

INHOUDSOPGAVE

1.	<u>INLEIDING</u>	.....
1			
1.1.	Algemeen	.....	1
1.2.	Wat wordt er gemeten	.....	3
2.	<u>BRONIDENTIFICATIE</u>	.....	3
2.1.	Geluidbronnen in het vrije veld	.....	3
2.2.	Geluidbronnen in gesloten ruimten	.....	4
2.3.	Benoemen van het geluid	.....	5
3.	<u>APPARATUUR</u>	.....	6
3.1.	Basis onderdelen	.....	6
3.2.	Microfoon	.....	7
3.3.	Versnellingsopnemers	.....	8
3.4.	Geluidniveauschrijver	.....	10
3.5.	DAT-recorder	.....	11
4.	<u>CALIBRATIE</u>	.....	12
4.1.	Algemeen	.....	12
4.2.	K-factor	.....	12
4.3.	Pistonfoon	.....	12
4.4.	Geluidniveau calibratie	.....	13
4.5.	Reciproke calibratie	.....	13
4.6.	Elektrostatistische calibratie	.....	13
4.7.	Calibratie bij versnellingsopnemers	.....	14
5.	<u>STOORINVLOEDEN</u>	.....	15
5.1.	Reflecties	.....	15
5.2.	Invloed van weer en wind	.....	16
5.3.	Achtergrond geluid	.....	17
6.	<u>GELUIDDRUK</u>	.....	18
6.1.	Middelingsstijden	.....	20
6.2.	Frequentie-analyse	.....	21
6.3.	Weegfilters	.....	23
6.4.	Overige metingen	.....	24
6.4.1.	Intensiteitsmetingen	.....	24
6.4.2.	Trillingsmetingen	.....	25

INHOUDSOPGAVE

7.	<u>MEETNAUWKEURIGHEID</u>	26
7.1.	Algemeen	26
8.	<u>NEN 5077</u>	28
8.1.	Algemeen	28
8.2.	Apparatuur	29
8.2.1.	Ruisgenerator	29
8.2.2.	Contactgeluid-generator	30
8.2.3.	Geluidmeetset	31
8.2.4.	Meetcondities	32
8.3.	Bepaling van de geluidisolatie tussen ruimten	34
8.3.1.	Algemeen	34
8.3.2.	Plaatsing luidsprekers	35
8.3.3.	Calibratie	36
8.3.4.	Geluidmetingen in de zend- en ontvangruimte	37
8.3.5.	Metten en verwerken stoorsignalen	38
8.3.6.	Bewerking van stoorniveaus	40
8.3.7.	Nagalmtijden	42
8.4.	Contactgeluidisolatiemetingen	43
8.4.1.	Algemeen	43
8.4.2.	Metingen	44
8.5.	Geluidmeting van de gevel	46
8.5.1.	Algemeen	46
8.5.2.	Plaatsing van de geluidbron	47
8.5.3.	Metingen	48
8.6.	Metten van installatie geluid	49
8.6.1.	Algemeen	49
8.6.2.	Metingen	50
9.	<u>HANDLEIDING IL-HR-13-01</u>	
	52	
9.1.	Algemeen	52
9.2.	Meetapparatuur	53
9.3.	Type geluid	54
9.4.	Directe immissiemetingen A1	54
9.5.	Extrapolatie methode A2	56
9.6.	Kentallen en vermogenniveau methode A3	57
9.7.	Metingen aangepast meetvlak methode B4/C4	58
9.8.	Rapportage	59
10.	<u>TRILLINGSMETINGEN (o.a. methode C6)</u> ...	60
10.1.	Algemeen	60
10.2.	Verrichten van trillingsmetingen	61
10.3.	Bevestiging van de opnemer	62
10.4.	Metingen	64
10.5.	Trillingsmetingen met geluidniveaumeter	65

INHOUDSOPGAVE

11.	<u>HINDER DOOR TRILLINGEN</u>	
	66	
11.1.	Algemeen	66
11.2.	Meten van trillingen	67
11.3.	Calibratie	68
11.4.	Richtlijn 2 van de Stichting Bouwresearch	68
11.5.	Afgestraald en laag frequent geluid	73
12.	<u>METEN VAN OMGEVINGSGELUID</u>	74
12.1.	Algemeen	74
12.2.	Metingen	75

Bijlage : Gehanteerde literatuur en gegevens

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

Het doel van het verrichten van geluidmetingen is het op objectieve wijze vastleggen van geluid. Dit om uitspraken te kunnen doen over de hinderlijkheid van deze geluiden of, in het geval van een verschil-meting, over de verzwakking die optreedt door het opwerpen van een barrière in het geluidpad tussen de bron en de waarnemer (c.q. oor).

Gelet op de moderne meetapparatuur die thans voorhanden is, lijkt het meten van geluid een eenvoudige handeling te zijn geworden die door éénieder uitgevoerd kan worden, niets is echter minder waar. Alleen als men op de hoogte is van de factoren die van invloed kunnen zijn op het geluidsignaal, het fysische verschijnsel en de beperkingen van de apparatuur kunnen we met een zekere betrouwbaarheid een uitspraak doen over het geluidniveau. In deze syllabus ga ik in op diverse aspecten van geluidmetingen.

Zoals bekend omvat de akoestiek vele disciplines die elk hun eigen meetprocedures hebben. Bouwakoestische metingen hebben een andere meetprocedure dan metingen op de arbeidsplaats of in de industrie. Alvorens we gaan meten dienen we vast te stellen **wat** we gaan meten en dan gaat het niet alleen over het type geluidbron maar ook welke grootte gaan we registreren, druk, intensiteit, versnelling, snelheid of verplaatsing.

We hebben hiervoor een groot scala aan moderne digitale registratie-apparatuur voor handen die deze signalen kunnen verwerken. Deze apparatuur maakt het zelfs mogelijk de meetprocedure volledig te automatiseren.

In het voorliggend dictaat zal in hoofdzaak ingegaan worden op bouwakoestische metingen en (beknopt) op metingen die verwant zijn aan de bouwakoestiek en metingen die van belang zijn voor het bepalen van geluidniveaus in en rond gebouwen.

1.2. Wat wordt er gemeten

In geval van geluid hebben we te maken met een geluidbron, een overdrachtsgebied en de ontvanger.

Het identificeren van de geluidbron is van belang om te kunnen bepalen welke meetapparatuur het meest geëigend is voor het registreren van het geluid. Zo kan bepaald worden of frequentie-analyse noodzakelijk is, welke gevoeligheid onze meetapparatuur dient te hebben en welke meetprocedure er gekozen kan worden (etc.).

Daarnaast is het van belang het overdrachtsgebied (transmissiepad) te kennen. Indien dit een bekende grootte is, kunnen we een goede afweging maken tussen het, dicht bij de geluidbron meten, of het verrichten van metingen bij de ontvanger.

We kunnen ook het transmissiepad vastleggen door middel van een verschil-meting. Op basis van deze metingen kan vervolgens een uitspraak (prognose) worden gedaan over de optredende geluidniveaus bij de ontvanger bij verschillende type geluidbronnen.

Uiteraard is het van belang de ontvanger en het ontvanggebied te kennen, zo spelen de eigenschappen van de ontvangkamer in belangrijke mate mee bij tot de beleving van het geluid in die kamer.

Doordat er een vaste relatie bestaat tussen de bron, het overdrachtsgebied en de ontvanger en door de opkomst van de personal computer worden er steeds vaker geluidberekeningen verricht in plaats van metingen, ook al omdat dit de investering in dure geluidmeetapparatuur voorkomt en het werk van achter het bureau verricht kan worden. Een waarschuwing is hier op zijn plaats, de slogan blijft METEN IS WETEN.

Reken-exercities moeten (steekproefsgewijs) gecontroleerd worden om een uitspraak te kunnen doen over de betrouwbaarheid van de berekeningen. Schematische computermodellen van de werkelijkheid dienen zo veel mogelijk "gecalibreerd" te worden met meetresultaten uit de werkelijke situatie.

2. BRON IDENTIFICATIE

2.1. Bronnen in het vrije veld

Het aantal geluidbronnen waarmee we in de bouwakoestiek te maken krijgen is erg groot; denk hierbij aan luidsprekers, muziekinstrumenten, technische installaties, menselijke stem etc..

De akoestische- en richtingskarakteristieken van deze bronnen kunnen enorm verschillen, gelukkig kunnen in de praktijk deze bronnen gemodelleerd worden door enkele theoretische geluidbronnen.

Voor het bepalen van de juiste meetmethode en meetgrootte alsmede om een inschatting te kunnen maken van de afname van het geluiddrukkniveau als functie van de afstand, is het van belang de akoestische eigenschappen van de bron te kennen. We kunnen in hoofdzaak de volgende akoestische bronnen onderscheiden:

1. Monopool;
2. Dipool;
3. Vlakke bron;
4. Lijn bron.

In figuur 2.1. is voor een aantal bronnen in het vrije veld de afname van het geluiddrukkniveau t.o.v. de afstand gegeven.

Monopool

Dit is de meest eenvoudige geluidbron. Door de symmetrie van de bron worden er sferische golven geproduceerd in het omringende medium. In de praktijk kunnen veel geluidbronnen op deze wijze worden beschreven. Dit type geluidbron kan het best worden verbeeld als een pulserende bol.

Dipool

Dit type geluidbron kan het best worden beschreven als een losse luidspreker gemonteerd in een paneel die zowel naar voor als naar achter geluid uitstraalt. Dit type bron kan geschematiseerd worden als twee monopolen 180 graden uit fase op korte afstand van elkaar. Naar mate de afstand groot wordt t.o.v. de afmetingen van dit type bron gaat deze geluidbron zich weer gedragen als een monopool.

Vlakke bron

Een vlakke bron kan worden beschreven als een trillend vlak. Op grote afstand van het vlak zal dit vlak zich weer gedragen als een monopool.

Lijnbron

Dit type bron kan worden beschreven als een oneindige lange rij onderling incoherente monopolen op onderling gelijke afstanden die samen een rechte lijn vormen.

2.2. Bronnen in gesloten ruimten

Indien een geluidbron in een ruimte wordt opgesteld zal deze geluidbron normaliter uitstralen in alle richtingen. Indien het geluid vervolgens invalt tegen een wand of object, zal hierdoor het geluid (gedeeltelijk) reflecteren. Als het reflecterend lichaam akoestisch hard en een gesloten oppervlakte structuur heeft, zal het geluid nauwelijks verzwakken ten gevolge van geluidabsorptie. De mate waarin het geluid bij reflectie wordt verzwakt, hangt af van de eigenschappen c.q. het materiaal van de reflecterende wanden of objecten. Door deze reflecties ontstaat binnen de ruimte een opslingering van het geluid. Door de veelvoud aan reflecties binnen een ruimte zal er een min of meer diffuus geluidveld ontstaan. Dicht bij de geluidbron zal de directe geluiduitstraling van de bron bepalend zijn terwijl verder van de geluidbron het gereflecteerde geluid bepalend is. De afstand tot de bron waarbij het geluidniveau van het directe geluidveld gelijk is aan het gereflecteerde geluidveld wordt de galmstraal genoemd. Voor geluidmetingen in ruimten kan op basis van deze afstand bepaald worden of de metingen in het directe geluidveld of het nagalmveld worden verricht. De formule voor het bepalen van de galmstraal luidt als volgt:

$$r_{galm} = \sqrt{\frac{Q * A}{16 * \pi * (1 - \alpha)}} 1$$

waarin:

Q = Richtingsfactor

Q = 1 (bron centraal in de kamer)

Q = 2 (bron centraal in wand)

Q = 4 (bron in hoek tussen wand en plafond)

Q = 8 (bron in drievlakshoek)

A = Totale ruimte absorptie in m² open raam

α = Gemiddelde absorptiecoëfficiënt

2.3. Benoemen van het geluid

Het geluid kan onderverdeeld worden in de oorsprong van het ontstaan. Hierin worden onderscheiden contactgeluid en luchtgeluid. We spreken van contactgeluid als er sprake is van een bron die een constructie aanstoot die vervolgens weer de lucht in trilling brengt waardoor het waargenomen wordt als geluid. Bij luchtgeluid wordt door de bron de lucht in de directe omgeving van deze bron in trilling gebracht.

Voorbeelden van contactgeluiden zijn:

- 1) Loopgeluiden van de burenen;
- 2) Boren in muren;
- 3) Het slaan van de leidingen van appendages;
- 4) Liftinstallaties;
- 5) Traplopen bij de burenen;
- 6) Pompen van CV-ketels;
- 7) In de kelder opgesteld hydrofoor.

Voorbeelden van luchtgeluid zijn:

- 1) Televisie;
- 2) Menselijk stemgeluid;
- 3) Geluidinstallaties;
- 4) Blaffende honden;
- 5) Telefoonbel.

Naast de hierboven genoemde omschrijving wordt er ook vaak gesproken over omloopgeluid en flankerend geluid.

Met omloopgeluid wordt bedoeld het geluid dat bijvoorbeeld tussen twee ruimten via een gemeenschappelijk luchtkanaal wordt overgedragen.

Met flankerend geluid wordt het geluid bedoeld dat via een in twee ruimten doorlopend vlak wordt doorgegeven van de zender naar de ontvangruimte, zoals bijvoorbeeld een doorlopende vloer- of kapconstructie.

In figuur 2.2. is schematisch het verschil tussen omloopgeluid en flankerend geluid weergegeven.

3. APPARATUUR

3.1. Basis onderdelen

De basis onderdelen van een akoestisch meetsysteem zijn:

- 1) de transducent (omvormer), deze zet het te meten signaal om in een elektrisch signaal;
- 2) de versterker, deze versterkt het zwakke elektrische signaal van de transducent tot een signaal dat geanalyseerd kan worden;
- 3) de analysator, verwerkt en bewerkt het signaal uit de versterker tot informatie die wij wensen te weten;
- 4) de recorder, legt het signaal in een bepaalde vorm vast, bijvoorbeeld op een display;
- 5) de calibrator, relateert het elektrische signaal kwantitatief aan de te meten fysische grootte zodat wij direct de sterkte van deze fysische grootte kunnen aflezen.

De keuze van de apparatuur, en met name de transducent, is erg belangrijk voor de betrouwbaarheid van het uiteindelijke resultaat. De transducent is in staat één of meerdere veldgrootheden te registreren we onderscheiden in de bouwakoestiek microfoons en accelerometers.

Door de huidige technische mogelijkheden is er een grote verscheidenheid aan betrouwbare geluidmeetapparatuur. Het is belangrijk er op te letten aan welke specificaties de apparatuur moet voldoen volgens de te hanteren meetnorm. Internationaal wordt er onderscheid gemaakt in de volgende klassen:

- | | | |
|--------|---|--|
| type 0 | : | laboratorium standaard; |
| type 1 | : | precisie geluidniveaumeter voor gestandariseerde praktijkmetingen; |
| type 2 | : | standaard geluidniveaumeter voor praktijk metingen; |
| type 3 | : | eenvoudig meetinstrument voor indicatieve doeleinden. |

Door de kwaliteit van de elektronica (versterker, analysator en recorder) is de nauwkeurigheid van transducent veelal bepalend voor de type aanduiding. In de bouwakoestiek wordt in vrijwel alle normen voorgeschreven dat de meetketen dient te voldoen aan de eisen voor meetinstrumenten van het type 1 volgens IEC-651 (NEN 10 651).

Een overzicht van de toleranties op de frequentiekaracteristieken zoals voorgeschreven in de IEC 651 is gegeven in figuur 3.1.

3.2. Microfoons

Voor het registreren van de te meten grootte wordt gebruik gemaakt van een transducent, in geval van geluiddruk wordt gebruik gemaakt van een microfoon. In de praktijk zal dit een condensator microfoon zijn, tegenwoordig veelal van het type electret. Het verschil tussen beiden is dat in het eerste geval er een polarisatiespanning dient te worden toegepast op de microfoon terwijl in het laatste sprake is van een geprepolariseerde microfoon. De electret heeft als belangrijk voordeel dat hij ongevoeliger is voor vocht en beter tegen een stootje kan.

Het type microfoon en de positie van deze microfoon in het geluidveld zijn belangrijke factoren voor de nauwkeurigheid waarmee geluiddrukkniveaus kunnen worden geregistreerd. Het is van belang te onderkennen dat ieder object dat in een geluidveld wordt gebracht, dit geluidveld zal verstoren. Dit is ook het geval bij microfoons. De verstoring zal toenemen naarmate het object groot is ten opzichte van de golflengte. Bij microfoons zal er derhalve bij de hoge frequenties een onzuiverheid optreden bij de registratie. Deze onzuiverheid is afhankelijk van de wijze waarop het geluidveld invalt op het membraan van de microfoon. De microfoonkarakteristieken zijn bekend zodat hiervoor gecorrigeerd kan worden. In figuur 3.2. zijn in een aantal grafieken de correcties weergegeven van enkele Brüel & Kjaer microfoons. De correcties uit deze grafieken dienen opgeteld te worden bij de drukgevoeligheid van de microfoon zoals aangegeven op de bij die microfoon geleverde calibratiekaart. Een overzicht van de free field correcties is gegeven in figuur 3.2..

We onderscheiden vier type microfoons te weten:

- 1) Type N, free-field normale incidence (vrije veld met 0 graden invalshoek);
- 2) Type G, free-field grazing incidence (vrije veld met 90 graden invalshoek);
- 3) Type R, random incidence response (diffuus geluidveld);
- 4) Type P, pressure response (werkelijke geluiddruk voor de microfoon).

Waarbij de free-field en random microfoon de geluiddruk registreren die aanwezig was voordat de microfoon in het geluidveld werd gebracht (dus gecorrigeerd voor verstoring van het geluidveld). De pressure microfoon registreert de geluiddruk zoals die werkelijk optreedt (dus zonder correctie). Bij de meeste microfoons komen druk- en diffuusveld karakteristiek sterk overeen.

Microfoons worden door de fabrikanten intern reeds gecorrigeerd afhankelijk van de toepassing onderscheiden we in de praktijk twee type microfoons:

- Freefield (Fr.), voor loodrecht invallend geluid;
- Random-incidence (Rmd.), voor alzijdig (diffuus) invallend geluid.

In Europa treffen we in het algemeen geluidniveaumeters aan die gespecificeerd zijn volgens de IEC. Deze meters zijn meestal voorzien van een type free-field microfoon. Op de Amerikaanse markt zijn de meters gespecificeerd volgens de ANSI en voorzien van een random-microfoon. Op een aantal meetinstrumenten treft men een schakelaar aan waarmee op elektronische wijze de correcties voor de microfoon, afhankelijk van het geluidveld, ingesteld kunnen worden. Bij het verwisselen van microfoons van verschillende geluidmeetsets dient men rekening te houden met voorgaande aspecten, voorzichtigheid is hier geboden.

Bij de calibratie van geluidniveaumeters dient rekening gehouden te worden met het type microfoon, alsmede de ingestelde elektronische correcties voor random en free-field.

Bij een 1/2 inch. microfoon is het verschil tussen een free-field microfoon en pressure microfoon circa 0,2 dB en met een random microfoon circa 0,1 dB.

3.3. Versnellingsopnemers

Voor het registreren van trillingen worden als transducent trillingsopnemers gebruikt die verplaatsing, snelheid of versnelling registreren. Zoals bekend kunnen deze grootheden, mits de frequentie bekend is, naar elkaar omgerekend worden.

In de "dagelijkse" praktijk wordt voor het verrichten van trillingsmetingen tegenwoordig veelal gebruik gemaakt van een versnellingsopnemer, met name vanwege de hoge gevoeligheid, de rechte frequentie-karakteristiek alsmede het geringe gewicht van de opnemers. Desgewenst kunnen de met behulp van deze opnemers gemeten versnellingsniveaus met een integrator in de meetketen worden omgewerkt tot een snelheidssignaal.

Het registreren van trillingsniveaus kan noodzakelijk zijn teneinde te bepalen welk constructie-onderdeel bijvoorbeeld het meeste bijdraagt aan het geluidniveau in een ruimte of teneinde een uitspraak te kunnen doen over de schadelijkheid of hinderlijkheid van trillingen. De keuze van de opnemer is afhankelijk van het trillingsprobleem.

In de praktijk wordt veelal gebruik gemaakt van versnellingsopnemers waarvan de werking berust op een seismisch-systeem. Het hart van een versnellingsopnemer bestaat uit een piëzo-element dat de eigenschap heeft een spanning af te geven dat evenredig is met de kracht die hierop wordt uitgeoefend wanneer dit element geladen is in compressie of shear, zie figuur 3.3.. De versnellingsopnemer bestaat traditioneel uit een massa-veersysteem bestaande uit een reactie-massa en de veer van het piëzo-element. In het delta-shear ontwerp van Brüel & Kjaer wordt gebruik gemaakt van drie massa's en drie piëzo-elementen die zich gedragen als een veer tussen de basis van de opnemer en de seismische massa. Het frequentie-gebied waarin de versnellingsopnemer gebruikt kan worden, ligt ver onder de resonantie-frequentie van het massa-veersysteem van de versnellingsopnemer.

Hoewel normaliter bij trillingsmetingen gebruik wordt gemaakt van een aparte voorversterker zijn er tevens versnellingsopnemers waarbij een voorversterker is ingebouwd.

Indien de opnemer een relatief hoog gewicht heeft ten opzichte van het te meten constructie-deel, kan dit de meetresultaten beïnvloeden. Aangezien de opnemers telkens gebruikt zullen worden op andere constructie-onderdelen is het niet mogelijk hiervoor vast correcties te geven (zoals bijvoorbeeld voor microfoons). In het algemeen kan worden gesteld dat de massa van de opnemer klein dient te zijn ten opzichte van het constructie-onderdeel. Aan de hand van de hieronder gegeven relatie kan worden bepaald tot welke frequentie de trillingsopnemer bruikbaar is zodat de meetfout niet groter wordt dan -3 dB.

$$f < 0.37 * \frac{d^2 * \rho * C_1}{m} \text{ I}$$

- C₁ = longitudinale golfsnelheid [m/s]
- m = massa van de opnemer [kg]
- ρ = dichtheid van het materiaal [kg/m³]
- d = dikte van de plaat (constructie) [m]
- f = frequentie

3.4. Geluidniveauschrijver

Hoewel de moderne meetapparatuur steeds meer mogelijkheden hebben voor het in de tijd opslaan van gegevens om het vervolgens uit te lezen op het display van de geluidmeter is een niveauschrijven in de praktijk toch een zeer bruikbaar instrument. De niveauschrijver wordt gekoppeld aan de geluidniveaumeter. Deze is hiertoe uitgerust met meestal twee uitgangen AC (= wisselspanning) en DC (= gelijkspanning).

De AC-uitgang van de geluidniveaumeter geeft het versterkte eventueel gefilterde signaal dat geschikt is voor de aansluiting van bijvoorbeeld een DAT-recorder of niveauschrijver. De geluidniveaumeter wordt als het ware alleen als voorversterker gebruikt.

De DC-uitgang geeft het signaal zoals dit ook aan het aanwijsgedeelte (display) van de meter wordt aangeboden inclusief de ingestelde middelingstijd etc., dit signaal kan eveneens worden gebruikt voor een niveauschrijver.

Op de niveauschrijver dient ingesteld te worden op welke uitgang van de geluidniveaumeter deze is aangesloten. Een voorbeeld van een geluidniveauregistratie waarbij gebruik is gemaakt van een niveauschrijver is gegeven in figuur 3.4..

Vaak is men geïnteresseerd in het verloop van het signaal in de tijd. Het gebruik van de niveauschrijver maakt het mogelijk om tijdens het optreden van een bepaald fenomeen op het papier van de schrijver zelf een aantekening te maken ter plaatse van de pen-uitslag.

Men is vaak niet alleen geïnteresseerd in de optredende niveaus maar ook in de oorzaak hiervan. Tevens geeft een niveau-tijdregistratie een goed beeld van het akoestische "klimaat" c.q. het verloop van het achtergrond geluid in de woonomgeving.

Praktische voorbeelden van het gebruik van een niveauschrijver zijn het bepalen van nagalmtijden, het vastleggen van piekniveaus (L_{\max}), het vastleggen van versnellingsniveaus etc.

3.5. Dat-recorder

Zoals reeds gezegd wordt de dat-recorder aangesloten op de AC-uitgang van de geluidniveaumeter. Door het grote dynamische bereik van de huidige dat-recorders is de aanpassing hiervan op de geluidniveaumeter een stuk eenvoudiger dan in het geval van de oudere taperecorders. Het gebruik van de traditionele taperecorders moet voor de niet meet-specialisten worden afgeraden gelet op de fouten die hiermee geïntroduceerd kunnen worden.

Het voordeel van het gebruik van een dat-recorder is dat het signaal later voor allerlei analyses gebruikt kan worden. Bij belangrijke controle-metingen wordt eveneens vaak een dat-recorder gebruikt als een soort back-up systeem. Zo kunnen achteraf op het "geluidlab." allerlei ongewenste stoorinvloeden uit het signaal verwijderd worden.

Men dient naast het gemeten signaal ook altijd een bekend referentie-signaal op te nemen zodat de gehele meetketen en de daarin optredende fouten kunnen worden gecorrigeerd. Voor het vastleggen van de absolute gevoeligheid dient gebruik te worden gemaakt van een calibrator.

4. CALIBRATIE

4.1. Algemeen

Voor het betrouwbaar meten is de calibratie van de meetketen in de praktijk van groot belang. We kunnen bij het calibreren onderscheidt maken tussen een niveau-calibratie en een frequentie-calibratie. Het meetsysteem kan zowel akoestisch als elektrisch gecalibreerd worden. Vrijwel alle geluidniveau-meters zijn uitgerust met een elektrisch calibratie-systeem. Het is een goede gewoonte om het gehele meetsysteem zowel akoestisch als elektrisch te calibreren om zo de resultaten van de elektrische calibratie te vergelijken met die van een akoestische calibratie, op deze wijze kunnen fouten in de meetketen worden opgespoord.

4.2. K-factor

Iedere microfoon heeft een open circuit correctie factor K_0 die is vermeld op de calibratie-kaart die bij de microfoon wordt geleverd. Deze K-factor is per microfoon verschillend (dus ook voor microfoons van hetzelfde type). Dit heeft te maken met het feit dat de microfoons binnen een bepaalde gevoeligheidsmarge worden gefabriceerd. Vaak wordt bijvoorbeeld uitgegaan van een gevoeligheid van de microfoon van 50 [mV/Pa] terwijl deze gevoeligheid per microfoon kan variëren. Indien uit de calibratie-kaart blijkt dat een bepaalde microfoon bijvoorbeeld 51,3 [mV] per Pa afgeeft, bedraagt de K-factor bijvoorbeeld $20 \cdot \log(50/51,3) = -0,22$ dB. Deze waarde dient ingesteld te worden op de geluidniveau-meter, de gevoeligheid van de voorversterker wordt hiermee 0,2 dB verminderd. Vóór calibratie dient de juiste K-factor op het meetinstrument ingesteld te worden.

4.3. Pistonfoon

Een pistonfoon (pistonphone) is een nauwkeurig calibratie-instrument dat veelal wordt gebruikt om het meetsysteem op het lab of kantoor te calibreren. In de pistonphon wordt in de (kleine)drukkamer waarin de microfoon wordt ingebracht door middel van kleine zuigertjes op een mechanische wijze een geluiddruk niveau gecreëerd van 124 dB bij 250 Hz. De pistonfoon wordt geleverd met een nauwkeurige barometer waarmee de correcties voor de heersende luchtdruk kunnen worden bepaald. Bij de calibratie dient het weegnetwerk van het meetsysteem uitgeschakeld te worden. Zie figuur 4.1..

4.4. Geluidniveau-calibrator

Deze calibrator is gebaseerd op een gestabiliseerde oscillator van 1000 Hz die een geluidniveau produceert in een kleine ruimte waar de microfoon wordt ingebracht. De meeste calibrators produceren een geluidniveau van 94 dB of 114 dB bij 1000 Hz en zijn zeer goed te gebruiken in praktijk situaties. De calibrator dient te voldoen aan NEN 10942: 1989 (IEC-942, klasse 1).

Bij de calibratie van geluidniveaumeters dient rekening gehouden te worden met het type microfoon alsmede de ingestelde elektronische correcties voor random en free-field.

Bij een 1/2 inch. microfoon is het verschil tussen free-field en pressure microfoon circa 0,2 dB en met een random microfoon circa 0,1 dB. Dit betekent dat als het geluiddruk niveau van de calibrator 94 dB afgeeft bij 1000 Hz, de geluidniveaumeter afgeregeld dient te worden op 93,8 dB voor een vrije veld-microfoon. Zie figuur 4.1.

4.5. Reciproke calibratie

In het lab kan een zeer nauwkeurige calibratie worden verkregen door het gebruik van de reciproke calibratietechniek. Dit vereist zeer nauwkeurige metingen. Bij deze calibratie-methode wordt er gecorrigeerd voor de voorversterker, heersende luchtdruk, temperatuursinvloeden etc. In dit kader zal niet verder niet ingegaan worden op deze methode.

4.6. Elektrostatische calibrator

Deze calibratie-techniek wordt veelal gebruikt om de frequentie-response van het meetsysteem te controleren. Hierbij wordt over het membraan van de microfoon een ring met een raster aangebracht die door middel van afstandhoudertjes op een kleine afstand van het microfoonmembraan wordt geplaatst.

Door het toevoeren van een wisselspanning tussen het raster en het membraan ontstaat er een elektrostatische kracht op het membraan van de microfoon dat hetzelfde effect geeft als geluiddruk. Aangezien deze methode niet afhankelijk is van de heersende luchtdruk wordt deze methode veelal gebruikt om de microfoongevoeligheid vast te leggen.

4.7. Calibratie bij versnellingsopnemer

Net zoals bij microfoons heeft iedere opnemer een calibratiekaart waarin de diverse specificaties van de opnemer zijn opgenomen. In de praktijk dient de calibratie van de versnellingsopnemer en meetketen om de mechanische defecten in de versnellingsopnemer te kunnen ontdekken en het controleren van de gehele meetketen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een trillingscalibrator die een vaste versnelling afgeeft bij een bepaalde frequentie, dit signaal kan ook worden gebruikt als ijkpunt op een niveauschrijver of DAT-recorder.

In figuur 4.2. is een overzicht gegeven van een calibratiekaart van een versnellingsopnemer. Ter vergelijking is ook een calibratiekaart van een microfoon afgebeeld.

5. STOORINVLOEDEN

5.1. Reflecties

Bij het verrichten van geluidmetingen dient te worden voorkomen dat door stoorinvloeden de meetresultaten beïnvloed worden. Het is dus zaak deze stoorinvloeden tot een minimum te beperken. Voor sommige stoorsignalen kunnen de meetresultaten gecorrigeerd worden.

Door de aanwezigheid van de geluidniveaumeter alsmede de gebruiker in het geluidveld waarin de metingen verricht worden zal er een verstoring van het geluidveld en daarmee het geluidniveau optreden. Door de gebruiker van de meter kan een bepaald deel van het geluid worden afgeschermd, tevens kunnen er reflecties optreden. Vaak wordt dit aspect vergeten bij het verrichten van geluidmetingen. Uit onderzoek blijkt dat er in extreme gevallen bij 400 Hz meetfouten kunnen ontstaan van zo'n 6 dB indien de afstand tussen microfoon en gebruiker kleiner is dan 1 meter. Het is derhalve ook zaak voldoende afstand te houden; de minimale afstand tussen de body van de geluidmeter en de gebruiker bedraagt 50 cm. Het verdient de voorkeur om in situ proefondervindelijk te bepalen wat de invloed is. Het spreekt voor zich dat de gebruiker (operator) niet tussen de geluidbron en de microfoon moet plaats nemen. Daarnaast moet onderkend worden dat elke mens bijdraagt aan de geluidabsorptie in de ruimten, vooral bij kleine meetruimten kan dit een probleem geven zodat het in die gevallen de voorkeur geniet de microfoon op een statief te plaatsen en middels een snoer de uitlezing in een andere kamer of gang te doen.

Met de reflecties van de body van de geluidmeter is al zoveel mogelijk rekening gehouden door de vorm van de meeste geluidniveaumeters. Door het conisch verloop van de voorkant worden reflecties zoveel mogelijk voorkomen. Voor zeer nauwkeurige metingen wordt vaak gebruik gemaakt van een flexibel verlengstuk tussen meter en microfoon (zwanenhals).

Ongewenste reflecties kunnen ook optreden door objecten in de omgeving van de microfoon zoals wanden, meubels, deuren etc.. Hierop dient men ook alert te zijn bij het verrichten van metingen in bijvoorbeeld geopende ramen, hierbij moet men proberen zoveel mogelijk afstand te houden tot het kozijn (dus in principe midden in de raamopening).

5.2. Invloed van weer en wind

Bij het verrichten van buiten metingen of metingen aan ventilatoren treedt er stoorgeluid op. Bij het buiten verrichten van geluidmetingen dient de microfoon altijd voorzien te zijn van een windbol. Standaard wordt hiervoor een bol van opencellige polyurethaanschuim gebruikt die over de microfoon wordt geschoven. Een overzicht van de invloed van een windbol met een diameter van 9 centimeter is gegeven in figuur 5.1. Als vuistregel voor storing door windgeruis kan de volgende tabel worden gehanteerd.

LpA groter dan -->	30	40	50	60	dB (A)
Windsnelheid tijdens de meting kleiner	1	4	6	8	m/s

Tabel 1 : Maximaal toelaatbare windsnelheid op microfoonhoogte voor het betrouwbaar meten van een geluidniveau L_{pA} .

Naast de invloed van wind kunnen er stoorinvloeden optreden door neerslag (regen, hagel of sneeuw). Tijdens een regenbui kunnen de meetresultaten bij het verrichten van geluidmetingen in ruimten worden beïnvloed door de regen en wind buiten het gebouw. Tevens dient opgemerkt te worden dat sommige type microfoons (condensor microfoons) zeer gevoelig zijn voor vocht terwijl ander types (piëzo-elektrische) microfoons hier veel minder gevoelig voor zijn.

De invloed van atmosferische druk wordt bij normale fluctuaties ($\nabla 10\%$) van de luchtdruk beperkt tot maximaal 0,2 dB. Desgewenst kan voor deze minimale verschillen worden gecorrigeerd. Luchtvochtigheid, alsmede elektromagnetische velden, hebben een verwaarloosbare invloed op de meetresultaten. De invloed van trillingen is afhankelijk van de richting van de trillingen en de sterkte hiervan op het meetinstrument. Onder normale omstandigheden zijn hiermee echter geen problemen te verwachten. Normaliter hebben temperatuurswisselingen geen significant effect op de meetresultaten, wel dient er bij metingen beneden het vriespunt rekening te worden gehouden met de beperkte levensduur van de batterijen van het meetinstrument.

5.3. Achtergrondgeluid

Teneinde te bepalen of het heersende achtergrondniveau van invloed is op de meetresultaten, zal een achtergrondmeting verricht moeten worden. Deze meting zal in principe met hetzelfde meetinstrumentarium gedaan dienen te worden als waarmee de geluidbron is gemeten. Indien blijkt dat het achtergrondniveau in de buurt komt van het niveau van de geluidbron, is het veelal wenselijk ook de spectrale verdeling van het achtergrondgeluidniveau alsmede dat van de geluidbron te kennen om zodoende betrouwbaar te kunnen corrigeren voor het achtergrondniveau. Indien het achtergrondniveau in een frequentie-band (c.q. octaafband) circa 10 dB lager is dan het geluidniveau van de bron, zal het achtergrondgeluid geen invloed hebben op het meetresultaat. Indien het verschil kleiner is dan circa 7 dB zal er gecorrigeerd moeten worden voor het aanwezige achtergrondniveau. Een overzicht van de correcties voor achtergrondniveaus is gegeven in tabel 2. In figuur 5.2. is e.e.a. grafisch weergegeven.

Verskil in dB tussen het totale geluidniveau en het achtergrondniveau	Aantal dB dat afgetrokken dient te worden van het totale niveau om het geluidniveau van de bron te bekomen
8.0 - 10.0	0.5
6.0 - 8.0	1.0
4.5 - 6.0	1.5
4.0 - 4.5	2.0
3.5	2.5
3.0	3.0

Tabel 2 : Correcties voor het heersende achtergrondniveau.

6. GELUIDDRUK

6.1. Algemeen

Zoals reeds gesteld zullen wij ons voornamelijk richten op luchtgeluid waarbij we te maken hebben met twee primaire grootheden, namelijk druk en deeltjessnelheid die aan elkaar gekoppeld zijn.

Het is van belang dit te onderkennen bij het verrichten van de geluidmetingen. Als we geluiddruk registreren, moeten we er vanuit kunnen gaan dat druk en deeltjessnelheid in fase zijn, in de praktijk betekent dit dat er niet te dicht (in het nabijheidsveld) bij een geluidbron (traditioneel) gemeten kan worden. Dit is in allerlei meetvoorschriften vastgelegd. Als er wel (zeer)dicht bij de geluidbron gemeten dient te worden, moet hiervoor gecorrigeerd worden ofwel dient er een andere meettechniek gekozen te worden.

De geluidsterkte zoals de mens die ervaart houdt verband met de luchtdruk. Ondanks dat de geluiddruk wisselt rondom de barometrische druk (denk aan een sinusvormige toon), ervaren we dit als geluid van constante sterkte. Als maat voor sterkte kan niet de gemiddelde geluiddruk worden genomen (die is immers nul), maar wordt de effectieve geluiddruk gehanteerd, waaronder verstaan wordt: de wortel uit het gemiddelde kwadraat van de geluiddruk.

Geluiddruk is een kleine variatie in de reeds aanwezige luchtdruk. Deze drukvariatie is bijzonder klein en varieert onder normale omstandigheden tussen circa 0.00002 Pa (0 dB) tot circa 200 Pa (140 dB), hetgeen overeenkomt met wat we noemen de (gemiddelde) gehoordrempel en de pijngrens. De gehoordrempel van 0.00002 ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa) wordt als referentiedruk gehanteerd voor het omzetten van geluiddruk in Pa naar geluiddrukniveau's in dB's.

In figuur 6.1. is een overzicht gegeven van de optredende geluiddrukkniveaus van verschillende geluidbronnen (bron Brüel & Kjaer).

Tabel 3 geeft een zeer globaal overzicht van de geluiddruk-niveaus van in de praktijk voorkomend geluiddruk-niveaus in ruimten.

Geluiddruk-niveau Lp in dB	Soort geluid
0	gehoordrempel
20-25	achtergrondniveau slaapkamer
30-35	achtergrondniveau bibliotheek
35-40	achtergrondniveau woonkamer
45-55	achtergrondniveau kantoor
60-70	vergaderingen
70-75	achtergrondniveau restaurant
80-85	achtergrondmuziek cafe
100-105	muziek in discotheek
105-110	live muziek
105-120	house party's
125-140	pijngrens

Tabel 3: Indicatie van in de praktijk optredende geluiddruk-niveaus.

6.1. Middelingstijden

Veelal heeft het geluid dat gemeten moet worden een wisselende sterkte, het menselijke oor kan deze wisselingen in geluiddruk maar tot op bepaalde hoogte volgen. De integratietijd van het menselijk oor ligt tussen 25 - 75 milliseconden. In de praktijk is het betrouwbaar aflezen van het meetinstrument bij zeer snelle wisselingen in het geluidniveau niet zinvol. Internationaal heeft men derhalve om praktische redenen twee integratietijden afgesproken van respectievelijk 1 seconde (Slow) en 125 milliseconden (Fast). De keuze van de aan te houden integratietijd is vastgelegd in de diverse meetprocedures en normen. Meestal wordt de stand "Fast" voorgeschreven aangezien deze integratietijd het meest overeenkomt met de waarneming door het menselijk oor.

Voor het meten van bijzondere geluidfenomenen zijn de geluidniveau meters meestal ook uitgerust met andere standen, bijvoorbeeld stand "I" voor impulsachtig geluid met een integratie-tijd van 35 milliseconden; deze integratietijd komt goed overeen met de directe waarneming van het menselijk gehoor van kortdurende signalen.

Geluidsignalen die nog korter duren worden door het menselijk oor als minder luid waargenomen, toch kunnen deze signalen zeer schadelijk zijn voor het gehoor (denk aan de metaal bewerking of bijvoorbeeld schiet-oefenlokalen). Voor de registratie van deze signalen zijn de meeste geluidniveau meters uitgerust met de stand "Piek" waarmee de topwaarde van de optredende geluiddruk wordt geregistreerd.

De meterstand "Piek" wordt nogal eens verkeerd gebruikt. Dit komt omdat er vanuit het verleden in ministeriële circulaires of bijvoorbeeld oude Hinderwetvergunningen van bedrijven gesproken wordt over piekniveaus. De piekniveaus die hier bedoeld worden zijn echter de maximale geluidniveaus gemeten in de meterstand "fast", in de praktijk aangeduid met L_{max} . Eisen ten aanzien van (echte) piekniveaus zult u in de praktijk alleen aantreffen in de ARBO-wet, Machine-richtlijn of Circulaire schietlawaai.

Het toepassingsgebied van de meterstanden Impuls en Piek valt buiten het kader van deze opleiding en wordt derhalve verder buiten beschouwing gelaten.

Veelal wordt er in beoordelingsnormen en/of meetprocedures voorgeschreven dat het energetisch gemiddelde ofwel het equivalente geluidniveau, L_{eq} , bepaald dient te worden. Hiervoor is een integrerende geluidniveaumeter noodzakelijk, op de moderne geluidniveaumeters is deze functie echter standaard. Op de meterstand L_{eq} wordt gedurende de meetperiode het energetisch gemiddelde geluidniveau bepaald. Andere meterstanden die op de geluidniveaumeter kunnen voorkomen zijn:

SPL = sound pressure level.
 L_{eq} = equivalente geluidniveau.
SEL = sound exposure level (blootstellingsniveau).
 L_{95} = geluidniveau dat 95% van de tijd wordt overschreden.
 L_{max} = maximale geluidniveau in de meterstand "fast".
 L_{min} = laagste waarde in de meterstand "fast".

Een overzicht van de relatie tussen de hierboven genoemde grootheden is gegeven in figuur 6.3..

6.2. Frequentie-analyse

In veel gevallen geeft de aflezing van de geluidniveaumeter onvoldoende informatie en zal inzicht verkregen moeten worden in de verdeling van het geluid (niveau als functie van de frequentie). Bij specialistische metingen zal derhalve ook altijd een frequentie afhankelijke filtering worden toegepast. Vroeger gebeurde dit door het signaal via een aantal smalle bandfilters te sturen zodat per band de effectieve waarde bepaald kon worden. Er kan een serie-analyse of een parallel-analyse worden verricht. In het eerste geval wordt het geluidsignaal achtereenvolgens door de diverse filterbanden gestuurd. In het tweede geval wordt het geluidsignaal gelijktijdig door alle filterbanden gestuurd.

Tegenwoordig vindt de frequentie-analyse veelal "Real Time" plaats, dat wil zeggen dat het gehele spectrum gelijktijdig wordt bepaald. Elk filter heeft hierbij zijn eigen detector waarbij de resultaten veelal grafisch op het display worden afgebeeld. Door de digitale signaalverwerking vindt er steeds vaker frequentie-analyse via de Fast Fouriertransformatie plaats. De laatste jaren zijn de Real Time analysatoren zeer handzaam geworden.

In het algemeen geldt dat de resultaten uit smalbandige frequentie analyse omgerekend kunnen worden naar bredere frequentie banden, ofwel het geluiddrukkniveau. Het omgekeerde is echter niet mogelijk. In de bouwakoestiek wordt in Nederland veelal volstaan met het octaafband-spectrum terwijl in het buitenland vaak het tertsbandspectrum (1/3 octaaf) wordt gehanteerd. De statistische betrouwbaarheid van de smalbandige frequentie analyse wordt bepaald door het product van bandbreedte en tijd (BT-product). Een overzicht van het gebruik van een real-time analyser is gegeven in figuur 6.2..

Een overzicht van gestandaardiseerde middenfrequenties voor octaaf- en tertsfilters is gegeven in tabel 4.

Octaafband middenfrequentie	Tertsband middenfrequentie
31.5 Hz	25 Hz
	31.5 Hz
	40 Hz
63 Hz	50 Hz
	63 Hz
	80 Hz
125 Hz	100 Hz
	125 Hz
	160 Hz
250 Hz	200 Hz
	250 Hz
	315 Hz
500 Hz	400 Hz
	500 Hz
	630 Hz
1000 Hz	800 Hz
	1000 Hz
	1250 Hz
2000 Hz	1600 Hz
	2000 Hz
	2500 Hz
4000 Hz	3150 Hz
	4000 Hz
	5000 Hz
8000 Hz	6300 Hz
	8000 Hz
	10000 Hz
16000 Hz	12500 Hz
	16000 Hz
	20000 Hz

Tabel 4 : Gestandaardiseerde middenfrequenties voor octaaf- en tertsfilters.

Om enig idee te krijgen van toonhoogten en frequenties is in tabel 5 een overzicht gegeven van enkele instrumenten/bronnen.

Instrument	Indicatie van het frequentie bereik
Bas	100 - 315 Hz
Bariton	125 - 400 Hz
Tenor	160 - 500 Hz
Alt	200 - 800 Hz
Sopraan	315 - 1250 Hz
Kerkorgel	16 - 8000 Hz
Contrabas	40 - 315 Hz
Cello	63 - 800 Hz
Piano	25 - 4000 Hz
Fluit	250 - 2500 Hz

Tabel 5 : Indicatie van het frequentiebereik van enkele bekende bronnen.

6.3. Weegfilters

Indien er op het meetsignaal geen weegfiltering is toegepast, wordt er meestal gesproken over geluiddrukkniveau terwijl er over geluidniveau wordt gesproken indien er een weging is toegepast.

Internationaal zijn er afspraken gemaakt over de frequentieafhankelijke weegfilters. De bekendste is de A-weging. Indien tijdens de metingen het A-filter is toegepast, wordt het geluidniveau uitgedrukt in dB(A). Deze weegfunctie komt goed overeen met de frequentie gevoeligheid van het menselijk gehoor bij normale geluidniveaus. Het aantal weegfilters dat gedefinieerd is, komt overeen met de gevoeligheid van het menselijk gehoor; deze weegfilters zijn afgeleid van de isofooncurven. Deze lijnen van gelijke luidheid tonen aan dat het menselijk gehoor gevoeliger is, voor hoge tonen (frequenties) en minder gevoelig voor lage tonen (frequenties).

Een overzicht van deze lijnen van gelijke luidheid (isofooncurven) is gegeven in figuur 6.4..

Internationaal zijn er vier verschillende weegfilters genormaliseerd namelijk "A", "B", "C" en "D". Het D-filter wordt in Nederland niet of nauwelijks gebruikt. De A, B en C weegfilters volgen globaal de 40, 70 en 100 foonlijn. Een overzicht van de karakteristieken van de A, B en C filters zoals voorgeschreven in IEC 651, is gegeven in figuur 6.5.. In het algemeen wordt er voor verschilmetingen (bepalen van isolatie-waarden) geen weegfilter toegepast. Voor de beoordeling van hinderaspecten wordt veelal het A-filter toegepast.

6.4. Overige metingen

6.4.1. Intensiteitsmetingen

In sommige gevallen zal voor het bepalen van geluidvermogens van geluidbronnen of het bepalen van geluidreducerende maatregelen niet kunnen volstaan met het bepalen van de geluiddruk. Ook bij complexe geluidbronnen of bij meerdere stationaire geluidbronnen in een ruimte kan het verrichten van geluidintensiteitsmetingen uitkomst bieden. Met de huidige moderne apparatuur is het verrichten van geluidintensiteitsmetingen niet meer alleen voorbehouden aan wetenschappelijke bureaus, hieronder zal derhalve beknopt op deze meetmethode worden ingegaan.

Geluidintensiteit is een vectoriële grootheid die zowel grootte als richting bezit, terwijl geluiddruk een scalaire grootheid is die allen grootte bezit. Bij geluidintensiteitsmetingen wordt de hoeveelheid energie bepaald die per tijds-eenheid door één m² wordt verplaatst. De geluidintensiteit wordt meestal uitgedrukt in [W/m²]. Het intensiteitsniveau wordt bepaald in de relatie:

$$L_I = 10 \cdot \log (I/I_0) \quad \text{waarin: } I_0 = 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

De huidige digitale apparatuur is gebaseerd op een 2-kanaals Fast Fourier Transform (FFT) analyzer ofwel op een 2-kanaals Real Time analyzer met digitale filters. Zoals blijkt uit het voorafgaande zijn voor intensiteitsmetingen twee analysekanalen nodig. Dit komt omdat er bij geluidintensiteitsmetingen in principe twee grootheden geanalyseerd moeten worden, namelijk de deeltjessnelheid en geluiddruk. De geluiddruk kan relatief eenvoudig worden gemeten, bij de deeltjes snelheid ligt dat wat moeilijker. Bij de meeste apparatuur wordt hiervoor gebruik gemaakt van twee microfoons (probe) die op korte afstand van elkaar worden geplaatst waarmee geluiddruk en de drukgradiënt wordt bepaald die gerelateerd is aan de deeltjessnelheid.

De richtingsgevoeligheid van deze probe is gegeven in figuur 6.6.. De maximale intensiteit wordt gemeten door de probe evenwijdig aan de richting van de intensiteitsvector te laten wijzen en de minimum intensiteit wordt verkregen door de probe onder een loodrechte hoek t.o.v. de intensiteitsvector te richten. Zoals uit figuur 6.6. blijkt, is er slechts een heel klein gebied waarin de probe vrijwel ongevoelig is, deze eigenschap wordt vaak gebruikt voor het opsporen van geluidbronnen of geluidlekken.

6.4.2. Trillingsmetingen

Trillingen kunnen worden gemeten voor verschillende redenen. In het algemeen geldt dat alle ongecontroleerde trillingen een ongewenst verschijnsel zijn die zorgen voor ongewenste hinder of beschadigingen.

Er zijn verschillende manieren om trillingen te registreren. Zoals reeds eerder aangegeven zijn er drie grootheden die hierbij van belang zijn, namelijk; verplaatsing, snelheid en versnelling. Omdat voornoemde grootheden aan elkaar gerelateerd zijn, is het in theorie onbelangrijk welke van deze grootheden geregistreerd wordt. Een overzicht van een trillingsanalyse waarbij de drie verschillende grootheden zijn gebruikt, is gegeven in figuur 6.7.. In de akoestiek wordt echter om praktische redenen gebruik gemaakt van versnellingsopnemers waarbij de registratie plaatsvindt in $[m/s^2]$. Het versnellingsniveau wordt berekend in de relatie:

$$L_a = 20 \cdot \log (a/a_0) \quad \text{waarin: } a_0 = 10^{-6} [m/s^2]$$

De volgende trillingssignalen worden vaak geregistreerd:

- 1) RMS (Root Means Square) niveau, dit signaal is gerelateerd aan de trillingsenergie;
- 2) Piek-niveau, dit signaal geeft de topwaarde (maximale amplitude) van het trillingssignaal;
- 3) Equivalentniveau, dit signaal is gerelateerd aan de energetische trillingsenergie over een bepaalde meet-periode (minder geschikt voor trillingen).

7. MEETNAUWKEURIGHEID

7.1. Algemeen

Bij het verrichten van metingen dienen we te onderkennen dat er fouten optreden. Deze fouten kunnen ontstaan door afwijkingen in het gebruikte meetsysteem ofwel fouten die toevallig ontstaan bijvoorbeeld door variaties in bronsterkte, afleesfouten etc. Fouten die optreden in de meetketen of meetmethode (systematische fouten) zijn over het algemeen moeilijk te herkennen.

Indien deze systematische fouten tijdig onderkend worden en de aard en grote van deze fouten bekend zijn kan hiervoor gecorrigeerd worden op het meetresultaat.

Calibratie van de meetketen voor en na de meetsessie kan bij het vaststellen van deze fouten van groot belang zijn. De laatstgenoemde toevallige fouten zijn van dien aard dat hiervoor niet of nauwelijks te corrigeren is. Kenmerkend voor toevallige fouten is bijvoorbeeld dat bij herhaling van de metingen door verschillende personen er (binnen een bepaalde spreiding) verschillende resultaten gevonden zullen worden.

Door het verrichten van een groot aantal metingen en middeling van de resultaten van deze metingen zal de fout die optreedt, verkleinen. Bij het verrichten van geluidmetingen is het van belang dat de toevallige meetfout die optreedt wordt onderkend. Met name bij het verrichten van statistische geluidanalyses, bijvoorbeeld voor het vaststellen van het referentie-niveau van het omgevingsgeluid, is het van belang het aantal metingen c.q. de meetduur voldoende lang te kiezen. Zonder diep in te gaan op de statistiek en kansberekening wordt hierna twee formules gegeven teneinde in de praktijk een afschatting te kunnen maken van de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de meetresultaten.

Het kwadratisch gemiddelde van gemeten waarden wordt gevonden in de onderstaande relatie.

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2} \quad \text{V}$$

Met daarbij de standaarddeviatie van het aantal meetwaarden.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i^2 - \bar{X}^2)^2} \quad \text{VI}$$

8. NEN 5077

8.1. Algemeen

Een van de belangrijkste normen voor het verrichten van bouwakoestische metingen is de NEN 5077. In deze norm worden methoden gegeven voor het bepalen van:

- 1) luchtgeluidisolatie tussen ruimten in gebouwen;
- 2) de contactgeluidisolatie tussen ruimten in gebouwen;
- 3) de geluidwering van de uitwendige scheidingsconstructie van gebouwen;
- 4) de geluidniveaus in ruimten van gebouwen veroorzaakt door de in werking zijnde technische installaties.

Alvorens in te gaan op de diverse bepalingsmethoden volgen hieronder voor het begrip enkele definities:

- zendruimte: De ruimte waarin voor het bepalen van de geluidisolatie de geluidbron wordt geplaatst.
- ontvangruimte: De ruimte waarin het geluiddrukkniveau wordt gemeten dat wordt veroorzaakt door een geluidbron.
- nagalmtijd: De tijd die verstrijkt tussen het uitschakelen van een luchtgeluidbron in een ruimte en het moment waarop het geluiddrukkniveau is gedaald tot een waarde die 60 dB is lager dan op het moment van uitschakeling.
- verblijfsruimte: Een besloten ruimte voor het verblijven van mensen.
- verblijfsgebied: Besloten ruimte, bestaande uit één of meer met elkaar in verbinding staande, op dezelfde bouwlaag gelegen, afzonderlijke verblijfsruimten en andere ruimten anders dan een toilet- of badruimte, technische ruimte, gemeenschappelijke verkeersruimte of meterruimte.

Voor een goed begrip van de hierna te bespreken meetprocedures verdient het aanbeveling eerst kennis te nemen van de in de NEN 5077 gedefinieerde grootheden, eenheden, symbolen, termen en definities.

Een overzicht van de belangrijkste is gegeven in figuur 8.1..

8.2. Apparatuur

8.2.1. Ruisgenerator

Voor het opwekken van een geluidveld in een ruimte ten behoeve van luchtgeluidisolatie of voor controlemetingen aan de uitwendige scheidingsconstructie wordt gebruik gemaakt van een kunstmatige geluidbron. Deze zal meestal bestaan uit een ruisgenerator met versterker en weergever(ers). Indien er gelijktijdig gebruik wordt gemaakt van twee weergevers (luidsprekers) mogen deze niet gevoed worden met het signaal uit één ruisgenerator (ongecorreleerd signaal). Verder moeten de bronnen zo worden ingesteld dat de verschillen tussen het door de bronnen uitgestraalde geluidvermogen in elk van de octaafbanden niet meer is dan 0,5 dB. Verder dient het signaal uit de ruisbron in de tijd gezien voldoende stabiel en gelijkmatig te zijn. Het maximale verschil tussen de geluidvermogen-niveaus van de tertsbanden binnen een octaafband als functie van de octaafband-middenfrequentie mag, afhankelijk van de octaafband, maximaal 4 á 6 dB bedragen.

Daarnaast worden eisen gesteld aan de richtingsafhankelijkheid van de geluidbron. In principe geldt dat de openingshoek voldoende groot moet zijn zodat bijvoorbeeld in geval van metingen aan de uitwendige scheidingsconstructie (gevel) het geluidveld voldoende gelijkmatig op de constructie invalt. Bij metingen aan hellende vlakken, zoals daken, worden aanvullende eisen gesteld m.b.t. de richtingsafhankelijkheid. De openingshoek wordt hiervoor beperkt ter voorkoming van ongewenste interferenties. In het algemeen wordt het gebruik van bol-luidsprekers afgeraden bij metingen van de gevel.

Indien de weergevers zijn samengesteld uit meerdere luidsprekers dienen deze in één behuizing te worden ondergebracht waarbij de aansluiting zodanig moet zijn dat de conussen in fase bewegen. De grootste afmeting van de behuizing mag maximaal 70 cm bedragen.

Voor de geluidislatiemetingen kan gebruik worden gemaakt van roze of witte ruis. Bij witte-ruis is er sprake van een gelijke hoeveelheid energie per frequentie-band. Aangezien het aantal frequenties hoger is bij een grotere bandbreedte (verdubbeling per octaafband) geeft dit bij een frequentie-analyse het beeld van 3 dB verhoging per octaafband. Bij roze ruis is er sprake van gelijke energie per octaafband. Dit geeft bij frequentie-analyse het beeld van een vlak spectrum.

In figuur 8.2. is het spectrale verloop van witteruis gegeven.

8.2.2. Contactgeluid-generator

Voor het meten van contactgeluid wordt gebruik gemaakt van een contactgeluid-generator, in het vakjargon hamerapparaat of hamermachine genoemd. Het hamerapparaat is uitgerust met 5 stalen hamers die achtereenvolgens vanaf een hoogte van 4 cm boven het oppervlak worden losgelaten in een ritme van 10 slagen per seconde. Het hamerapparaat wordt gecalibreerd door de valhoogte van de hamers nauwkeurig af te regelen m.b.v. een bijgeleverd afstandshoudertje. De hamerkoppen kunnen naar keuze voorzien worden van stalen of rubber hamerkoppen. Het verdient de voorkeur de metingen te verrichten met de standaard stalen hamerkoppen. Indien dit in een bestaande situatie niet mogelijk is vanwege mogelijke beschadiging van het oppervlak van de constructie die moet worden aangestoten kan hiervoor gebruik worden gemaakt van de rubberen hamerkoppen.

De resultaten die worden verkregen als het apparaat voorzien is van hamerkoppen van rubber dient gecorrigeerd te worden afhankelijk van de aard van de afwerking van het oppervlak, meestal de vloerconstructie.

Door het gebruik van het hamerapparaat wordt een vrij constant gestandaardiseerd geluid geproduceerd dat, bij gebruikelijke constructies en isolatie-waarden, goed meetbaar is. Het geluid door het aanstoten van de vloerconstructie met het hamerapparaat heeft weinig overeenkomst met de normale huishoudelijke geluiden. Een overzicht van de geluidsniveaus van verschillende huishoudelijke activiteiten, gerelateerd aan het contactgeluid-niveau dat wordt veroorzaakt door het hamerapparaat, is gegeven in figuur 8.3..

8.2.3. Geluidmeetset

Voor het verrichten van geluidmetingen in het kader van de NEN 5077 dient gebruik te worden gemaakt van een meetset dat voldoet aan de specificaties Type 1 conform NEN 10651: 1982 (IEC-651). De meetketen kan bestaan uit een traditionele geluidniveaumeter voorzien van een octaaf- of tertsbandfilter ofwel een geavanceerde Real Time Frequentie Analyser. De octaaf- of tertsbandfilters dienen te voldoen aan NEN 10225: 1980 (IEC-225). Voor het meten van equivalente geluid-drukniveaus dient de geluidmeter te voldoen aan de specificaties voor integrerende meetinstrumenten volgens Type 1 NEN 10804: 1991 (IEC-804). De calibrator dient te voldoen aan NEN 10942: 1989 (IEC-942, klasse 1).

In het algemeen kan worden gesteld dat aan bovenstaande eisen wordt voldaan indien de meter is voorzien van een P.T.B. goedkeuring (Physikalisch-Technische Bundesanstalt).

Gelet op de meetinspanning die de NEN 5077 vraagt verdient het de voorkeur tijdens de metingen gebruik te maken van een Real Time Analyser. Sommige leveranciers zijn hierop reeds ingesprongen door het leveren van een software pakket bij de analyser zodat in combinatie met een notebook-computer in situ de meetgegevens uitgewerkt kunnen worden.

Bij het verrichten van nagalm-metingen ten behoeve van de correctie voor de in de ontvangruimte aanwezige geluidabsorptie, dient volgens de NEN 5077 in principe gebruik te worden gemaakt van een geluidbron die een continu ruissignaal afgeeft waarbij de nagalmtijd wordt bepaald door het uitschakelen van de bron. Voor het registreren van het uitdoven van het geluid nadat de bron is uitgeschakeld, kan gebruik worden gemaakt van een bandrecorder of een andere vorm van signaalgeheugen waarmee het signaal voor latere analyse wordt opgeslagen zoals bijvoorbeeld het geheugen van de analyser. Een andere wijze van registreren is het gebruik van een geluidniveau-schrijver waarbij per octaafband een nagalmcurve wordt bepaald. Bij het gebruik van een geluidniveau-schrijver dient er op te worden toegezien dat de registratiesnelheid van het apparaat voldoende is, bij veel geluidniveau-schrijvers is het op basis van dit gegeven niet mogelijk nagalmtijden lager dan 0,3 seconden te registreren hetgeen in specifieke (bewoonde) situaties met veel absorptie een probleem kan opleveren. Real time analysers hebben meestal de mogelijkheid om zowel de nagalmcurve als de berekende nagalmtijd vast te houden in het geheugen van het apparaat. Het dynamisch bereik van het meetsysteem dient ten minste 40 dB te bedragen gekoppeld aan een snelle registratie tijd.

8.2.4. Meetcondities

Bij het verrichten van geluidmetingen in met name kleine ruimten dient men zich ervan bewust te zijn dat de degene die het meetinstrument bedient reeds een verstoring van het geluidveld veroorzaakt. Tevens wordt hierdoor extra absorptie en reflectie in die ruimte geïntroduceerd.

De reflecties ten gevolge van het achter de geluidniveaumeter staan tijdens het aflezen van het meetinstrument, kan geminimaliseerd worden door ten minste een afstand van circa 50 cm afstand te houden. In kleine vertrekken kan het verstandig zijn om zelf niet plaats te nemen in de ruimte maar alleen de microfoon op te stellen en het afleesgedeelte buiten het ontvang vertrek.

Alvorens te gaan meten verdient het in het algemeen de voorkeur in bijvoorbeeld nieuwbouw situaties de aannemer van te voren in kennis te stellen van het feit dat er geluidmetingen verricht gaan worden en daaraan een aantal voorwaarden te verbinden. Met name in nieuwbouw projecten is dit van belang.

De voorwaarden waarvoor de aannemer/opzichter of uitvoerder moet zorgen zijn:

- 1) Geen bouwvakkers, installateurs, stukadoors of behangers in de woningen werkzaam;
- 2) Bij woningblokken geen boor- of breekwerkzaamheden in aanpandige woningen;
- 3) Geen graafmachines of shovels in de omgeving bezig met graafwerkzaamheden;
- 4) Het project moet redelijk bereikbaar zijn met auto of busje i.v.m. de meetapparatuur, met name de luidsprekercombinatie;
- 5) Er moet in de woningen ofwel in nabije omgeving hiervan een elektriciteitsaansluiting zijn;
- 6) De woningen moeten veegschoon en glasdicht zijn;
- 7) De binnendeuren van de woningen dienen geplaatst te zijn;
- 8) Aangegeven moet worden waar de sleutels van de woningen te vinden zijn;
- 9) Bij voorkeur vooraf de plattegrondtekeningen, materialen en details toe laten sturen.

De voorwaarden waarvoor degene dient te zorgen die de geluidmetingen verricht:

- 1) Apparatuur compleet en een eerste maal reeds gecalibreerd op kantoor;
- 2) Batterijen afdoende vol, bij voorkeur reserve-set;
- 3) Verlengsnoer meenemen indien aansluiting op het lichtnet gewenst is;
- 4) Alle ramen, deuren en ventilatie voorzieningen in de uitwendige scheidingsconstructie gesloten (bij gevelmetingen de suskasten of roosters geopend);
- 5) Alle binnendeuren in de zend- en ontvangruimte gesloten;
- 6) Zorgen dat de geluidabsorptie gedurende alle metingen in de desbetreffende ruimten niet significant wijzigt. Binnen 5% gelijk. Dit geldt dus ook voor het aantal personen dat "meekijkt" tijdens het verrichten van metingen. Iedere persoon is immers weer absorptie in een ruimte.
- 7) Stoorgeluidbronnen zoveel mogelijk elimineren (ventilator, koelkast, wekkers, wasmachine van de buurvrouw, CV-pomp etc.);
- 8) Geen metingen verrichten als het buiten hagelt, regent, hard waait;
- 9) Geen buitenmetingen indien er een pak sneeuw ligt.

8.3. Bepaling van de geluidisolatie tussen ruimten

8.3.1. Algemeen

Zoals reeds in het dictaat van andere docenten is behandeld, moeten we voor het bepalen van de karakteristiek isolatie-index voor luchtgeluid eerst het genormeerde luchtgeluidisolatieverschil (D_{nT}) bepalen. Samenvattend hieronder nogmaals beknopt de formules.

$$D_{nT} = L_z - L_o + 10 \log (T/T_o) \quad T = 0,5 \text{ of } 0,8 \text{ seconden.}$$

Verminder voor iedere octaafband de berekende waarde van D_{nT} met de bijbehorende normwaarde volgens tabel 6.

Octaafbanden	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz
Normwaarden	34	43	50	53	54

Tabel 6 : Normwaarden voor luchtgeluid

Uit de op deze wijze verkregen isolatie verschillen berekend met de isolatie-index (I_{lu}) voor luchtgeluid door het kleinste getal te nemen van:

- 1) gemiddelde v/d vijf isolatieverschillen;
- 2) het gemiddelde van de kleinste twee isolatie-verschillen vermeerderd met 2;
- 3) het kleinste isolatie-verschil vermeerderd met 4.

Bereken de karakteristieke isolatie-index ($I_{lu;k}$) met de volgende formule.

$$I_{lu;k} = -10 \log \sum_{j=1}^m \left[\frac{V_j}{6 \times T_{ox} V_{z;vg}} \times 10^{\frac{I_{lu;j}}{10}} \right]^2$$

Indien de verhouding tussen ($V_{tot} / 3 \times S_{z;vg}$) groter is dan 2,5 dient voor de berekening van de karakteristiek isolatie-index voor luchtgeluid $S_{z;vg}$ gelijk te zijn gesteld aan $V_{tot} / 7,5$ waarin V_{tot} het totale netto-volume is van alle deelruimten.

8.3.2. Plaatsing luidsprekers

Zoals reeds eerder gesteld wordt bij het bepalen van de geluidisolatie tussen ruimten c.q. woningen gebruik gemaakt van een kunstmatige geluidbron waarmee ruis wordt geproduceerd in het zendvertrek. De juiste opstelling van de ruisbron in het zendvertrek is een essentieel onderdeel van de metingen. Een verkeerde plaatsing van de luidspreker kan tot behoorlijke meetfouten leiden en vormt derhalve een belangrijk onderdeel van de meetprocedure, iets dat in de praktijk nogal eens wordt onderschat. De NEN-5077 maakt verschil tussen zendruimten die groter zijn dan 35 m² waarbij de geluidbron op twee posities moet worden geplaatst en zendruimten die kleiner zijn dan 35 m² waarbij volstaan kan worden met één positie. Bij een meting met 2 bronposities wordt het gemiddelde verschil over beide meetposities bepaald.

De NEN-5077 geeft een aantal mogelijkheden voor de plaatsing van de luidsprekers. Doel is om het geluidveld dat invalt op de scheidingswand zo diffuus mogelijk te laten zijn. Om fouten in de praktijk te voorkomen beveel ik aan om, indien mogelijk, bij elke meting dezelfde meetprocedure te hanteren.

Luidspreker positie 1 ligt in de drievlakshoek die wordt gevormd door: de wand tegenover scheidingswand tussen zend- en ontvangvertrek, de vloer en de buitengevel (uitwendige scheidingsconstructie). Ingeval er in de ruimte meer buitengevels zijn moet dié buitengevel worden genomen die als flankerend vlak direct aansluit op de scheidingswand.

Als er meerdere buitengevels in de ruimte zijn die aan genoemde eisen voldoen, dient het vlak met de grootste oppervlakte gekozen te worden.

Als er geen buitengevel aanwezig is, moet een wand (inwendige scheidingsconstructie) worden gekozen die als flankerend vlak direct aansluit op de scheidingsconstructie.

Luidspreker positie 2 ligt in de andere drievlakshoek die wordt gevormd door de vloer, de wand tegenover de scheidingswand en een flankerend vlak (buiten gevel of wand) dat direct aansluit op de scheidingswand.

Indien het te meten scheidingsvlak een vloer betreft is het handigste om standaard het ontvangvertrek boven het zendvertrek te kiezen. De luidspreker wordt dan geplaatst in de drievlakshoek die wordt gevormd door de vloer, de buitengevel of indien niet aanwezig, een flankerend vlak dat aansluit op de scheidingsconstructie (meestal een dragende muur) en een kamerscheidende wand met de grootste afmetingen.

Bij niet aan elkaar grenzende vertrekken moet de luidspreker in de drievlakshoek worden geplaatst die gevormd wordt door de vloer en twee scheidingsconstructies, bijvoorkeur een gevel met een wand waarbij de hoek gekozen moet worden die het verst is gelegen van het ontvangvertrek.

Bij de opstelling van de luidspreker dient er voor gezorgd te worden dat het midden niet samenvalt met de symmetrie-as van de hoek waar deze wordt opgesteld. Daarnaast moet de afstand luidspreker - hoek maximaal 1,5 meter zijn en niet meer dan 0,5 meter. De directe omgeving van de geluidbron dient vrij gehouden te worden van objecten, obstakels of personen.

Een voorbeeld van diverse luidsprekerposities is gegeven in figuur 8.4..

8.3.3. Calibratie

Het verdient de voorkeur om de gehele meetketen voor aanvang van de meetsessie op kantoor of lab nauwkeurig te calibreren en af te regelen met bijvoorbeeld een pistonfoon.

Aan het begin en einde van elke meetsessie en na elk uur meten moet volgens de NEN-5077 de totale meetketen gecontroleerd worden met een calibrator. Als tijdens een meetsessie blijkt dat de meter bijgeregeld moet worden, dient de gehele meetsessie opnieuw uitgevoerd te worden. De afwijking tussen de nominale waarde van calibrator en het meetresultaat mag niet groter zijn dan 0,5 dB. Het inregelen van het meetinstrument mag alleen plaatsvinden voor een meetsessie, indien bij tussentijdse controles blijkt dat niet aan voornoemde nauwkeurigheidseis kan worden voldaan mogen de meetresultaten niet gebruikt worden.

Bij de tegenwoordige geluidmeters en analysers is het (elektronisch) verloop marginaal, zodat in de praktijk onder normale omstandigheden binnen de gestelde marge van 0,5 dB(A) voldaan zal worden. De tussentijdse controle dient in de praktijk vaak ter controle van beschadiging aan microfoon, aansluitingen en kabels.

8.3.4. Geluidmetingen in de zend- en ontvangruimte

In de zend- en ontvangruimte dient het geluiddrukkniveau bepaald te worden in dB (dus geen dB(A)) in (tenminste) de octaafbanden 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz en 2000 Hz. Over het algemeen is het verstandig de metingen ook te verrichten in de octaafbanden 63 Hz en 4000 Hz. Dit geeft informatie die wellicht te pas kan komen bij het geven een verklaring bij tegenvallende resultaten. Op elke meetpositie dient voor bovengenoemde octaafbanden het tijdgemiddelde geluiddrukkniveau (Leq-waarde) te worden gemeten over een periode van ten minste 8 seconden voor 125 Hz en 250 Hz en ten minste 4 seconden voor de hogere octaafbanden. Geluidmeters met een analoog aanwijzer (wijzer) mogen volgens de norm op de stand "Slow" op het oog worden gemiddeld; bij instrumenten met slechts een digitale aanwijzing is dit niet toegestaan. In het algemeen verdient het de voorkeur een Leq te registreren.

Voor het registreren van de geluiddrukkniveaus zal in de praktijk meestal met vaste meetposities worden gewerkt en in laboratorium situaties met een draaiarm. Het "wandelen" door de ruimte met de geluidniveaumeter op Leq om zo een ruimte-gemiddeld geluiddrukkniveau te bepalen waarbij mogelijke staande golven in het geluidveld worden uitgemiddeld, is een methode die niet beschreven staat in de NEN-5077. In principe raad ik deze methode derhalve af.

Voor het bepalen van de geluiddruk in een ruimte moet een minimaal aantal meetposities aangehouden worden dat afhankelijk is van het oppervlak van de ruimte. De meetposities moeten zowel in horizontale als in verticale richting gelijkmatig over de ruimte verdeeld worden. Eén van de meetposities moet zich bevinden op 1 meter afstand voor het midden van de scheidingsconstructie. Een overzicht van de minimaal aan te houden meetposities is gegeven in tabel 7.

Vloeroppervlakte in m ²		Minimaal aantal meetposities	
Groter dan	tot en met	Bij 1 bronpos.	Bij 2 bronpos.
-	4	1	1
4	12	2	2
12	30	3	2
30	50	4	3
50	-	5	4

Tabel 7 : Minimaal aantal meetposities volgens NEN-5077.

Als vuistregel kan men aanhouden dat in slaapkamers en keukens volstaan kan worden met 3 meetposities en in woonkamers met 4 meetposities. De metingen moeten op verschillende hoogten worden doorgevoerd binnen de begrenzingen van de ruimte. De minimaal aan te houden afstanden tussen meetposties en begrenzing van ruimten en andere obstakels is gegeven in tabel 8.

Aard van het obstakel	Minimaal aan te houden afstand
Voornaamste geluidafstralende constructie	1
Geluidbron	1
Begrenzing van de ruimte	0,5 *
Personen in de ruimte	0,5
Objecten met een oppervlak > 0,5 m ²	0,5
Overige meetposities	1

Tabel 8 : Minimaal aan te houden afstanden tussen meetposties en begrenzingen van ruimten en andere obstakels.

Het verdient aanbeveling de verschillende meetresultaten op de diverse meetposities te rapporteren in het uiteindelijke meetrapport zodat de beoordelaar een indruk kan krijgen van de diffusiteit van het geluidveld.

*) 0,4 bij ruimten met een vloeroppervlak < 4m² geldt 0,4

8.3.5. Meten en verwerken van stoorsignalen

Zoals reeds gezegd verdient het de voorkeur de geluidmetingen te verrichten zonder correcties voor stoorgeluid. Bij elke meting dient echter wel vastgesteld te worden hoe hoog het achtergrond geluid c.q. het stoorgeluid bedraagt.

Veel problemen kunnen worden voorkomen door een geluidbron te gebruiken die een voldoende hoog geluidniveau produceert. Wanneer het signaal van de ruisbron 10 dB(A) boven het achtergrond c.q. stoorgeluid uitkomt, zijn geen correcties noodzakelijk, het verwerken van het stoorsignaal in de verdere uitwerking van de meetresultaten vervalt daarmee.

Wanneer het toelaatbaar stoorgeluid in één of twee octaafbanden (bij voorkeur in de hogere octaafbanden) wordt overschreden, kan het vaak toch nuttig zijn de metingen verder uit te werken. Als namelijk blijkt dat het uiteindelijke resultaat c.q. de berekende prestatie-grootheid niet wordt bepaald door de onderwerpelijke octaafbanden, kan toch een betrouwbaar resultaat geproduceerd worden.

Om het stoorgeluid in relatie met het geluid van de geluidbron (ruisbron) te meten en beoordelen, dient de geluidbron aan en uitgeschakeld te kunnen worden. In de praktijk wordt hiertoe veelal de geluidbron op intermitterend gezet. De beoordeling en verwerking van stoorgeluiden dient plaats te vinden volgens het schema in figuur 8.5..

De betekenis van de grootheden is als volgt:

- $L_{mea;i}$ - de meetwaarde op meetpostie i , van het geluiddrukkniveau van de volgende geluiddrukkniveaus:
- 1) een luchtgeluiddrukkniveau in zend- of ontvangruimte;
 - 2) een contactgeluiddrukkniveau buiten het gebouw of in de ontvangruimte bij de bepaling van de geluidwering van een uitwendige scheidingsconstructie;
 - 3) een installatiegeluiddrukkniveau.
- $L_{mea;m}$ - de over de ruimte gemiddelde waarde van de geluiddrukkniveaus;
- $L_{mea;c;m}$ - het over de ruimte gemiddelde van de gecorrigeerde meetwaarden van de genoemde geluiddrukkniveaus;
- Meetresultaat - de na middeling en correctie resulterende waarde van de genoemde geluiddrukkniveaus.

Voor het bepalen van de stoorgeluiddrukkniveaus ($L_{stoor;i;j}$) dient eenmaal voor de metingen in de ruimte gemeten te worden en nogmaals binnen 5 minuten voor het begin van de metingen in de betreffende ruimte e.e.a volgens de gegeven aanwijzing voor het registreren van geluiddrukkniveaus. Na het verrichten van de geluidmetingen dient nogmaals het stoorgeluiddrukkniveau bepaald te worden. In de norm wordt onderscheid gemaakt tussen stoorgeluiddrukkniveaus ($L_{stoor;i;j}$) welke waarneembaar zijn met het oor en basis stoorgeluiddrukkniveaus ($L_{bas;j}$) dat als een soort achtergrondniveau beschouwd kan worden.

Bij stoorgeluiddrukkniveaus moet de registratie op elke meetpositie plaatsvinden, bij het basisstoorgeluiddrukkniveau kan volstaan worden met een willekeurig te kiezen meetpositie.

Ingeval er gewerkt moet worden met twee luidspreker posities behoeft vorenstaande procedure slechts eenmaal gevolgd te worden. Door gebruik te maken van een "intermitterende" geluidbron kunnen de stoor- en signaalmetingen gecombineerd worden zodat op elke meetplek beide registraties direct achter elkaar verricht kunnen worden, e.e.a. rekening houdend met het schema in figuur 8.5. Met name het karakter van het stoorgeluid is hierbij van belang. Bij stoorgeluid dat fluctuerend is qua karakter dient afgewogen te worden of laatst genoemde meetprocedure gevolgd kan worden. Indien de verschillen tussen de drie opeenvolgende stoorniveaumetingen groter is dan 2 dB(A), is het stoorgeluid volgens NEN-5077 als fluctuerend aan te merken.

Indien op de aangehouden meetposities vastgesteld kan worden dat de signaal-stoorverhouding 10 dB of meer bedraagt vervalt daarmee het meten en verwerken van het basisstoorniveau.

8.3.6. **Bewerking van stoorniveaus**

Voor de in de onderstaande formules gebruikte grootheden, eenheden, symbolen etc. wordt hierbij verwezen naar figuur 8.1.. Bepaling van het gemiddelde van de drie stoorgeluiddruk-niveaus op meetpositie (i) vindt plaats in de volgende formule:

$$L_{stoor;i;m} = 10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 10^{L_{stoor;i;j}/10} \right) 3$$

Het maximale stoorgeluiddrukkniveau op de meetpositie ($L_{stoor;i;max}$) is het maximum van de drie stoorgeluiddrukkniveaus op de betreffende posities. Bepaling van het gemiddelde stoorgeluid-drukkniveaus van de drie gemeten basisstoorniveaus vindt plaats in de volgende formule.

$$L_{bas;m} = 10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 10^{L_{bas;j}/10} \right) 4$$

Om het gemeten geluiddrukkniveau op de meetpositie te corrigeren voor het gemiddelde stoorgeluiddrukkniveau wordt onderstaande formule toegepast.

$$L_{mea;c;i} = 10 \log(10^{L_{mea;i/10}} - 10^{L_{stoor;i,m/10}}) 5$$

De correctie voor de invloed van basis stoorgeluiddrukkniveau wordt verwerkt in de formule.

$$L_{mea;m;c} = 10 \log(10^{L_{mea;m/10}} - 10^{L_{bas;m/10}}) 6$$

Het bepalen van een ruimte gemiddelde waarde wordt berekend in de relaties.

$$L_{mea;m} = 10 \log(1/n \sum_{i=1}^n 10^{L_{mea;i/10}}) 7$$

$$L_{mea;c;m} = 10 \log(1/n \sum_{i=1}^n 10^{L_{mea;c;i/10}}) 8$$

8.3.7. Nagalmtijden

De nagalmtijd is gedefinieerd als de tijd die nodig is om het geluidsdrukkniveau na het uitschakelen van de geluidbron met 60 dB te laten dalen. Bepaling van de nagalmtijd op de klassieke methode vindt plaats met behulp van een geluidniveau-schrijver in combinatie met een octaaf- of tertsbandfilter. Een daling van 60 dB (T_{60}) wordt in de praktijk vrijwel niet gehaald, enerzijds vanwege het achtergrondniveau, anderzijds vanwege de beperkingen van het meetsysteem. Een geluidniveauschrijver heeft in de praktijk slechts een dynamisch bereik van 50 dB. In een geluidveld met diffuse eigenschappen (L_p daalt lineair) kan volstaan worden met een kortere periode (T_{10} , T_{20} of T_{30}) waaruit vervolgens T_{60} wordt bepaald. Voor niet diffuse velden zal uitsterven van het geluid niet lineair (kunnen) verlopen.

Voor het bepalen van de nagalmtijd kan gebruik worden gemaakt van de ruismethode of impulsmethode (bijvoorbeeld d.m.v. een alarmpistool). De NEN-5077 gaat voor het bepalen van de nagalmtijden uit van de ruismethode of impulsresponsie-methode.

Andere methoden zoals bijvoorbeeld het gebruik van een impuls-geluidbron zoals een startschot worden in de praktijk, door het ontbreken van bijzondere voorzorgsmaatregelen, onvoldoende betrouwbaar geacht.

Bij de ruismethode wordt met een kunstmatige ruisbron geluid (ruis) opgewekt in de ontvangstruimte. De nagalmtijd wordt vervolgens bepaald na het uitschakelen van de geluidbron. Voor de registratie kan een geluidniveauschrijver, een dat-recorder alsmede een octaafbandanalyser met geheugen worden gebruikt.

Betreffende het aantal aan te houden meetposities, de opstelling van de ruisbron alsmede de aan te houden minimale afstanden, kan praktisch hetzelfde worden aangehouden als bij de overige metingen en registraties per meetpositie. In de NEN-5077 is dit iets meer gepreciseerd. Van belang is dat de nagalmmetingen onder dezelfde condities worden verricht als tijdens de isolatie-metingen, d.w.z. zelfde persoon, deuren gesloten, geen tussentijdse materialen naar binnen gebracht etc. Voor het verkrijgen van een juiste nagalmcurve dient de registratie tenminste 1 seconde voor het uitschakelen van de bron plaats te vinden en 1 seconde na het uitklinken van het geluid.

Bij het bepalen van de nagalmtijd met een geluidniveauschrijver wordt een doorzichtige schrijf gebruikt (protractor) waarmee de best passende rechte lijn door de nagalmcurve wordt bepaald. Hierbij wordt de best passende rechte lijn getrokken tussen de punten waarop het geluiddrukkniveau respectievelijk 5 dB en 25 dB gedaald is.

Overzicht van nagalmregistraties is gegeven in figuur 8.6..

Bij het bepalen van het ruimte gemiddelde nagalmniveau wordt per octaafband de gemiddelde nagalmtijd T door rekenkundige middeling bepaald.

8.4. Contactgeluidisolatie-metingen

8.4.1. Algemeen

Zoals reeds in het dictaat van andere docenten is behandeld moeten we voor het bepalen van de isolatie-index voor contactgeluid (I_{co}) eerst het genormeerde contactgeluiddrukkniveau (L_{nT}) in de ontvangruimte bepalen. Samenvattende hieronder nogmaals beknopt de formules.

$$L_{nt} = L_{co} - 10 \log (T/T_0) \quad T = 0,5 \text{ of } 0,8 \text{ seconden.}$$

Verminder voor iedere octaafband de berekende waarde van L_{nT} met de bijbehorende normwaarde volgens tabel 9.

Octaafbanden	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz
Normwaarden	70	66	66	66	70

Tabel 9 : Normwaarden voor contactgeluid

Uit de op deze wijze verkregen isolatie verschillen berekend met de isolatie-index (I_{co}) voor contactgeluid door het kleinste getal te nemen van:

- 1) het gemiddelde van de vijf isolatieverschillen;
- 2) het gemiddelde van de kleinste twee isolatie-verschillen vermeerderd met 2;
- 3) het kleinste isolatie-verschil vermeerderd met 4.

8.4.2. Metingen

Voor het bepalen van de contactgeluidisolatie tussen woningen wordt gebruik gemaakt van een contactgeluidgenerator, meestal is dit een hamermachine. Deze dient te voldoen aan de NEN-20140-6, 1988. De hamermachine kan uitgerust worden met stalen of rubberen hamerkoppen afhankelijk van het oppervlak dat aangestoten dient te worden. Het hameren met stalen koppen verdient in het algemeen de voorkeur en geeft het nauwkeurigste resultaat. Bij het hameren op een afwerkvloer van zand en cement kan het probleem ontstaan dat het oppervlak waarop de stalenhamers vallen beschadigt tijdens de metingen waardoor een verandering optreedt in het kloggeluid. Teneinde dit te voorkomen mag het oppervlak van de vloer geprepareerd worden met bijvoorbeeld een impregneermiddel (bij voorbeeld verdunde bisonkitlijm). Het verschil tussen de metingen met en zonder preparatie mag niet meer dan 2 dB bedragen.

Indien vanwege beschadiging aan de vloer de metingen verricht moeten worden met rubber hamerkoppen dient hiervoor gecorrigeerd te worden zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Aard van de afwerking van vloeren en overige oppervlakken	Herleidingstermen voor de octaafbanden in dB.				
	Middenfrequenties in Hz	125	250	500	1000	2000
Plavuizen, tegels en steenachtige vloer afw. en vast parket	0	1	3	10	26
Houten vloeren, houten trappen, zwevend parket	0	1	3	5	10

Tabel 10. Herleidingstermen, op te tellen bij de gemiddelde contactgeluiddrukkniveaus verkregen met de rubberen hamerkoppen.

Bij de plaatsing op vloeren van verblijfsruimten en verblijfsgebieden moet de hamermachine op ten minste twee posities worden opgesteld onder 45 graden met de randen van het vloerveld waarbij de tweede opstelling loodrecht staat op de eerste opstelling. Ingeval van boven elkaar (of diagonaal boven elkaar) liggende vertrekken moet één van de posities in het midden van het vloerveld gekozen worden. Bij naast elkaar liggende vertrekken moet één positie op 1,5 meter uit het midden van de scheidingswand zijn gelegen. De hamermachine dient ten minste 50 cm uit de vloerranden te blijven. Tussen de eerste en tweede opstelling dient een afstand van ten minste 1 meter aangehouden te worden. Bij de tweede opstelling moet voorkomen worden dat de hamermachine boven ondersteuning van de vloer zoals kolommen of onderslagbalken wordt geplaatst.

Bij andere oppervlakken dan vloeren zoals trappen, balkons, bordessen etc. wordt in principe het midden van het oppervlak aangehouden waarbij wederom een hoek gemaakt dient te worden van circa 45 graden met de randen van het oppervlak.

De metingen ter bepaling van het geluiddrukkniveau in de ontvangstruimte ten gevolge van een contactgeluidgenerator worden verricht op eenzelfde wijze als bij luchtgeluidisolatiemetingen.

8.5. Geluidwering van de gevel

8.5.1. Algemeen

Bij bepaling van de karakteristieke geluidwering van de uitwendige of inwendige scheidingsconstructie ($G_{A;k}$) dient eerst de geluidwering van de constructie (G_A) bepaald te worden uit de partiële waarden in octaafbanden (G_i). De geluidwering is gedefinieerd als het verschil tussen de geluidbelasting die op de gevel (scheidingsconstructie) invalt en het geluidniveau in de ruimte achter die gevel. Samenvattend hieronder nogmaals beknopt de formules.

$$G_i = L_{bu} - L_{bi} + 10 \log (T/T_o) - C_r$$

Bereken de geluidwering G_A .

$$G_A = -10 \log \left(\sum_{i=1}^5 10^{(G_i - C_i)/10} \right) \quad 9$$

Bereken vervolgens de karakteristieke geluidwering van de uitwendige scheidingsconstructie $G_{A;k}$ in de navolgende relatie.

$$G_{A;k} = G_A - 10 \log \left(\frac{V}{6 * T_o * S_u} \right) \quad 10$$

Of, als $G_{A;k}$ over de totale uitwendige scheidingsconstructie bepaald moet worden.

$$G_{A;k} = -10 \log \sum_{j=1}^m \left(\frac{V}{6 * T_o * S_{tot}} * 10^{-G_{A;j}/10} \right) \quad 11$$

De herleidingswaarde (C_i) per octaafband is voor het standaard buitengeluid (=wegverkeerslawaai) gegeven in onderstaande tabel.

C _i in dB voor de diverse octaafbanden	Herleidingstermen voor de octaafbanden in dB.				
Middenfrequenties in Hz	125	250	500	1000	2000
Standaard buitengeluid	-14	-10	-6	-5	-7

Tabel 11. Herleidingswaarden voor standaard buitengeluid i.c. wegverkeerslawaai.

8.5.2. Plaatsing van de geluidbron

Voor het gemak zal hieronder gesproken worden over gevel in plaats van in- of uitwendige scheidingsconstructie.

Voor het meten van de gevel kan gebruik worden gemaakt van een kunstmatige geluidbron of het geluid van de aanwezige bron, meestal wegverkeer.

In principe moeten de metingen verricht worden met een kunstmatige geluidbron, alleen wanneer het niet anders gaat kan uitgeweken worden naar het aanwezige verkeer als geluidbron. Wij beperken ons tot de gangbare meetmethode, d.w.z. het gebruik van de ruisbron die de gevel aanstraalt.

De luidspreker die de gevel aanstraalt dient afhankelijk van de vorm van die gevel opgesteld te worden. De afstand tussen het zwaartepunt van de gevel moet tenminste gelijk zijn aan 3 maal de breedte van de gevel met een minimum van 10 meter. De invalshoek van het geluid moet circa 45 graden bedragen t.o.v. de normaal van de gevel. Indien meerdere luidspreker posities hierbij mogelijk zijn, dient de positie te worden gekozen die het kleinste geluiddrukverschil oplevert. Bij twijfel verdient het de voorkeur beide metingen uit te voeren om vervolgens de meting met het kleinste geluiddrukverschil te gebruiken.

Ingeval van een geknikte verticale gevel moet de luidspreker op twee posities worden opgesteld overeenkomstig het voorafgaande. Indien de gevel ten minste voor 50% een hellend vlak (dak) betreft moet de invalshoek van het geluid tussen de 45 en 70 graden bedragen met de normaal van het dak, en een hoek van ten minste 30 graden met de normaal van de verticale gevel.

In het algemeen wordt aangeraden alvorens gevelisolatie metingen uit te gaan voeren een bestektekening op te vragen zodat van achter het bureau, met de NEN-5077 in de hand de juiste luidsprekerposties bepaald kunnen worden; dit voorkomt veel problemen in de praktijk. In figuur 8.8. is een overzicht gegeven van de opstelling van de geluidbron.

8.5.3. Metingen

Bij het aanstralen van de gevel zal het geluidveld dat invalt op de gevel verstoord worden door geluid-reflecties tegen die betreffende gevel. De meetwaarde die wordt bepaald op een afstand van circa 2,5 meter voor de gevel dient derhalve gecorrigeerd te worden middels de herleidingsterm (C_r) Deze herleidingsterm bedraagt normaliter 3 dB(A) bij vlakke verticale gevels. Bij een galerij of balkon bedraagt $C_r = 1$ tot 3 dB(A) afhankelijk van de aanwezigheid van een plafond en de geluidabsorptie van dat plafond (zie tabel NEN-5077). Bij een geheel of gedeeltelijk hellende uitwendige scheidingsconstructie is C_r afhankelijk van de afstand geluidbron tot centrum scheidingsconstructie r_c en afstand geluidbron tot meetpositie r_m . Zie figuur 8.9.. In figuur 8.10. zijn een aantal voorbeelden gegeven van meetposities in relatie tot gebouwvormen.

Registratie en meetprocedure van het geluiddrukkniveau voor de gevel i.c. uitwendige scheidingsconstructie alsmede in de ontvangvertrekken, is praktisch gelijk aan die van luchtgeluidisolatie metingen.

Tijdens de metingen dienen alle ramen en deuren gesloten te zijn en moet de ventilatie-voorziening in de gevel in een zodanige stand worden geplaatst dat aan de voorgeschreven ventilatie-eisen wordt voldaan. Bij gevelisolatie metingen verdient het de voorkeur de meetregistratie met geopende en gesloten ventilatieroosters te verrichten zodat bij tegenvallende resultaten bij de uitwerking van de metingen direct iets gezegd kan worden over de bijdragen van het ventilatie-rooster of suskast op het totale niveau.

Als tijdens de metingen getwijfeld wordt aan de kierdichtheid van ramen of deuren in de gevel, dan wel de naadaansluiting van kozijnen etc. verdient het de voorkeur de metingen in het ontvangvertrek te herhalen waarbij de (slechte) naden en kieren afgeplakt worden met plakband. Bij het uitwerken van de metingen kan dan, indien nodig, direct ingegaan worden op de mogelijke bijdrage van de slechte kierdichting zonder dan hiervoor nogmaals terug gegaan hoeft te worden naar het betreffende project.

8.6. Meten van installatie-geluid in ruimten

8.6.1 Algemeen

Voor de bepaling van het karakteristieke installatie geluid-niveau dient eerst het A-gewogen installatiegeluidniveau ($L_{I;A}$) berekend te worden uit het genormeerde installatiegeluiddruk-niveau ($L_{I;nT}$). Samenvattend hieronder nogmaals de formules.

$$L_{I;nT} = L_1 - 10 \log (T/T_0)$$

$$L_{I;A} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^5 10^{(L_{I;nT,i} + K_i/10)} \right) \quad 12$$

K_i = correctie-waarden A-weging

Het A-gewogen installatiegeluidniveau ($L_{I;A}$) is een goede maat voor de feitelijke beleving van het geluidniveau in een ruimte. De beoordeling van het geluidniveau van een installatie onafhankelijk van de ruimte, vindt plaats via het karakteristieke A-gewogen installatiegeluidniveau ($L_{I;A;k}$) waarbij het geluidniveau wordt genormeerd op een standaard volume van 25 m^3 . De berekeningsformules zijn als volgt:

$$L_{I;A;k} = L_{I;A} + 5 \log \left(\frac{V}{V_0} \right) \quad 13$$

$$L_{I;A;k} = 10 \log \sum_{j=1}^m \left(\frac{V_j}{V_{tot}} * 10^{(L_{I;A;j})/10} \right) + 5 \log \frac{V_{tot}}{V_0} \quad 14$$

8.6.2. Metingen

Bij metingen van installatiegeluiden moeten alle ventilatie voorzieningen die zijn aangebracht in de meetruimte in een zodanige stand worden geplaatst dat aan de ventilatie-norm wordt voldaan.

Het maximale geluidniveau vanwege installaties moet worden bepaald tijdens een normale werkingscyclus onder representatieve bedrijfssituaties van de betreffende installatie.

Voor enkele belangrijke installaties wordt hieronder verstaan:

Conditie:

- | | |
|--------------------------------|--|
| Waterdruk | - de tijdens de metingen heersende waterdruk, bij drukvariaties in het net zijn de meetresultaten bij de hoogste waterdruk maatgevend; |
| Waterdebiet/druk | - de metingen worden verricht bij maximale waarden van het waterdebiet en waterdruk die in het verwarmingssysteem kunnen optreden; |
| Luchtdebiet CV luchtverwarming | - de metingen worden verricht bij maximale waarden van het luchtdebiet die in het verwarmingssysteem kan optreden; |
| Luchtdebiet ventilatiesys. | - de metingen worden verricht bij een zodanige instelling van het ventilatiesysteem dat aan de eisen volgens de bouwvoorschriften (Bouwbesluit) wordt voldaan; |
| Belasting liften | - de metingen worden verricht bij onbelaste lift; |

Werkingscyclussen:

- 1) Toilet - doorspoelen en vullen van reservoir;
- 2) Enkele kraan - langzaam volledig openen en sluiten;
- 3) Mengkraan - langzaam volledig openen van warmwatertoevoer - dito van de koudwatertoevoer - langzaam sluiten warmwater - langzaam sluiten koudwatertoevoer;
- 4) Therm.mengkr. - langzaam volledig openen van de toevoer bij middelste stand van de temperatuurregelaar - langzaam regelen naar koudste stand - langzaam bijregelen naar warmste stand - langzaam sluiten van de toevoer;
- 5) Bad - bediening badkranen als hierboven bij open afvoer;

- 6) Douche - als bij bad;
- 7) Boiler c.q. geiser - aanslaan van verwarming - werken op vollast - afslaan;
- 8) Hydrofoor - aanslaan - werken op vollast -afslaan
- 9) CV-water - aanslaan vanuit geheel afgekoelde toestand - werken op vollast - langzaam openen en sluiten van radiatorcranen in de beschouwde verblijfsruimte - afslaan;
- 10) CV-lucht - aanslaan vanuit geheel afgekoelde toestand - werken op vollast - langzaam openen en sluiten van eventuele luchtregelkleppen in de toe- en afvoerroosters en in luchtbypasssystemen in de beschouwde verblijfsruimte- afslaan.

Bij metingen aan installaties in gebouwen moeten we onderscheid maken tussen stationaire geluidbronnen zoals ventilatiesystemen en geluidbronnen met een fluctuerend karakter. Bij stationaire geluidbronnen wordt het L_{eq} bepaald per octaafband en bij fluctuerende geluidbronnen het L_{max} per octaafband op meterstand "Slow" of op meterstand "Maximum-hold" gedurende de werkingscyclus van de geluidbron. Het aantal meetposities in het ontvangvertrek is overeenkomstig de eisen die bij luchtgeluidisolatie-metingen worden gesteld (afhankelijk van het vloeroppervlak). De verwerking van stoorgeluid etc. vindt op de gebruikelijke wijze plaats.

9. HANDLEIDING IL-HR-13-01

9.1. Algemeen

Voor het bepalen van geluidimmissies in de omgeving van gebouwen wordt de handleiding IL-HR-13-01 van maart 1981 gebruikt. De handleiding geeft verschillende methoden, die van eenvoudige meet- en rekenmethodes (klasse A), standaard methoden (klasse B) en specialistische methoden (klasse C). Een overzicht van de kenmerkende verschillen tussen de klassen A, B en C is gegeven in figuur 9.1.. Voor de beoordeling van geluid in de omgeving van een gebouw dient de etmaalwaarde van het equivalente geluidniveau bepaald te worden in dB(A). De etmaalwaarde is gedefinieerd als het hoogste van de volgende drie niveaus:

- $L_{Aeq, dag}$ in de dagperiode (07.00 uur - 19.00 uur)
- $L_{Aeq, avond}+5$ in de avondperiode (19.00 uur - 23.00 uur)
- $L_{Aeq, nacht}+10$ in de nachtperiode (23.00 uur - 07.00 uur)

Impulsachtige en/of tonale geluiden worden met 5 dB(A) "bestraft" in verband met de extra hinder die het karakter van het geluid bij de "ontvanger" veroorzaakt. Muziekgeluid wordt om die reden zelfs "bestraft" met 10 dB(A). De in de handleiding IL-HR-13-01 omschreven methoden zijn te verdelen in drie groepen te weten:

- 1) Directe immissie metingen;
- 2) Extra of interpolatie van metingen d.m.v. een eenvoudige rekencorrectie;
- 3) Berekeningen van de geluidimmissie met behulp van een overdrachtsmodel.

9.2. Meetapparatuur

Voor het verrichten van de geluidmetingen dient men de beschikking te hebben over een bij voorkeur integrerende geluidniveaumeter voorzien van een A-filter die voldoet aan de eisen van IEC-651, type 1. Voor en na iedere meetsessie moet de geluidmeter c.q. de gehele meetketen worden gecalibreerd met een akoestische ijkbron die voldoet aan de eisen van IEC-942, klasse 1). Indien de meter voorzien is van octaafband-filters dienen deze te voldoen aan de eisen van IEC-225. Ook hier verdient het de voorkeur de gehele meetset alvorens men op pad gaat om te meten op het kantoor te checken en te calibreren. Dit voorkomt in de praktijk veel problemen zoals lege batterijen, zoek geraakte kabeltjes etc. Indien men de metingen op DAT wil opnemen voor latere analyse moet voor en na de metingen op een band een calibratie-signaal worden opgenomen. Tevens dient tijdens de metingen de dB(A) waarde genoteerd te worden als controlemiddel bij het uitwerken van het signaal op de band.

9.3. Type geluid

Bij de karakterisering van geluiden kent de handleiding de typen geluid die in figuur 9.2. zijn weergegeven. Bij sommige geluiden wordt bij de gemeten waarden een toeslag gegeven voor extra hinderlijkheid van deze geluiden. Het geluid van een ventilator kan bijvoorbeeld een tonaal-karakter bezitten waardoor het gemeten geluidniveau verhoogd dient te worden met in dit geval 5 dB(A). Indien het geluid nabij de ontvanger een tonaal en/of impulsachtig karakter heeft wordt het L_{Aeq} vanwege de inrichting met 5 dB(A) verhoogd alvorens toetsing aan de geluidvoorschriften plaatsvindt. Men dient er op bedacht te zijn dat dicht bij de geluidbron het tonale karakter niet wordt onderkend terwijl dit op enige afstand door zogenaamde interferentieverschijnselen wel als zodanig wordt waargenomen.

Een overzicht van de vereiste meetperiode en de klasse meting bij diverse typen geluid is gegeven in figuur 9.3..

9.4. Directe immissiemetingen A1

Bij directe immissie-metingen worden er geluidmetingen verricht op het immissiepunt, meestal de plaats waar hinder vanwege een bepaalde geluidbron wordt ondervonden. De metingen dienen te worden verricht in het meteoraam genoemde omstandigheden. De definitie van het meteoraam voor industrielawaai is gegeven in tabel 12. E.e.a. is toegelicht in figuur 9.3..

Meteoraam Industrielawaai Handleiding IL-HR-13-01		Toe- gestane windsnel- heid [m/s]	Toe- gestane windhoek $f_{i,max}$ (graden)
Meteorologische dag	oktober t/m mei	> 1	60
	juni t/m september	> 2	
Meteorologische nacht	meer dan 1/8 bewolkt	> 1	75
	minder dan 1/8 bewolkt	> 0	
	minder dan 1/8 bewolkt	windstil	alle rich- tingen

Tabel 12: Meteorologische omstandigheden waaronder metingen moeten worden uitgevoerd in het geval de meetafstand groter is dan 50 meter voor klasse A en $10 \cdot (h_b + h_o)$ voor klasse B en C.

- 1) De gemiddelde windsnelheid wordt bepaald op een hoogte van 10 meter in het open veld, op of nabij de meetplek. De windsnelheid wordt bepaald uit metingen tussen 2 en 10 meter hoogte. De gemeten windsnelheid op 2 meter moet met 1.8 en op 5 meter met 1.2 vermenigvuldigd worden.
- 2) De windhoek (f_i) is de hoek tussen de bron-ontvangerlijn en de gemiddelde windrichting.

De directe immissie-metingen hebben in bestaande situaties, vooral bij kleine afstanden (< 50 meter) de voorkeur. De nauwkeurigheid van het gemeten geluidniveau wordt alleen bepaald door de onzekerheden over de representativiteit van de bedrijfssituatie van de geluidbron en het stoorgeluid. De metingen mogen niet bij dusdanig hoge windsnelheden worden verricht dat hierdoor stoorgeluid optreedt dat minder dan 7 dB lager is dan het te meten niveau van de geluidbron.

De metingen worden in principe verricht "daar waar hinder wordt ondervonden" op een minimale hoogte van 1.5 meter boven het plaatselijke maaiveld. Indien de metingen nabij woningen worden uitgevoerd dient dit plaats te vinden op circa 1,5 tot 2 meter voor de gevel. Metingen ter controle van de geluidvoorschriften in de avond- en nachtperiode dienen op een meethoogte van 5 meter te worden verricht.

Op de meetplaats dient vervolgens het gemiddelde geluidniveau L_{pA} in dB(A) genoteerd te worden in de meterstand "Slow". In afwijking van de handleiding wordt tegenwoordige meestal het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) gehanteerd. Bij metingen van het equivalente geluidniveau moet er op worden toegezien dat stoorgeluiden het meetresultaat beïnvloeden. Stoorgeluiden dienen zoveel mogelijk vermeden te worden. Volgens de methode A1 is het niet toegestaan te corrigeren voor stoorgeluiden. Indien tijdens de metingen stoorgeluiden optreden dient de meting (tijdelijk) gestopt te worden.

Het gestandaardiseerde immissieniveau wordt bepaald door op het gemeten geluidniveau enige rekencorrecties aan te brengen. De formules luiden als volgt:

$$L_i = L_{pA} - C_n - C_h$$

$$L_{Aeq} = L_i - C_b - C_m$$

Waarin:

L_i = gestandaardiseerd immissieniveau

C_n = correctie voor het aantal metingen. Bij afstanden < 50 [m] in de praktijk meestal 0.

$C_h/-C_h$ = correctie voor meethoogte en bodem zie figuur 4.1. $-C_h$
= $C_{h,immissiepunt} - C_{h,meetpunt}$

C_b = bedrijfsduurcorrectie $C_b = -10 \log T_b/T_o$
zie figuur 9.4.

C_m = meteocorrectieterm, zie figuur 9.4.

Bij de beoordeling is het L_{Aeq} op de in de vergunning omschreven meetplaats en hoogte het uitgangspunt. De geluidbelasting B_i c.q. de toetsingswaarde wordt bepaald volgens het beoordelingsoverzicht in figuur 9.5..

9.5. Extrapolatie methode A2

Hierbij wordt de geluidbelasting bij de ontvanger berekend door (meestal) tussen de geluidbron c.q. inrichting en ontvanger metingen te verrichten op een referentiepunt volgens methode A1. Deze gemeten waarde wordt vervolgens geëxtrapoleerd naar het betreffende immissiepunt. Deze methode wordt toegepast indien het immissie-punt niet goed bereikbaar is of als er teveel stoorgeluiden op dit punt aanwezig zijn. De ligging van het referentiepunt dient aan de volgende eisen te voldoen.

- 1) Niet te dicht bij de geluidbron en niet ver voorbij het immissiepunt.
- 2) In dezelfde richting liggen als het immissiepunt.
- 3) Nabij het referentiepunt mag geen lokale afscherming of reflectie optreden door objecten.
- 4) Goede signaal/stoorverhouding.
- 5) Meethoogte bij voorkeur 5 meter.
- 6) Geen reflecterende vlakken achter de meetmicrofoon.

Het gestandaardiseerd immissieniveau ter plaatse van de ontvanger volgt uit onderstaande relatie.

$$L_i = L_{pA} - C_n - C_h - C_{ref}$$

waarin C_{ref} een correctie term is voor het verschil in afstand tussen het referentiepunt en het immissiepunt is.

$$C_{ref} = 20 \cdot \log r/r_{ref}$$

r = afstand tussen geluidbron en immissiepunt bij ontvanger.
 r_{ref} = afstand tussen geluidbron en referentiepunt.

Voor de extrapolatie van geluidmetingen bij vlakken dient het meetpunt niet te dicht bij het vlak gekozen te worden. Een goede indicatie geeft hierbij onderstaande formule waarbij (S) het oppervlak van de gevel is en (r) de afstand.

$$r \geq \sqrt{\frac{2 * S}{\pi}} 15$$

Door verwaarlozing van extra verzwakkingen in het overdrachtsgebied worden bij extrapolatie in het algemeen hogere geluidniveaus berekend dan er in werkelijkheid optreden. Bij extrapolatie berekeningen wordt derhalve de gevelreflectie C_g niet in rekening gebracht.

9.6. Kentallen en vermogenniveaus methode A3

Uit kentallen voor een type geluidbron en uit het geluidvermogen van een apparaat kan de bronsterkte van een bedrijf worden bepaald. Vervolgens kan met eenvoudige overdrachtsberekeningen de geluidbelasting bij de ontvanger worden bepaald. Deze methode is in beginsel onnauwkeurig en indicatief zodat voorzichtigheid is geboden.

Bij de berekeningen wordt uitgegaan van kentallen van geluidbronnen, bijvoorbeeld van de leverancier op basis waarvan het geluidvermogen wordt berekend.

Een overzicht van enkele kenmerkende geluidvermogenniveaus (bronvermogen) is gegeven in figuur 9.6.. Ten gevolge van reflecterende vlakken nabij de bron zullen bronnen die ongericht afstralen richtingsafhankelijk gaan afstralen. Dit dient verdisconteerd te worden in het bronvermogen.

Voor de drie situaties in figuur 9.6. is de correctie term als volgt:

- 1) situatie a. De bron straalt in alle horizontale richtingen ongeveer gelijkmatig uit $L_{WR} = L_W$;
- 2) situatie b. De openingshoek voor uitstraling in horizontale richting is ongeveer 180 graden;
 $L_{WR} = L_W + 3 \text{ dB(A)}$ voor niet afgeschermd richtingen;
 $L_{WR} = L_W$ voor afgeschermd richtingen;
- 3) situatie c. De openingshoek voor uitstraling in horizontale richting is ongeveer 90 graden;
 $L_{WR} = L_W + 6 \text{ dB(A)}$ voor niet afgeschermd richtingen
 $L_{WR} = L_W$ voor afgeschermd richtingen.

Het gestandaardiseerde immissie-niveau wordt vervolgens berekend in de onderstaande relatie.

$$L_i = L_{WR} - C_w - C_h$$

$$C_w = \text{de afstandscorrectie term } C_w = 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot r^2)$$

9.7. Metingen aangepast meetvlak methode B4/C4

Het doel van deze methode is het bepalen van de geluidimmissie ten gevolge van een afzonderlijke bron of groep van geluidbronnen. Bij deze methode wordt op korte afstand van een bron een denkbeeldig meetvlak gedacht dat de vormen volgt van deze bron. In dit denkbeeldig meetvlak worden diverse metingen verricht. Deze methode wordt toegepast in situaties waar in verband met stoorgeluid zeer dicht bij de bron moet worden gemeten. Deze (specialistische methode) is vooral toepasbaar voor de volgende soorten van bronnen:

- 1) Gebouwen en onderdelen ervan;
- 2) Openingen in gebouwen;
- 3) Pijpleidingen;
- 4) Machines, apparaten en installaties.

Als voorwaarde bij de metingen wordt gesteld dat de meetafstand groter of gelijk moet zijn dan 1,5 x een kenmerkende doorsnede van de geluidbron. Voor afstralende wanden en platen geldt een minimum meetafstand van 0,5 meter. De basis formule (vereenvoudigd) luidt als volgt.

$$L_w = L_p + 10 \cdot \log(S) + C_{gn} + D_I$$

L_w = het uitgestraalde geluidvermogen

L_p = het gemiddelde geluidniveau over de meetpunten

C_{gn} = de correctie voor het geometrische nabijheidsveld afhankelijk van de verhouding tussen oppervlakte meetvlak en oppervlakte referentie-lichaam (0 tot -3)

S = het oppervlak van het meetvlak dat de bron omsluit (zonder bodem)

D_I = richtingsindex (afhankelijk van opstelling van de bron)

Aandachtspunten bij het verrichten van de metingen zijn:

- een sterk afstalende deelbron moet apart gemeten worden;
- bij het gebruik van een intensiteitsmeter kan een groot aantal meetpunten noodzakelijk zijn i.v.m. de richtingsgevoeligheid
- indien binnen een meetvlak geconcentreerde bronnen voorkomen zoals uitlaten in wanden dienen deze apart gemeten te worden via de geconcentreerde bronmethode.
- weersomstandigheden zijn nauwelijks van invloed op de metingen.

De door middel van deze metingen bepaalde geluidvermogens van bronnen kunnen vervolgens gebruikt worden om door middel van overdrachtsberekeningen bijvoorbeeld via methode A3 een immis-sie-niveau nabij woningen te prognosticeren.

9.8. Rapportage

De gegevens van de metingen worden vastgelegd in een gestandaardiseerd meetblad waarop alle relevante informatie ingevuld dient te worden. Dit formulier is hiernaast afgebeeld, figuur 9.8..

10. TRILLINGSMETINGEN (o.a. METHODE C6)

10.1. Algemeen

De wanden en vloeren die in trilling worden gebracht zullen geluid afstralen hetgeen te berekenen is in de hieronder gegeven relatie.

$$L_w = L_v + 10 \cdot \log \sigma + 10 \cdot \log S - 34$$

Het diffuse geluidveld in een ruimte veroorzaakt door de afstraling van een trillend vlak kan bepaald worden middels de hieronder gegeven formule.

$$L_p = L_v + 10 \cdot \log \sigma - 10 \cdot \log (A/4 \cdot S) - 34$$

waarin:

L_w = geluidvermogeniveau in dB

L_p = het geluiddrukniveau in dB

L_v = snelheidsniveau in dB t.o.v. 10^{-9} [m/s]

S = oppervlak van de wand of vloer [m^2]

A = absorptie in de ruimten (m^2 O.R.)

σ = afstraalfactor

Veelvuldig wordt het versnellingsniveau bepaald met als referentiewaarde 10^{-6} [m/s^2]. De formules luiden dan als volgt.

$$L_w = L_a + 20 \cdot \log(1/2\pi f) + 10 \cdot \log \sigma + 10 \cdot \log S - 26$$

$$L_p = L_a + 20 \cdot \log(1/2\pi f) + 10 \cdot \log \sigma - 10 \cdot \log (A/4 \cdot S) - 26$$

Waarin:

L_a = het versnellingsniveau in dB t.o.v. 10^{-6} [m/s^2]

f = frequentie in Hz

De afstraalfactor is één boven de coïncidentie-frequentie (grensfrequentie) van het materiaal omdat de snelheid van de buiggolven dan hoger is dan de geluidssnelheid. Beneden de coïncidentie-frequentie is de snelheid van de buiggolven lager dan de geluid-snelheid in lucht. Dit betekent dat er weinig energie wordt overgedragen. In figuur 10.1. is e.e.a. grafisch toegelicht.

Voor betrouwbare voorspellingen van de optredende geluidsdruk-niveaus moet over de diverse meetpunten energetisch gemiddeld worden.

Bij de uitvoering van de metingen moet gelet worden op de volgende punten:

- voldoende aantal meetpunten;
- stijfheid van de bevestiging in relatie tot het frequentie gebied waarin de metingen verricht worden;
- type trillingsopnemer i.v.m. de eigen frequentie van de opnemer alsmede de massa i.v.m. de beïnvloeding van het trillingsgedrag.

10.2. Het verrichten van trillingsmetingen

Bij het verrichten van trillingsmetingen zal veelal gebruik worden gemaakt van versnellingsopnemers. De invloed van een opnemer op het trillingsgedrag van een mechanisch systeem is kritischer dan van een microfoon in het geluidveld. Voor trillingsopnemers kan geen algemene correctie gegeven worden.

Bij de keuze van de opnemer dient per geval de juiste balans gezocht te worden tussen de toelaatbare massa van de opnemer in relatie tot de massa van het te meten object.

Om te controleren wat de effecten zijn van de bevestiging van een opnemer op een object c.q. constructie wordt het volgende opgemerkt.

De resonantie-frequentie van een eerste orde massa veersysteem volgt uit:

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_o}} \quad 16$$

waarin:

m_o = massa van het systeem

k = veerconstante

f_o = resonantiefrequentie van het systeem

Bij de bevestiging van een trillingsopnemer met massa m_1 zal de resonantiefrequentie veranderen.

$$\frac{f_1}{f_0} = \sqrt{\frac{m_0}{m_0 + m_1}} \quad 17$$

Elke massa die toegevoegd wordt aan het systeem zal derhalve enigszins het trillingsgedrag veranderen maar indien m_1 klein is ten opzichte van m_0 zal het effect te verwaarlozen zijn. Zo zal door het toevoegen van 10% aan de massa de resonantiefrequentie verminderen met circa 5%. Nadat de juiste massa en gevoeligheid van de opnemer is bepaald dient er een keuze gemaakt te worden van bevestiging van de opnemer.

10.3. Bevestiging van de opnemer

De versnellingsopnemer kan op diverse manieren bevestigd worden aan de constructie. De keuze van de bevestiging bepaalt de optredende bevestigingsresonantie.

Deze resonantie is afhankelijk van het massa-veersysteem dat ontstaat door het bevestigingsmiddel (veer) en de opnemer (massa). In het algemeen wordt de meest stevige verbinding aanbevolen omdat meestal een hoge bevestigingsresonantie gewenst is teneinde hiervan geen storende invloed te ondervinden bij metingen.

De opnemer kan onder meer op de volgende wijze worden bevestigd:

- d.m.v. een schroefverbinding;
- met bijenwas;
- met lijm;
- met magneet;
- met tape;
- met de hand d.m.v. een pen.

Een overzicht van de optredende bevestigingsresonantie bij twee veel gebruikte opnemers is gegeven in tabel 13.

Bevestigings- methode	Gewicht opnemer 28g	Gewicht opnemer 500g
	Resonantie in kHz	Resonantie in kHz
schroef	17,0 - 20,0	4,0 - 4,8
bijenwas	16,0	3,7
magneet	4,0	0,97
tape	0,95 - 13,0	0,23 - 3,0
hand-probe (pen)	1,0	0,26
snellijm/plaatje	13,0	2,50

Tabel 13: Overzicht van de optredende bevestigingsresonanties bij twee verschillende opnemers.

Bij figuur 10.2. zijn voor een B&K-opnemer grafisch de bevestigingsresonanties weergegeven bij verschillende bevestigingssoorten.

Verkeerde meetresultaten worden vaak veroorzaakt door het onzorgvuldig bevestigen van de opnemer alsmede de kabel tussen de voorversterker en de opnemer. De kabel tussen de voorversterker en de opnemer moet recht liggen. Door de kabel met tape aan de ondergrond te bevestigen kan voorkomen worden dat de kabel meetrilt of beweegt tijdens de metingen waardoor het meetsignaal wordt verstoord (zie figuur 10.3).

10.4. Metingen

Bij het in situ verrichten van trillingsmetingen wordt de volgende meetprocedure voorgesteld. Vooraf dient op het kantoor de juiste meetopstelling bepaald te worden.

Bij de eerste controle dienen de volgende zaken gecontroleerd te worden:

- 1) Probeer een inschatting te maken van het trillingsfenomeen dat gemeten moet worden;
- 2) Maak een keuze voor het meest geschikte meetinstrument;
- 3) Maak een meetopstelling en controleer of alle kabels aanwezig zijn;
- 4) Controleer en calibreer het systeem:
 - de batterijen;
 - calibreer de meetketen met behulp van een trillingsijkbron;
 - bij het gebruik van een DAT-recorder, set het calibratie-signaal op de band;.
 - controleer de opnemer op interne breuk door de resultaten te vergelijken met een vergelijkbare opnemer.

In situ dient de onder 1 t/m 4 gestelde procedure herhaald te worden. Daarna dient het trillingssignaal als volgt geregistreerd te worden:

- 5) Noteer alle meterstand- en meetgegevens ook indien het signaal wordt vastgelegd op de DAT-recorder;
- 6) Meet het achtergrond trillingsniveau in dezelfde frequentiebanden als tijdens de metingen;
- 7) Maak een schets van de meetopstelling;
- 8) Check het meetsysteem direct na de metingen met de calibrator, bij een DAT-recorder dient dit signaal opgenomen te worden;
- 9) Houd rekening met de eigenschappen van de trillingsopnemer (zie figuur 10.4. voor een B&K-pickup).

De keuze van de meetplaats is afhankelijk van het probleem. Meestal zal de registratie van de trillingen plaatsvinden op de plaats waar het hoogste trillingsniveau verwacht of gevonden kan worden. Of in geval van trillingshinder, daar waar de hinder wordt ondervonden.

10.5. Trillingsmetingen met geluidniveaumeter.

Trillingsmetingen voor bouwakoestiek kunnen worden verricht met behulp van een geluidniveaumeter waarbij gebruik kan worden gemaakt van de microfoonvoorversterker. Uiteraard dient hiertoe wel een correctie aangebracht te worden op de niveaus die uitgelezen worden. Meestal kan deze correctie direct in de geluidniveaumeter worden ingevoerd als K-factor. De niveaus op de geluidniveaumeter in dB geven vervolgens de versnelling weer t.o.v. van 10^{-6} m/s². Hieronder is een eenvoudig voorbeeld gegeven hoe de correctie (K-factor) berekend kan worden bij een standaard geluidniveau van B&K type 2231.

Voorbeeld

Stel: De microfoon heeft een gevoeligheid van 50 [mV/Pa] en de gekozen versnellingsopnemer 8,76 [mV/ms⁻²].

De correctie wordt als volgt berekend:

$$20 * \log \frac{50}{8,76} = 15,1218$$

$$20 * \log \frac{2 * 10^{-5}}{10^{-6}} = 26,019$$

Waarbij aangetekend wordt dat 1 Pa gelijk is aan 94 dB t.o.v. $2 * 10^{-5}$ [Pa] en 1 [ms⁻²] gelijk is aan 120 dB t.o.v. 10^{-6} [ms⁻²].

De totale correctie van (15,12 + 26,0) = 41,12 dB dient vervolgens opgeteld te worden c.q. ingevoerd te worden als positieve K-factor.

Bij de instelling van de geluidmeter dient in principe het A-filter uitgeschakeld te worden.

11. HINDER DOOR TRILLINGEN

11.1. Algemeen

De trillingsproblemen zijn globaal als volgt onder te verdelen:

A. Schade aan bouwwerken of productie-processen vanwege trillingen

- Trillingen in het frequentie bereik van 1 tot 100 Hz die schade kunnen veroorzaken aan gebouwen of gebouwonderdelen of aan productie-processen welke in deze gebouwen plaatsvinden.

B. Hinder vanwege trilling

- Trillingen in het frequentie bereik van 1 tot 100 Hz die door de mens als hinderlijk wordt ervaren of gevoelens veroorzaakt van onbehagen.

C. Hinder vanwege afgestraald laagfrequent geluid

- Geluiddrukkniveaus in gebouwen in het frequentie bereik van 16 tot 100 Hz die door de gebruikers van deze gebouwen als hinderlijk worden ervaren.

In het algemeen kan worden gesteld dat trillingen, die voor gebouwen nog niet schadelijk zijn, reeds voor de gebruikers van deze gebouwen als hinderlijk ervaren kunnen worden. De normen ten aanzien van beperking van trillingshinder op mensen zijn derhalve ook strenger dan de normen welke "gebouw schade" dienen te voorkomen. Dit geldt overigens niet voor mogelijke productie-processen welke in deze gebouwen plaatsvinden, die bijvoorbeeld bijzonder gevoelig zijn voor trillingen.

In de meet- en beoordelingsrichtlijn 2 "Hinder voor personen in gebouwen door trillingen" van de Stichting Bouwresearch (SBR) is aangegeven op welke wijze trillingen vanwege machines, heiwerkzaamheden, verkeer enz. op een eenduidige wijze gemeten en beoordeeld kunnen worden.

11.2. Meten van trillingen

In de "dagelijkse" praktijk wordt voor het verrichten van trillingsmetingen tegenwoordig veelal gebruik gemaakt van een versnellingsopnemer, met name vanwege de hoge gevoeligheid, de rechte frequentie karakteristiek alsmede het geringe gewicht van de opnemers. Desgewenst kunnen met behulp van deze opnemers gemeten versnellingsniveaus met een integrator in de meetketen worden omgewerkt tot een snelheidssignaal.

Indien de metingen verricht worden met een professionele geluidniveaumeter of eenvoudige geluid-analysator zal vanwege het beperkte frequentiegebied waarin wordt gemeten in de meetketen tevens een laagfrequent filter moeten worden toegepast om in het bereik van 1 tot 80 Hz trillingsmetingen te kunnen verrichten.

De trillingsopnemer dient stevig op de ondergrond bevestigd te worden op de plaats en in de ruimte waar de sterkste trillingen optreden, onder representatieve "gebruiksomstandigheden". In nieuwbouw situaties kan de opnemer veelal met een "plaatje met schroefdraad" verlijmd worden op de constructie. In bewoonde situaties dient, ingeval van vloerbedekking, gebruik te worden gemaakt van een hulpstuk zoals gegeven in figuur 11.1..

Gelet op het te onderzoeken frequentie-gebied (1 t/m 80 Hz) zullen bevestigingsresonaties geen significante invloed hebben op de meetresultaten. Opgemerkt dient te worden dat de massa van de opnemer en het bevestigingsmiddel ten opzichte van de massa van de constructie waarop deze wordt aangebracht, verwaarloosbaar klein dient te zijn. De plaats waar de trillingen zich veelal het sterkst manifesteren is voor de verticale richting meestal in het midden van het vloerveld en in horizontale richting in de hoekpunten van een vloerveld van de ruimte waar de trillingen het sterkst waarneembaar zijn.

11.3. Calibratie

Door middel van calibratie wordt de amplitude-frequentie karakteristiek gecontroleerd van het meetsysteem. Een goede calibratie bestaat uit een niveau-calibratie en een frequentie-respons-calibrator. Met de niveau-calibrator wordt het absolute niveau vastgelegd in één frequentie. Het calibratie-niveau dient bij voorkeur gekozen te worden tussen 50% en 100% van de volle waarde schaal. Bij een frequentie-calibratie wordt de relatieve-waarde van de trillingsgrootte bij een zekere frequentie bepaald t.o.v. de niveau-calibratie. Deze laatste calibratie zal in de praktijk veelal alleen op het kantoor c.q. het lab plaatsvinden. In situ blijft de calibratie beperkt tot een niveau calibratie. In principe dient de calibratie plaats te vinden in het meetgebied waarbinnen de metingen worden verricht. Gelet op het meetgebied van de SBR-richtlijn (1 - 80 Hz) en de beschikbare trillingscalibrators, zal de calibratie veelal buiten dit meetgebied plaatsvinden. Dit hoeft geen probleem te zijn mits de amplitude-frequentie-respons van het meetsysteem ook buiten het meetgebied lineair is. Meestal is dit het geval, e.e.a kan gecontroleerd worden aan de hand van de bij de trillingsopnemers meegeleverde calibratie-kaart.

De nauwkeurigheid van de niveau calibratie mag niet meer afwijken dan:

- ∇ 1% voor de ingestelde frequentie en
- ∇ 5% voor de amplitude.

De nauwkeurigheid van de bepaling van de trillingsgrootte dient voor de gehele meetketen volgens de norm binnen 20% van de werkelijke te liggen.

11.4. Richtlijn 2 van de Stichting Bouw Research

De door de Stichting Bouw Research (SBR) uitgebrachte meet- en beoordelingsrichtlijn deel 2 "Hinder voor personen in gebouwen door trillingen" maakt onderdeel uit van drie richtlijnen die door de studietoelichting "Trillingshinder" van de SBR zijn uitgebracht. De andere twee richtlijnen hebben betrekking op het meten en beoordelen van trillingen in verband met mogelijke schade aan gebouwen (deel 1) en verstoring van gevoelige apparatuur (deel 3).

Voor de bescherming van ons woon- en leefmilieu is de beoordelingsrichtlijn deel 2 van belang. Hieronder zal derhalve beknopt worden ingegaan op deze richtlijn.

Het is duidelijk dat bij het opstellen van deze richtlijn onder meer de Duitse norm DIN 4150, Teil 2 van december 1992 als leidraad is gebruikt. In de richtlijn wordt zowel de procedure, als de te hanteren streefwaarden gegeven voor de beoordeling van trillingen voor mensen in gebouwen. Bij de richtlijn is een zeer handige kaart bijgevoegd waarop een samenvatting van de richtlijn is gegeven. Hierdoor kan vrij snel een overzicht worden verkregen van de belangrijkste criteria die bij de beoordeling van de trillingen in acht genomen moeten worden. Op deze kaart is een schema gegeven van de meet- en bewerkingsprocedure (figuur 11.2.).

De beoordeling van trillingen volgens de norm vindt plaats in het frequentie gebied van 1 tot 80 Hz waarbij in verblijfsruimten van woningen of andere gebouwen onder representatieve omstandigheden de trillingssnelheid of trillingsverplaatsing wordt geregistreerd. De metingen moeten worden verricht op een vloerveld in de ruimte waar de hinder optreedt en wel in de drie afzonderlijke richtingen (x-richting, y-richting en z-richting). In de algemene voorwaarden uit de norm worden onder meer de eisen geformuleerd waaraan het meetcircuit dient te voldoen.

Voor de beoordeling dient het geregistreeerde trillingsignaal per meetpunt en in alle richtingen te worden "gewogen" met een wegingsfunctie waardoor de momentane waarde van de gewogen trillingsgrootte $v(t)$ wordt verkregen.

Voor de weegfunctie geldt bij versnelling :

waarin :

f = frequentie in Hz

$f_0 = 5,6$ Hz

$V_0 = 1$ [mm/s]

a = versnelling in [m/s²]

De momentane waarde van het gewogen trillingsniveau $V(t)$ wordt verkregen door vermenigvuldiging ($V(t) = a * H_a(f)$).

De procedure voor een snelheidssignaal is, behoudens de weegfunctie, hieraan gelijk. Per meetpunt en voor iedere richting dient vervolgens de voortschrijdende effectieve waarde te worden bepaald waarbij een integratietijd van 125 ms wordt gehanteerd. Normaal zal het meetinstrument direct de voortschrijdende effectieve waarde ($V_{eff(t)}$) aangeven (meterstand "Fast").

In figuur 11.3. is e.e.a. grafisch weergegeven.

Verder dienen per meetpunt en per meetrichting de volgende waarden bepaald te worden:

- de maximale waarde van $V_{\text{eff}}(t)$ over de duur van de meting ($V_{\text{eff,max}}$);
- de maximale waarde van $V_{\text{eff}}(t)$ in een interval van 30 seconden ($V_{\text{eff,max,30,i}}$);
- de effectieve waarde van de maxima per beoordelingsperiode (V_{per}) waaronder wordt verstaan het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarden van de intervallen [i] ($V_{\text{eff,max,30,i}}$) in de betreffende beoordelingsperiode (dag, avond en nacht) zoals in de onderstaande relatie is weergegeven:

Waarin:

- n = aantal tijdsintervallen van 30 seconden binnen de duur van de meting
- k = aantal intervallen van 30 seconden binnen de totale tijdsduur van de trilling in de desbetreffende beoordeling periode
- $V_{\text{eff,max,30,i}}$ = de grootste waarde van $V_{\text{eff}}(t)$ in een tijdsinterval van 30 seconden
- i = variabele welke het interval aangeeft

De beoordeling van trillingen in een ruimte wordt vervolgens vastgesteld aan de hand van de gevonden maximale trillingssterkte in een ruimte (V_{max} = grootste waarde van $V_{\text{eff,max}}$) en de in hetzelfde meetpunt en dezelfde meetrichting vastgestelde trillingsterkte over de beoordelingsperiode ($V_{\text{per}} = V_{\text{per}}$) (dag-, avond- en nachtperiode).

In de richtlijn worden streefwaarden gegeven voor de volgende omstandigheden:

- continu voorkomende trillingen gedurende langere tijd zoals ten gevolge van machines;
- herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd ten gevolge van weg- of railverkeer waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen bestaande en nieuwe situaties;
- continu of herhaald voorkomende trillingen gedurende een aaneengesloten tijdsduur, korter dan drie maanden, zoals ten gevolge van bouw- en sloopwerkzaamheden;
- incidenteel voorkomende, kortdurende trillingen, zoals ten gevolge van explosies waarbij tevens rekening gehouden dient te worden met de mogelijkheid van gebouwschade (zie hiervoor SBR-richtlijn 1).

Ter illustratie zijn in figuur 11.4. de streefwaarden gegeven voor continu trillingen gedurende langere tijd gegeven. Trillingen worden als toelaatbaar beschouwd indien voldaan is aan één van de volgende voorwaarden:

- 1) de waarde van V_{max} dient kleiner te zijn dan A_1 zoals gegeven in de betreffende tabellen, of
- 2) de waarde van V_{max} dient kleiner te zijn dan A_2 waarbij V_{per} over de beoordelingsperiode kleiner dient te zijn dan A_3 .

De procedure wordt verduidelijkt in het schema zoals gegeven in figuur 11.2..

11.5. Afgestraald laagfrequent geluid

Zoals reeds gesteld kunnen geluiddruk niveaus in gebouwen in het frequentie gebied tussen 16 Hz - 100 Hz hinder veroorzaken voor de gebruikers van deze gebouwen. Dit probleem kan zich onder meer manifesteren bij warmtekracht-installaties welke op korte afstand van woningen worden opgesteld of andere inrichtingen die trillingen veroorzaken.

In het algemeen zullen de trillingen vanwege een inrichting zich via de bodem verplaatsen. Afhankelijk van de fundatie van het gebouw kan er enige verzwakking optreden bij de overgang van bodem naar het gebouw. Als vuistregel kan worden aangehouden dat er bij gebouwen die op palen zijn gefundeerd er enige verzwakking zal optreden in orde van grootte van 1-5 dB. Bij op staal gefundeerde gebouwen zal in het algemeen geen verzwakking optreden. Binnen de diverse ruimten van de gebouwen kunnen sommige frequenties weer worden opgeslingerd. De wanden en vloeren die in trilling worden gebracht, zullen geluidafstralen hetgeen te berekenen is volgens de formule zoals reeds besproken in het hoofdstuk trillingsmetingen.

In het VROM-rapport "Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte" is een rekenmodel gegeven voor het bepalen van de trillingssterkte. In figuur 11.5. is het rekenmodel schematisch weergegeven.

In het rapport "Laagfrequent geluid en hinder" van de Universiteit Groningen is een aanzet gegeven voor de hinder beoordeling van laagfrequent geluid. Zie figuur 11.6..

12. METEN VAN OMGEVINGSGELUID IL-HR-15-01

12.1. Algemeen

Bij de introductie van een geluibron in een (woon)omgeving wordt vaak uitgegaan van een globale indeling zoals gegeven in tabel 14 op basis van de Circulaire Industrie Lawaai.

Aard van de Woonomgeving	Aanbevolen streefwaarden in dB(A) in de woonomgeving		
	dag	avond	nacht
1) Landelijke omgeving (herstellingsoorden etc)	40	35	30
2) Rustige woonwijk met weinig verkeer	45	40	35
3) Woonwijk in de stad	50	45	40

Tabel 14 : Streefwaarden voor de woonomgeving.

Het werken op basis van categorieën heeft als nadeel dat het niet altijd zonder meer duidelijk is in welke categorie een woonomgeving ingedeeld moet worden. Tevens kunnen in één woonwijk vrij grote verschillen bestaan in sterkte van het omgevingsgeluid. Het verdient derhalve de voorkeur het omgevingsgeluid te meten teneinde een betere afweging te kunnen maken van de geluidvoorschriften in vergunningen. Daarnaast worden in diverse Algemene Maatregelen van Bestuur aansluiting gezocht bij het referentie-niveau van het omgevingsgeluid.

Het referentieniveau van het omgevingsgeluid wordt gedefinieerd als de hoogste waarde van de volgende geluidniveaus:

- A) Het L_{95} van het omgevingsgeluid exclusief de bijdrage van de zg. "niet omgevingseigen bronnen". Deze laatste zijn geluidbronnen welke door de bevoegde overheid als zodanig zijn aangewezen.
- B) Het optredende equivalente geluidniveau in dB(A), veroorzaakt door zoneringsplichtige wegverkeerslawaaibronnen minus 10 dB(A). Waarbij voor de nachtelijke periode vooralsnog alleen wegverkeersbronnen in rekening gebracht worden met een intensiteit van meer dan 500 motorvoertuigen gedurende de nachtperiode.

Het optredende equivalente geluidniveau vanwege wegverkeerslawaaai (B) zal veelal bepaald worden door middel van berekeningen

volgens het Meet- en Rekenvoorschrift verkeerslawaaï.

12.2. Metingen

Het achtergrond-geluidniveau in een woonomgeving kan over het algemeen goed worden beschreven aan de hand van het 95%-niveau (L_{95}). Dit is het geluidniveau dat gedurende 95% van de tijd wordt overschreden. Voor het bepalen van het L_{95} dient gebruik te worden gemaakt van een statistisch geluidniveau-analysator dan wel een geluidniveaumeter die is uitgerust met een processor voor berekenen van deze statistische grootte. Het L_n -niveau wordt berekend uit de meetwaarden die gedurende de meetperiode zijn verzameld met een geluidniveaumeter die een voldoende groot meetbereik heeft i.v.m. de dynamiek van het omgevingsgeluid. Het geluid wordt op regelmatige tijden bemonsterd waarna de verschillende L_n -niveaus berekend kunnen worden. Voor een betrouwbaar resultaat dient voldoende lang te worden bemonsterd (gemeten). Voor het bepalen van het referentieniveau dient het A-gewogen geluidniveau bemonsterd te worden met een integratietijd van 125 ms.

De statistische verdeling kan op twee manieren plaatsvinden, te weten:

- 1) De distributieve verdeling waarbij wordt bepaald hoe vaak het geluidniveau in een bepaalde niveauklasse komt.
- 2) De cumulatieve verdeling waarbij wordt bepaald gedurende welk percentage van de meettijd een bepaald niveau wordt overschreden.

Een overzicht van voornoemde verdelingen is gegeven in figuur 12.1..

Voor ons doel wordt gebruik gemaakt van de cumulatieve verdeling. Het L_5 en L_{10} geven een indicatie van de maximale geluidniveaus terwijl het L_{95} een maat is voor het achtergrondniveau. Naarmate er meer voorgrondgeluiden aanwezig zijn, wordt de interpretatie van het L_{95} moeilijker. Bij een continu overheersende geluidbron op de voorgrond is het L_{95} geen maat meer voor het achtergrondniveau. Een beschrijving van de omgeving en de situatie is van belang om de meetwaarden op betrouwbaarheid te kunnen waarden. Ook de statistische verdeling van het geluid $L_5 - L_{95}$ geeft een beeld van de betrouwbaarheid waarmee een uitspraak kan worden gedaan over het heersende achtergrondniveau, indien de verdeling sterk afwijkt van de standaard verdeling moet behoedzaam omgegaan worden met de interpretatie van de resultaten.

De plaats en hoogte van het meetpunt is afhankelijk van het doel van de meting in het kader van de vergunningverlening. In het kader van de Wet milieubeheer zal dit vaak op een hoogte van 5 meter zijn nabij de plaats waar de geluideisen gesteld zullen worden. De betreffende geluidbron van de inrichting mag tijdens de metingen niet in werking is.

De meettijd moet zodanig lang worden gekozen dat er een redelijke zekerheid bestaat dat de voor die omgeving karakteristieke variaties het geluidniveau voldoende tot hun recht komen. In de praktijk betekent dit een minimale meetduur van 30 minuten. Een goede presentatie van de verrichte metingen wordt verkregen door tijdens de metingen gebruik te maken van een geluidniveauschrijver waarbij op het papier wordt aangetekend door welke bronnen het uitgeschreven geluidniveau wordt veroorzaakt.

De maximaal toelaatbare windsnelheid, in verband met stoorge-luid is afhankelijk van het actuele geluidniveau, het spectrum, het type microfoon en de windkap.

Voor het betrouwbaar meten van circa 40 dB(A) dient de windsnelheid tijdens de meting kleiner te zijn dan 4 [m/s]. Indien de geluidbron in verband waarmee de metingen plaatsvinden zich op meer dan 50 meter afstand bevindt zullen de achtergrondmetingen plaats moeten vinden onder meewind condities d.w.z. bij een zodanige windrichting dat de hoek tussen de lijn (geprojecteerde) geluidbron en meetpunt kleiner is dan 60 graden. Als de omgevingseigen geluidbronnen zich op grotere afstanden dan 50 meter bevinden, dienen er tenminste twee metingen te worden verricht waarbij de windrichtingen tenminste 90 graden en bij voorkeur 135 graden moeten verschillen. Overdag mag bij windstil weer niet gemeten worden, 's nachts is dit wel toegestaan.

De calibratie en het meetsysteem moet aan dezelfde eisen voldoen als bij industriewelawaaimetingen. De microfoon dient echter een alzijdige richtingskarakteristiek te hebben ofwel elektronisch hiervoor gecorrigeerd te zijn (random incidence corrector). De microfoon dient i.v.m. wind voorzien te zijn van een adequate windkap. Een overzicht een dergelijke meting is gegeven in figuur 12.2..

(Einde dictaat)

Gehanteerde literatuur en gegevens

=====

- 1) Cremer, Heckl, Körperschal, Springer Verlag 1967
- 2) Harris, Handbook of Noise Control, McGraw-Hill 1979
- 3)

Onderdeel
Meetmethoden & Meetprocedures

BOUWAKOESTIEK