluid	Csoort					
Muziek			10	10	10	10
Stemmen			10	10	10	10
Blaffen			10	10	10	10
impulsvormig: meervoudige pieken binnen 2 minuten			5	5	5	5
impulsvormig: repeterende pieken binnen 2 seconden			5	10	10	10
tonaal: brommen, piepen, janken			5	0	0	0
Vermijdbaarheid	cver					
overbodig en vermijdbaar op dat tijdstip				5	5	5
expres geluid om te pesten				10	10	10
Communicatie	ccom					
lawaaimaker informeert bij incidenteel lawaai van te voren en geeft aan wanneer herrie is afgelopen			-10	-10	-10	-10
oudbouwfretk scheidingsvloeren	ogeb					
bouwjaar voor 1940 houten vloeren			-5	-5	0	0
bouwjaar 1940-1965 dunne betonvloer			-3	-3	0	0

40

Conclusies

- Meten steeds uitgebreider
- Meetapparatuur :steeds meer in de geluidmeter
- Overstappen van SNQ geen consequentie
 - I_{LU} naar D_{nTA}
 - Octaaf naar terts
- Bij lichter bouwen : grotere s_R (lage frequenties < 100 Hz)
- Blijf goed opletten : vermijdt fouten
- Nadruk op de woning
 - Toetsen aan overeenkomst
 - (behalve de lawaaimeter)
- Toekomst :
- Wet kwaliteitsborg: Hoe gaat dat met goed- en afkeuren

Nederlandse norm

NEN 5077
(nl)

Nederlandse norm

NEN-EN-ISO 16283-1
(en)

INTERNATIONAL STANDARD **ISO 16283-2**

ISO/DIS 16283-3

EN ISO 16032

NEN-EN-ISO 10052 (en)

De Lawaaimeter

41

Vragen?



Wim Beentjes

w.beentjes@lbpsight.nl

06-53126786



LBP|SIGHT

info@lbpsight.nl

030-2311377

LBP|SIGHT

42