

Geluid, hinder en meting

1. Inleiding

In dit rapport staat kort beschreven wat geluid is en in welke vormen geluid tot last kan zijn. Ook staat beschreven wat het maximale geluidsdrukkniveau mag zijn en wat er vervolgens kan worden gedaan aan geluidshinder. Verder wordt er in gegaan op het meten van geluid.

2. Geluid

Geluid is een natuurkundig verschijnsel wat wij met onze oren kunnen waarnemen. Het zijn luchtdrukveranderingen die ervoor zorgen dat ons trommelvlies in beweging wordt gebracht en prikkels naar onze hersenen worden gestuurd. In de hersenen worden onder bepaalde voorwaarden deze prikkels als geluid ervaren.

Hoe groter de luchtdrukwisselingen zijn, hoe sterker het geluid, hoe harder het klinkt. Geluid heeft een nogal chaotisch verloop van de druk wanneer deze wordt uitgezet als functie van de tijd. Daarom wordt om de sterkte van geluid aan te geven de wisseldruk gekwadrateerd en vervolgens over de tijd gemiddeld. De wortel uit dit resultaat noemt men de effectieve waarde van de wisseldruk (p_{eff}).

Bij het meten van geluid wordt gebruik gemaakt van een microfoon, die de geluidswisseldruk omzet in een wisselspanning (of –stroom), waarvan het verloop als functie van de tijd overeenkomt met dat van de geluidswisseldruk. Het elektrisch signaal wordt gekwadrateerd en is dan evenredig met p_{eff}^2 .

De geluidsdrukken zoals die in het dagelijkse leven voorkomen lopen zeer sterk uiteen. De waarnemingsgrens ligt voor een normaal gehoor bij ca. 0,00002 Pa. Bij 0,2 Pa ligt ongeveer de grens waarboven, bij een dagelijks verblijf, gevaar voor blijvende gehoorschade ontstaat. De pijngrens ligt bij ca. 200 Pa. Om een gemakkelijker hanteerbare schaal te verkrijgen heeft men gekozen voor een logaritmische verhoudingsmaat met als eenheid de decibel (dB) en als vergelijkingswaarde de gehoordrempel ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa). Het geluidsdrukkniveau is gedefinieerd als:

$$L_p = 10 \log p_{eff}^2 / p_0^2$$

met

p_{eff} = de effectieve waarde van de optredende geluidsdruk in Pa

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

3. Decibel (A)

Geluid wordt gemeten met een geluidsmeter. Deze is zo ontworpen dat het bij benadering hetzelfde reageert op geluid als het oor dat doet en het geeft een objectieve weerspiegeling van het geluidsdrukkniveau. Er zijn veel verschillende geluidsmeters in de handel verkrijgbaar. Alhoewel ze zeker verschillen is het principe van het systeem hetzelfde. Een geluidsmeter bestaat namelijk uit een microfoon, een verwerkingsunit en een afleesunit.

De microfoon zet het geluidssignaal om in een gelijkwaardig elektrisch signaal. De meest geschikte type geluidsmeter is de condensor microfoon, welke precisie met stabiliteit en betrouwbaarheid combineert. Het elektrisch signaal van de microfoon is klein en daarom wordt het versterkt door een voorversterker voordat het wordt verwerkt.

Het signaal kan op verschillende manieren worden verwerkt, het kan bijvoorbeeld langs een filter worden geleid. Het is relatief eenvoudig om een elektrisch circuit te maken dat net zo

filtert als dat het oor doet. Wanneer het geluid gemeten is kunnen de kenmerken, sterkte en toonhoogte worden weergegeven in een grafiek. Een dergelijke grafiek wordt een spectrum genoemd. Op de horizontale as wordt de frequentie (in Hz) uitgezet, op de verticale as de sterkte van het geluid (in dB).

Hoewel het belangrijk is voldoende kennis mee te dragen over frequentie/sterkte verdeling over het gehele hoorbare gebied, kan onder bepaalde omstandigheden worden volstaan met een “één-getal-informatie” van een geluid. Zeer gebruikelijk is het geluidniveau-A, uitgedrukt in dB(A). Dit wordt bepaald met een meetinstrument dat is voorzien van een doorlaatfilter dat het gehele hoorbare gebied in één keer omvat. Het filter heeft echter een frequentieafhankelijke doorlaatkarakteristiek. Lage tonen, die als minder hinderlijk worden ervaren, worden door het filter verzwakt ten opzichte van hoge tonen. De eigenschappen van het filter zijn internationaal gestandaardiseerd. De door het filter “gewogen” bijdragen over het gehele toonhoogtebereik worden in het meetinstrument opgeteld en slechts één meetwaarde wordt afgelezen.

4. Geluidhinder

Er zijn bepaalde maximale geluiddrukkniveaus opgesteld die ervoor zorgen dat er in de werkomgeving prettig gewerkt kan worden. De voorschriften houden er rekening mee dat er niet de hele dag in de machinekamer wordt gestaan. Ook gelden er grenswaarden voor verblijven in de buurt van de werkomgeving, zoals in bijvoorbeeld hutten. De gemeten waarden, uitgevoerd volgens de ISO-norm 2923, mogen deze niveaus niet overschrijden. Het maximale geluiddrukkniveau is voorgeschreven in het Reglement onderzoek schepen op de Rijn en bijlage II van de richtlijn 2006/87/EG. (zie het overzicht geluidseisen)

In de normen ISO-norm 2923 en EN-norm 2922 staat beschreven hoe men het daadwerkelijke geluiddrukkniveau moet bepalen. Wanneer de gemeten waarden hoger zijn dan de toelaatbare waarden moeten er maatregelen getroffen worden om het geluiddrukkniveau terug te dringen. In hoofdstuk 5 wordt hier verder op in gegaan.

Wil men ergens geluid kunnen horen, dan moet er een bron zijn die dat geluid opwekt door de lucht of constructie eromheen in trilling te brengen. Bovendien moet er tussen de bron en de ontvanger een pad zijn waarlangs het geluid kan worden overgebracht. Bij het beschrijven van geluidbronnen en overdrachten wordt onderscheid gemaakt naar het medium waardoor de geluidoverdracht plaats vindt. Zo onderscheidt men luchtgeluid, constructiegeluid en vloeistofgeluid.

Vindt de overdracht vanaf de bron via de lucht plaats, dan spreekt men van luchtgeluid. Voorbeelden van luchtgeluidbronnen zijn: dieselmotoren (met name de drukvulgroep), opening van uitlaatleiding, ventilatoren, scheepsfluit, akoestisch alarm. Vindt de overdracht plaats via de scheepsconstructie, dan spreekt men van constructiegeluid (in de woningbouw: contactgeluid). Voorbeelden van constructiegeluidbronnen zijn: dieselmotoren, schroeven, tandwielkasten, pompen, etc. Vloeistofgeluid is aanwezig in bijvoorbeeld de hoofdmotor, wanneer geluid via de smeerolie naar de leidingen wordt gebracht. Daarna gaat het meteen over in lucht en vooral constructiegeluid.

Constructiegeluid wordt maar erg weinig verzwakt in de scheepsconstructie en is daarom ook op hogere dekken en grotere afstanden van de bron belangrijk. Hoort men bijvoorbeeld door de gehele accommodatie een janktoon van een tandwielkast dan is dat die constructiegeluidoverdracht. De overdracht van luchtgeluid, bijv. vanaf de motorkamer naar de accommodatie is in het algemeen alleen van belang voor de ruimten die direct aan de motorkamer grenzen.

5. Geluidwerende maatregelen

Wanneer het gemeten geluidniveau boven de gestelde grens komt moeten er maatregelen getroffen worden. Welke maatregelen er genomen kunnen worden om het geluidniveau zoveel mogelijk terug te dringen hangt af van hoe het geluid wordt overgebracht.

Hieronder is schematisch weergegeven welke geluidbronnen via welke geluidpaden van belang zijn voor welke ruimten.

Bron:	via:	naar:
Hoofdmotor	Luchtgeluid via lucht in motorkamer	Motorkamer en aangrenzende ruimten
	Luchtgeluid via leidingenschacht	Aan de schacht grenzende ruimten
	Uitlaatgeluid	Open dekken, ruimten in nabijheid uitlaat
	Inlaatgeluid	Omgeving van aanzuigopening
	Luchtgeluidinstraling van motorkamerschot of dek	Alle accommodatieruimten
	Constructiegeluid via motorvoet, fundatie	Alle accommodatieruimten
	Constructiegeluid via bevestiging van leidingen	Alle accommodatieruimten
Tandwielkast	Luchtgeluid via lucht in motorkamer	Aangrenzende ruimten
	Constructiegeluid via voet en fundatie	Alle accommodatieruimten
Schroef	Constructie in achterschip door aanstoting vanuit het water	Ruimten in achterschip
Dieselgeneratorsets	Zie hoofdmotor	
Hydrauliekinstallatie	Luchtgeluid in motorkamer	Aangrenzende ruimten
	Constructiegeluid vanaf hydrauliekpompen	Alle accommodatieruimten
	Constructiegeluid vanaf hydromotor naar scheepsconstructie	Alle accommodatieruimten
	Constructiegeluid via (vloeistof in) leidingen en bevestigingen	Alle accommodatieruimten

Na het bepalen van de bron en de geluidpaden die voor de hinder zorgen kunnen er verschillende maatregelen worden genomen. Naar werkingsprincipe kunnen de drie volgende geluidbeperkende maatregelen worden onderscheiden:

- geluidisolatie
- geluidabsorptie
- antigeluid

Geluidisolatie;

Onder isoleren van geluid verstaat men het tegenhouden of zeer verzwakt doorlaten van geluid tussen een ruimte en een aangrenzende ruimte of tussen twee gedeelten van een constructie.

Wordt in een bepaalde ruimte luchtgeluid geproduceerd dan zal dat in een aangrenzende ruimte verzwakt of in het geheel niet te horen zijn. De mate waarin het geluid verzwakt wordt noemt men de luchtgeluidisolatie. Dus een wand of een vloer heeft bepaalde geluidisolierende eigenschappen, een bepaalde geluidisolatie. Door het plaatsen van een extra lichte scheidingswand op een bestaande, onvoldoende geluidisolierende scheidingsconstructie kan, afhankelijk van de uitvoering en het materiaal, een verbetering van de luchtgeluidisolatiewaarde worden bereikt van gemiddeld 10 t/m 15 dB.

Speciaal bij lichte constructies is een belangrijke verbetering te bereiken.

Als materialen komen vooral in aanmerking;

- houtwolcementplaten, die aan een zijde zijn gestuukt.
- Gipskartonplaten.

De “buigslappe” voorzetwanden verhogen niet belangrijk de totale massa, doch verminderen de geluidsafstralende werking van de scheidingswand.

Wanneer dit niet genoeg is kan men ervoor kiezen om een totaal nieuwe wand te plaatsen. Om geluiden voldoende tegen te kunnen houden dienen de scheidingsconstructies dan zwaar en volledig gesloten (kiervrij) te zijn.

Ook voor constructiegeluid zijn isolerende materialen of constructies mogelijk. Deze dienen dus om het geluidpad door de constructie te onderbreken of te bemoeilijken. Het gaat hier dan vooral over het verend opstellen van werktuigen of over het gebruik van zwevende vloeren.

Geluidabsorptie;

Onder geluidabsorptie verstaat men het verschijnsel dat bij transport van geluid door een bepaald materiaal de geluidenergie deels wordt omgezet in een andere vorm van energie.

In ruimten waarbij alle begrenzingvlakken glad en hard zijn afgewerkt blijft geluid lange tijd bijna onverzwakt tussen deze vlakken heen en weer kaatsen. Men spreekt dan van een sterk galmende ruimte. In dergelijke ruimten kan men de galm verminderen door het aanbrengen van z.g. geluidabsorberende materialen. In tegenstelling tot geluidisolerende materialen die het geluid tegenhouden kan bij geluidabsorberende materialen het geluid gemakkelijk in het materiaal indringen. Er wordt minder geluid teruggekaatst. Het in het materiaal gedrongen geluid wordt daarin deels omgezet in warmte.

Geluidabsorptie kan geschieden door drie groepen materialen;

- Poreuze materialen.
- Resonatoren.
- Panelen.

Poreuze materialen hebben in het algemeen een toenemende absorptiecoëfficiënt, naarmate de frequentie hoger wordt. Zij absorberen de lage tonen weinig en de hoge tonen veel. Nu zijn bijna alle materialen min of meer poreus, zoals gordijnen, stoelbekleding en zelfs stucwerk. Men kan direct merken of de in een ruimte aanwezige absorptie te veel de voorkeur geeft aan een bepaald toongebied; met andere woorden, wanneer deze te selectief is, worden te veel hoge tonen geabsorbeerd en klinkt de ruimte dof, bijvoorbeeld in een tapijtwinkel. Worden er meer lage tonen geabsorbeerd, dan klinkt de ruimte schel, bijvoorbeeld cafetaria's en zwembaden.

Bij poreuze materialen wordt onderscheid gemaakt tussen:

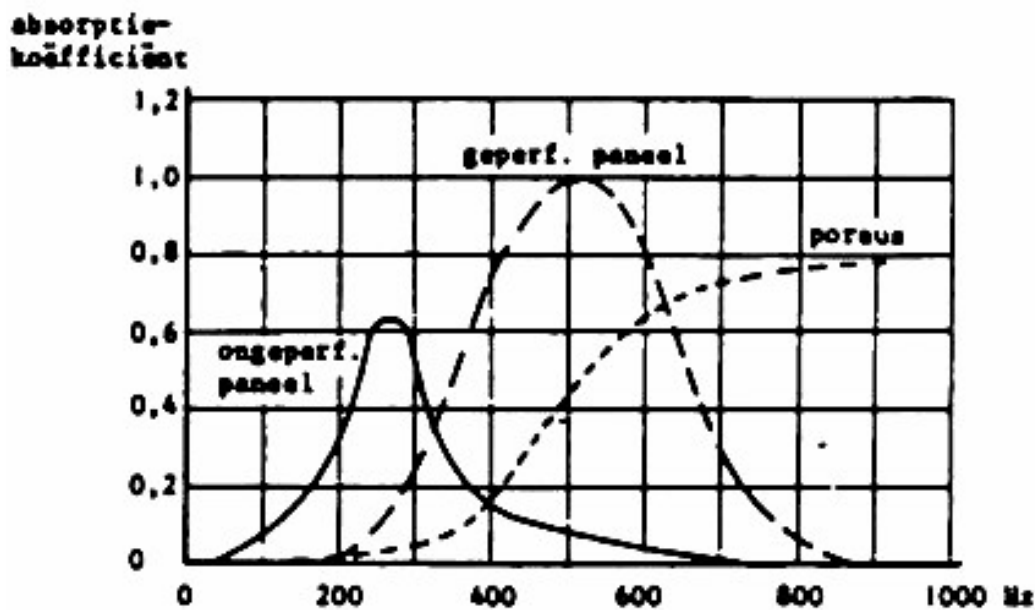
- Harde poreuze materialen, bijvoorbeeld pleister.
- Zachte poreuze materialen, bijvoorbeeld zachtboard en vezelplaat.
- Zeer zachte poreuze materialen, bijvoorbeeld mineraalwol (glas/steenwol), Planol en Kramforac.

Een bekende resonator is een flesje. Wanneer men aan de halsopening van een flesje blaast, ontstaat een bepaalde toon. Een kleine fles geeft een hoge toon en een grote fles geeft een lage toon. Die specifieke toon is afhankelijk van de afmetingen van de fles. Elk lichaam heeft een eigen toonweg, wanneer het in trilling wordt gebracht. Dit geldt ook voor het volume lucht, dat in een resonator is opgesloten. Het lichaam, of in dit geval de lucht, komt in resonantie. Dit betekent, dat de luchtdeeltjes in heftige beweging komen. Doet men in de resonator wat vezelige stof, bijvoorbeeld watten, dan verliezen de bewegende luchtdeeltjes veel energie door wrijving en hiermee wordt dus geluidabsorptie verkregen (absorptiedemper).

Eigenlijk zijn poreuze materialen ook samengesteld uit flesjes, namelijk de kanaaltjes tussen de vezels. Het is dus begrijpelijk, dat hier vooral de hoge tonen worden geabsorbeerd. Speciaal geconstrueerde resonatoren worden juist gebruikt om de absorptie van het lage-tonengebied te verkrijgen. Deze resonatoren verkleinen meestal abrupt de diameter van een bepaalde leiding, waardoor het geluid weer naar de bron terugkaatst. Door toepassing van deze resonatoren vindt interferentie plaats tussen heenlopende en teruggekaatste golven. Voor een goede werking is een vereiste dat de golflengte van het te verminderen geluid beduidend groter is dan de leidingdiameter. Een resonator is wel zeer selectief, hoofdzakelijk in de buurt van zijn resonantiefrequentie, dat wil zeggen om en nabij zijn specifieke toon wordt het geluid hier optimaal geabsorbeerd. De werking van de bekende gaatjestegel of geperforeerde tegel berust op dit principe. Wil men over een breed frequentiegebied absorberen, dan moet men geen gelijkvormige resonatoren formeren, zoals het geval is bij regelmatige geperforeerde boardplaten. Men zal dus altijd moeten streven naar bepaalde variaties in dikte, diepte of dimensie. In uitlaatleidingen van dieselmotoren worden meestal gecombineerde hoge- en lage tonen resonatoren toepast.

Het principe van geluidabsorptie van panelen berust op een bepaalde toon die een plaat maakt wanneer men op deze plaat slaat. Namelijk, bij het slaan op bijvoorbeeld een plaat triplex, hardboard of kunststof hoort men een bepaalde toon. Een plaat met grote afmetingen geeft een lagere toon dan een kleine plaat. Door platen aan te brengen op een houten regelwerk, waarvan de afmetingen en de afstanden tussen de latten variëren, ontstaat een bepaald absorptiepatroon (zie figuur 1).

Figuur 1



Het aanbrengen van extra geluidabsorptie leidt tot een (meestal geringe) daling van het geluidrukniveau in de ruimte waarin het wordt aangebracht. Het heeft vrijwel nooit effect op het geluidrukniveau in aangrenzende ruimten. In spouwconstructies is het voor de goede werking ervan meestal noodzakelijk dat daarin geluidabsorberend materiaal (glas- of mineraalwol van lichte persing) wordt aangebracht. Ook bij de overdracht van geluid door een constructie is er sprake van min of meer galm in de constructie. Afhankelijk van de mate van demping in de constructie blijven geluidgolven in de constructie gemakkelijk heen en weer lopen of worden uitgedempt.

De totale demping in een systeem is meestal een samenvoeging van eigen inwendige demping van het materiaal, demping veroorzaakt door inklemming langs de randen en eventuele demping door wrijving bij contactvlakken. Extra demping kan worden aangebracht door toepassing van z.g. dempende lagen. Deze worden in verschillende uitvoeringsvormen aangebracht. In het algemeen is de demping in een scheepsbouwconstructie van dien aard dat het moeilijk (en zeer kostbaar) is om met dempende lagen een duidelijk effect te bereiken. Een en ander wordt mede veroorzaakt door het feit dat slechts een bepaald type geluidgolven door deze demping wordt aangepakt.

Antigeluid;

Onder antigeluid verstaat men het bestrijden van geluid met geluid. Voegt men aan een bepaalde geluidstrilling een andere toe die even sterk is, maar tegengestelde fase heeft, dan vindt in sterke mate "uitdoving" van het geluid plaats. Op deze manier worden afgestemde pijpen en resonatoren toegepast in bijv. uitlaatgeluiddempers van dieselmotoren met constant toerental. Als de sterkte of frequentie van de lawaaibron varieert moet men ook van de "bestrijdende" geluidsgolf de frequentie, amplitude en fase snel kunnen aanpassen. Moderne digitale technieken bieden de mogelijkheid dergelijke regelproblemen op te lossen.

Een toepassingsmogelijkheid is bijvoorbeeld een uitlaat van een verbrandingsmotor. Het uitlaatgeluid is periodiek; een opnamer op de motoras levert informatie over de krukasfrequentie. Benedenstrooms van de compensatiebron is een microfoon geplaatst. De rekenautomaat is nu zo geprogrammeerd dat fase en amplitude van elke harmonische trilling zodanig wordt ingesteld dat de microfoon een zo laag mogelijk niveau registreert. Bij

periodieke signalen waarbij de golflengte van het geluid groot is t.o.v. de dwars afmetingen van het kanaal kunnen op een dergelijke manier verzwakkingen worden bereikt van ca. 20 dB

Praktische uitvoering van geluidwerende maatregelen

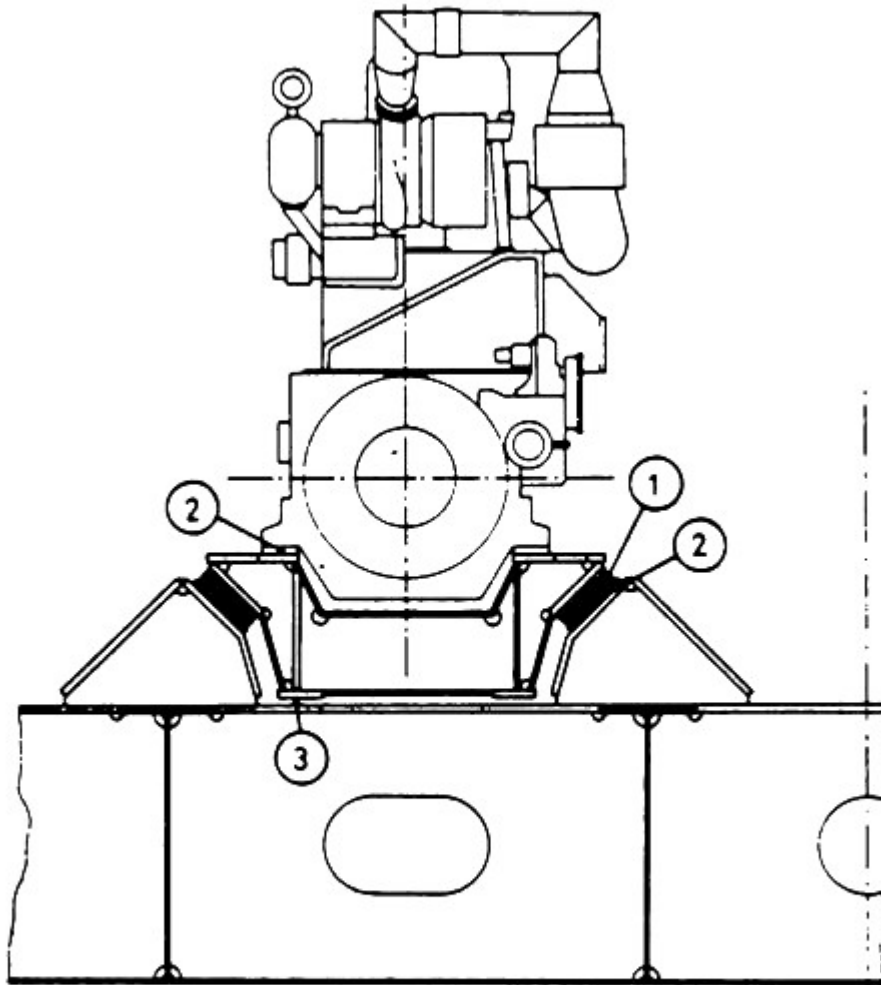
Verende opstellingen

Een effectieve maatregel om de constructiegeluidoverdracht vanaf de bron (dieselmotor, generatorset, hydrauliekeenheid, compressor, etc.) naar de scheepsconstructie te beperken is het verend opstellen van de geluidbron. De bereikbare winst is 10 dB of meer.

Mogelijk te inspecteren uitvoeringsaspecten zijn:

- Een goed verend opgestelde motor trilt niet duidelijk zichtbaar onder normale bedrijfsomstandigheden. Bij zeegang kan men langzame bewegingen van de opstelling waarnemen. Bij starten of stoppen kan het werktuig soms even sterk staan te trillen.
- Er dient voldoende speling te zijn tussen verend opgesteld werktuig en scheepsconstructie om te voorkomen dat bij grote uitwijkingen (bijv. door zeegang) de opstelling “aanloopt”.
- Begrenzers die zijn aangebracht om te voorkomen dat onder extreme omstandigheden de uitwijkingen van het werktuig te groot worden moeten voldoende speling hebben. Soms zijn dergelijke begrenzers ingebouwd in de veren zelf. Verkeerde afstelling ervan kan de opstelling akoestisch kortsluiten.
- Flexibele verbindingen tussen verend opgesteld werktuig en schip dienen voldoende lang te zijn. Bij slap verende opstellingen kunnen bijv. aan de bovenkant van het werktuig bij 20° slagzij uitwijkingen optreden van ca. 20 mm. Te korte verbindingstukken brengen veel geluid over en slangstukken gaan door overbelasting vaak op de aansluitingen lekkage vertonen.
- Rubberven kunnen meestal geen hogere temperatuur verdragen dan ca. 60°.
- Bepaalde rubbersoorten worden aangetast door olie.
- Een veer mag nooit overbelast worden. Algemeen geldt dat rubber, op druk belast, ongeveer 15% van de oorspronkelijke dikte mag inveren. De inverting moet voor alle veren onder een werktuig gelijk zijn.
- Het komt voor dat vaste leidingen, trappen of bordessen worden gebeugeld aan een verend opgesteld werktuig en omgekeerd dat een verend leidinggedeelte wordt gebeugeld aan de vaste scheepsconstructie.
- Bij uitlaatleidingsystemen moet bij de keuze van het ophangstelsel rekening zijn gehouden met de thermische expansie van het leidingsstelsel.
- Om verplaatsingen tot een minimum te beperken met behoud van goede akoestische eigenschappen van de opstelling kan men het beste de veren onder een hoek plaatsen. Deze hoek zal variëren tussen 30° en 60°. In de praktijk komen opstellingen onder 45° het meeste voor (zie figuur 2).

Figuur 2



1. veer

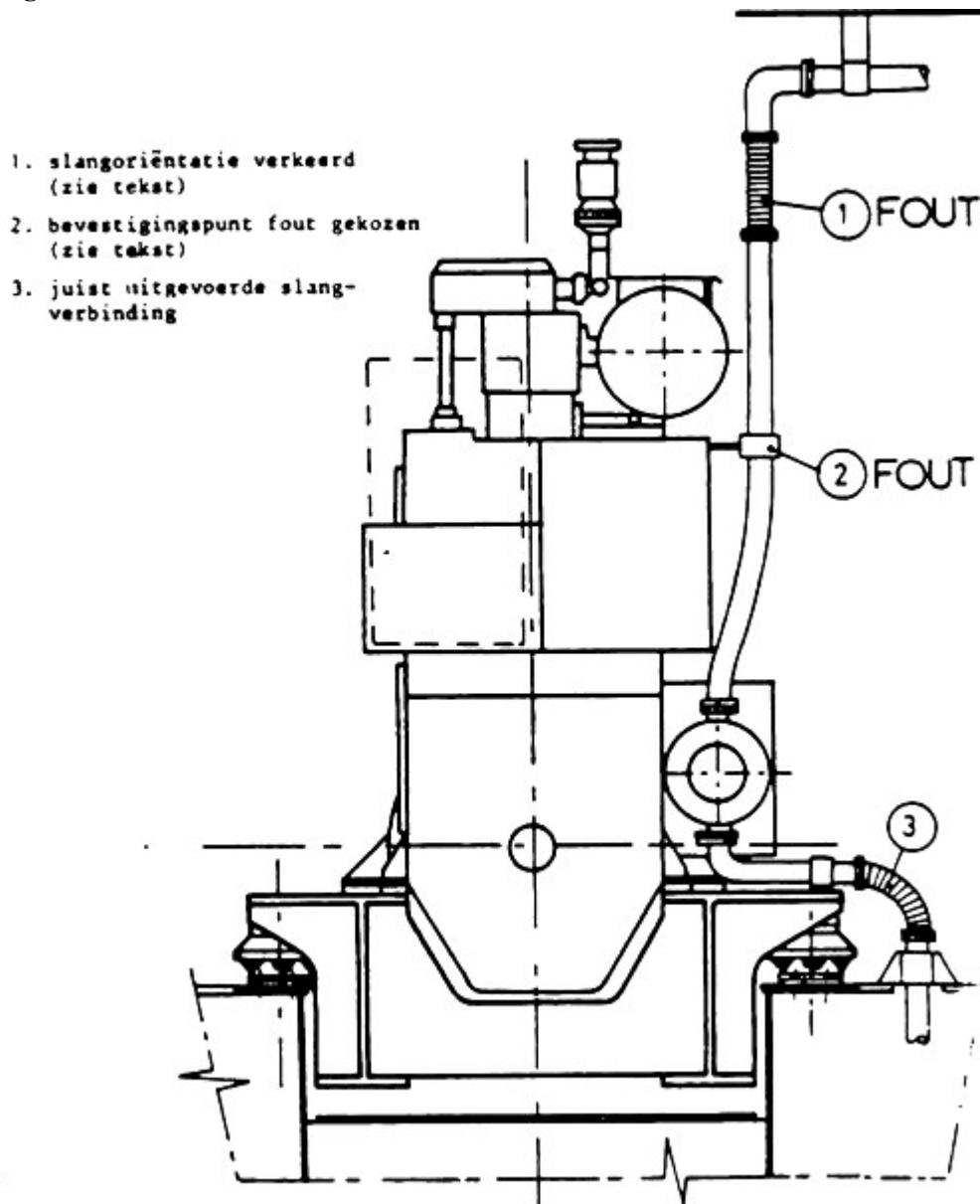
2. vulplaat

3. voldoende speling waarborgen

- Bij verend opgestelde motoren dienen alle slang- en leidingverbindingen naar en van de motor akoestisch ontkoppeld te worden en zo geconstrueerd te worden dat de bewegingen van de motor opgenomen kunnen worden zonder dat dit op den duur aanleiding kan geven tot (vermoeidheids)-breuken (zie figuur 3).

-

Figuur 3



- In de slang- en leidingverbindingen moeten zowel aan werktuig- als aan scheepszijde starre bevestigingen direct ter weerszijden van het elastische deel worden bevestigd (zie figuur 3).
- Bij het gebruik van slangen of balgen dient men degene te nemen met minimale stijfheid.
- Het moet voorkomen worden dat slangen en balgen op torsie worden belast.
- Men dient de slangen en balgen op het werktuig aan te brengen daar waar de verplaatsingen het kleinst zijn.
- De verplaatsingen moeten door de slangen en balgen in de juiste richting kunnen worden opgenomen.

Uitlaatgeluiddempers;

Zoals eerder vermeld bestaan er geluiddempers van het reflectietype (lage tonen) en van het absorptietype (hoge tonen). Eerstgenoemde bestaat uit aan elkaar gekoppelde vaten. Een dergelijke geluiddemper is weinig gevoelig voor veroudering. Het akoestische effect ervan beperkt zich echter tot de lage frequenties.

Bij absorptiedempers, die in principe bestaan uit een geperforeerde pijp (waar de uitlaatgassen door stromen), bekleed met glas- of mineraalwol, het geheel opgesloten in een vat, kan de werking teniet worden gedaan door:

- Dichtslibben van de perforatie.
- Vervuiling van de glas- of mineraalwol.
- Het inklinken of wegblazen van de glas- of mineraalwolvulling.

Bovengenoemde effecten worden enigszins voorkomen door:

- Het toepassen van een roetvanger aan de gasintree zijde van de demper.
- De demper te voorzien van een regenvanger.
- De absorptiedemper op te delen door tussenschotten.
- Overmatig trillen van de geluiddemper te voorkomen.

Geluidisolierende constructies

In vele gevallen zal het noodzakelijk zijn geluidbronnen afzonderlijk te voorzien van geluidsisolerende gesloten “omkastingen”. Afhankelijk van de gestelde isolatie-eis zal deze omkasting kunnen bestaan uit bijvoorbeeld gipskartonplaat, staalplaat of cementplaat. De omkasting zal in grote lijnen moeten voldoen aan de navolgende eisen:

- In de kast moet geluidabsorberend materiaal aanwezig zijn, bijvoorbeeld geperste steenwolplaat of glaswolplaat.
- De omkasting moet vrijgehouden worden van het object, dat moet worden afgeschermd.
- Er dient gezorgd te worden voor een goede kier- en spleetafdichting.
- Bij het toepassen van ventilatie dienen de juiste coulissendempers te worden ingebouwd, zodat door de noodzakelijke ventilatieopeningen de gemiddelde geluidisolatie niet vermindert.
- Bij het toepassen van metalen omkasting zal deze moeten zijn voorzien van zogenaamde “anti-dreun”-pasta.

Luchtverversingsinstallatie;

Het lawaai dat via de uitblaasmonden in een ruimte binnenkomt is in het algemeen sterk afhankelijk van de hoeveelheid instromende lucht. Belangrijk is dus om voor de aanvang van de geluidmetingen vast te stellen dat de luchthoeveelheden voor de verschillende ruimten correct zijn afgesteld. Bij sommige systemen kan de hoeveelheid lucht per ruimte in de ruimte zelf worden geregeld of zelfs geheel afsloten. Wordt dit in enkele ruimten gedaan, dan neemt voor andere ruimten de hoeveelheid lucht en het lawaai toe. Het gebruik van geluiddempers en het voorkomen van turbulentie in de schachten doet het geluiddrukkniveau dalen. Het toepassen van flauwe bochten in het circuit en het plaatsen de ventilatoren in een relatief vrij buisdeel zorgen voor een vermindering van de turbulentie.

Overzicht van akoestische voorzieningen;

Voortstuwingsinstallatie, machinekamer:

- Motoren of werktuigen verend opgesteld.
- Inlaatgeluiddempers op drukvulgroep.
- Motoren voorzien van omkasting of afscherming.
- Uitlaatleidingen verend ophangen.
- Geluiddempers uitlaatgeluid.
- Geluiddempers machinekamerventilatie.
- Geluidsluis tussen motorkamer en bedieningsruimte en accommodatie.
- Gescheiden machinekamers.
- Absorptiemateriaal tegen schotten of plafond.
- Dwarsschroeven:
 - Aandrijving en schroefunit verend gemonteerd.
 - Tunnelbuis voorzien van ontdrukkende laag.
 - Verend bevestigde (binnen-)tunnelbuis.

Accommodatie:

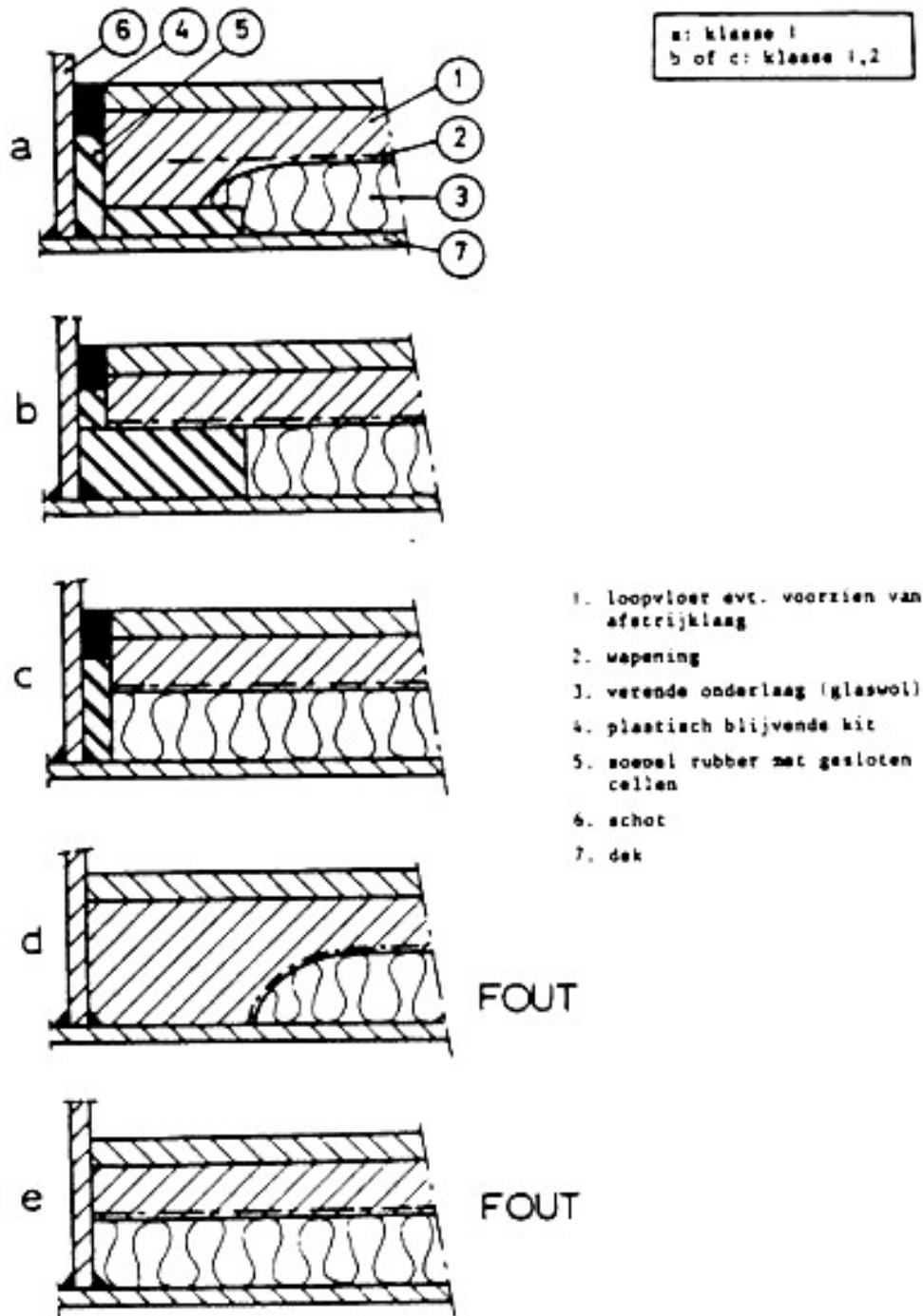
- Verend opgesteld dekhuis.
- Zwevende vloeren.
- Wanden, beschietingen en plafonds ontkoppeld aan de scheepsconstructie.
- Gedempte vloerconstructies.
- Geluidabsorberende plafonds.
- Geluidabsorberend materiaal tussen beschietingen en stalen schotten.
- Geluidabsorberend materiaal tussen plafond en bovenliggend dek.

Zwevende vloerconstructie

Zwevende vloerconstructies worden veelvuldig toegepast. Men moet bij de uitvoering voor ogen houden dat het opzet is de “binnenbouw” (vloer, wanden en plafond) los te houden van de staalconstructie. De wanden staan daarbij op de zwevende vloer. Het plafond wordt tussen de wanden opgehangen en zonodig op enkele plaatsen via rubberveren aan het bovenliggende dek bevestigd.

- De verende onderlaag van de zwevende vloer moet gemakkelijk samendrukbaar zijn (dynamisch slap). Glas- of mineraalwol komen daarbij in aanmerking.
- Onder wisselbelastingen mag het materiaal niet breken of vergruizen; dit betekent een voorkeur voor langvezelige glaswol boven steenwol.
- Om voldoende lage eigenfrequentie van het massaveersysteem (vloer op onderlaag) te bereiken dient de dikte van de loopvloer ca. 25 mm. te bedragen (uitgaande van een oppervlaktegewicht van de loopvloer van tenminste 40 kg/m²).
- De toplaag van de vloer moet voldoende sterk zijn; wanden en meubilair worden erop geplaatst.
- De afdichting langs stalen schotten, doorvoeringen, etc. moet goed verend worden uitgevoerd. Men kan gemakkelijk controleren of de vloer voldoende los ligt: gaat men op de rand van de vloer staan of dicht bij een doorvoering, dan moet de vloer zichtbaar inveren (zie figuur 4).

Figuur 4

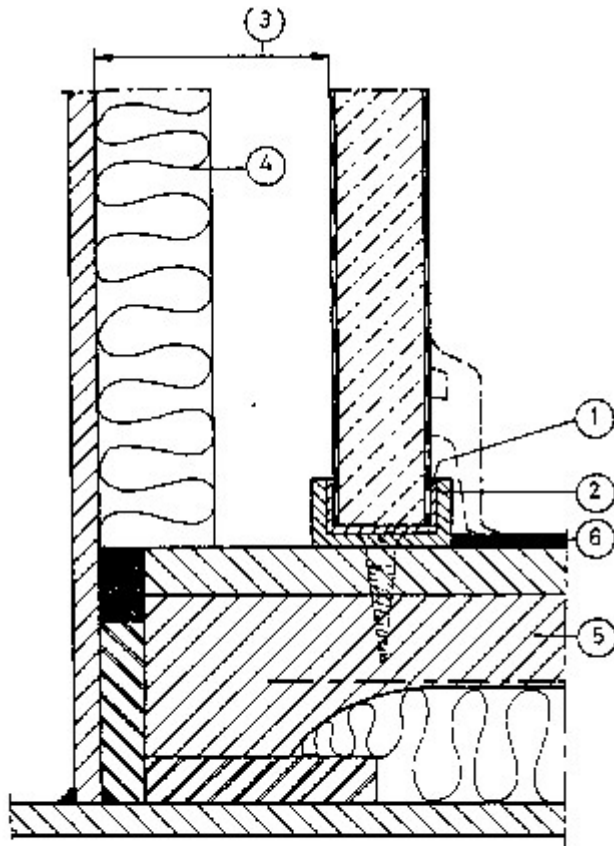


- De afdichting langs stalen schotten, doorvoeringen, etc. dient waterdicht te zijn.
- De randafdichting geschiedt veelal door middel van schuimrubber of –plastic met gesloten cellen.
- Omdat bij sanitaire ruimten het risico groot is dat bij beschadigingen water in de verende laag van de verende vloer terechtkomt, kan men beter in deze ruimten geen gebruik maken van zwevende vloeren.

Bij het bevestigen van wanden en beschietingen op zwevende vloerconstructies moet men rekening houden met de volgende punten;

- Indien een hut grenst aan een stalen schot is het noodzakelijk de beschieting hiervan op de zwevende vloer te plaatsen (zie figuur 5).

Figuur 5



1. vilt
2. U-profiel
3. voor minimale afstand zie tekst
4. thermische isolatie, geluidabsorberend materiaal
5. zwevende vloer
6. vloerbedekking

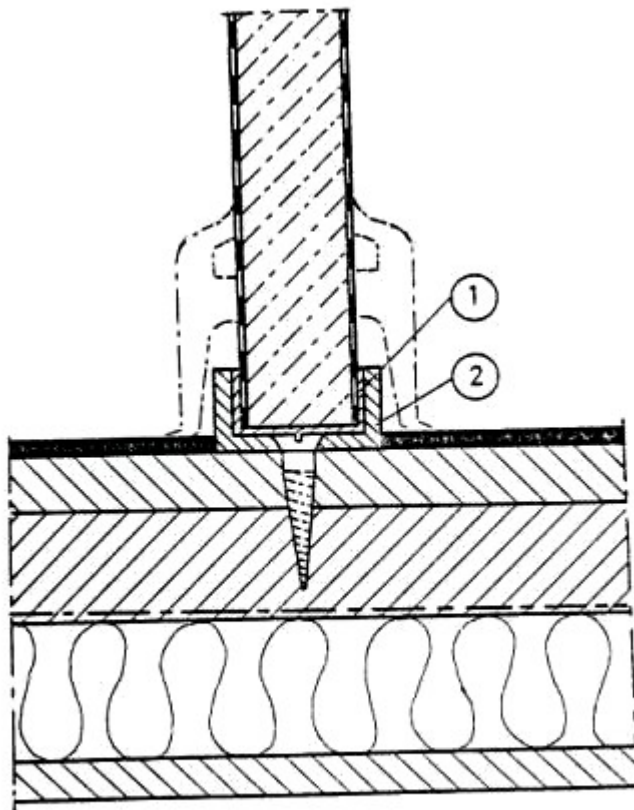
- De beschieting dient altijd over het gehele oppervlak los van de staalconstructie te worden gehouden.

- Tussen het staal en de beschieting dient geluidabsorberend materiaal te worden aangebracht in de vorm van glas- of mineraalwol van lichte persing.

- De minimumafstand tussen beschieting en stalen schot bedraagt 50 mm.

- Bij het plaatsen van wanden op de zwevende vloer past men vrijwel altijd een U-profiel toe. Het verdient echter aanbeveling in het U-profiel vilt aan te brengen om piepen of kraken van de wanden of beschietingen ten gevolge van scheepsbewegingen tegen te gaan (zie figuur 6).

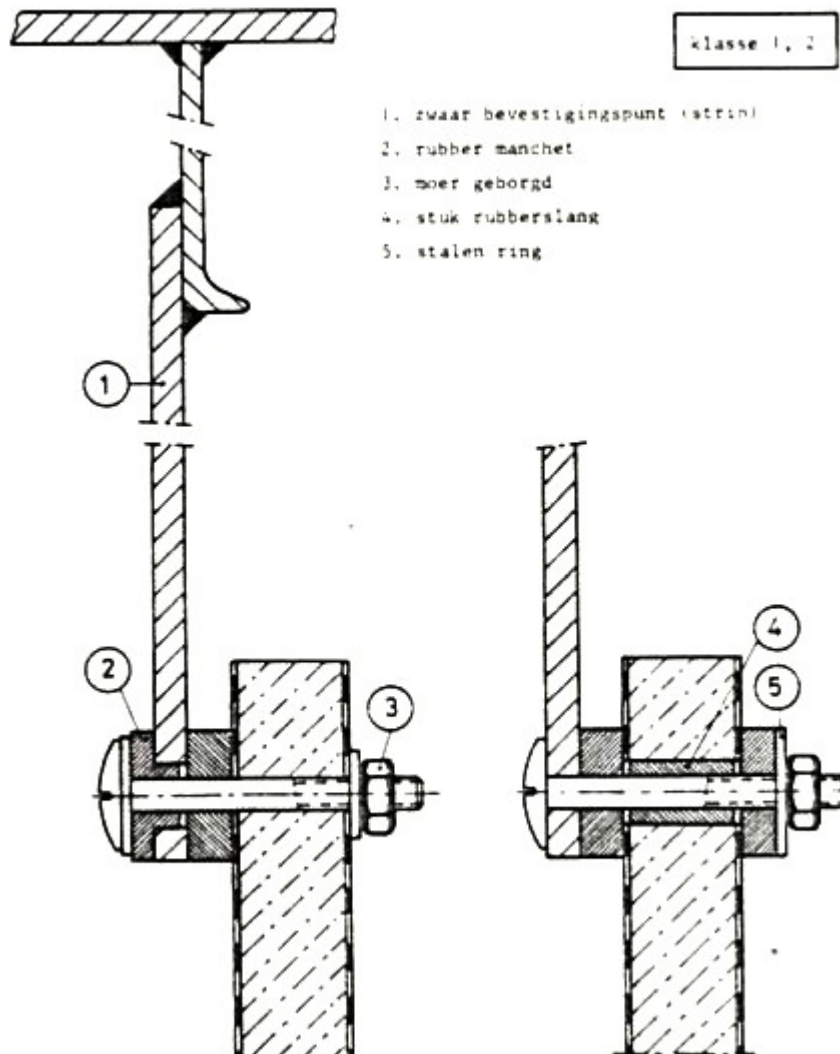
Figuur 6



- 1. vilt
- 2. U-profiel

- Bij de scheidingswand tussen hut en natte ruimte is het van groot belang om hier een goede waterdichte afsluiting tussen de scheidingswand en het stalen plat te bewerkstelligen, die echter geen akoestische kortsluiting mag veroorzaken. Daarom dient dan ook de afdichting met zo weinig mogelijk materiaal te worden uitgevoerd.
- Bij bevestiging van de hutwanden op de zwevende vloer dient een direct contact tussen de wanden en het bovenliggend dek vermeden te worden (zie figuur 7).

Figuur 7



- Indien het strikt noodzakelijk wordt geacht kunnen op een zo gering mogelijk aantal punten door middel van stalen strippen de wanden worden verbonden met het bovenliggend dek. Tussen de stalen strippen en de wand dient zacht rubber als verend element te worden gebruikt (zie figuur 7).

6. Afstandswet

Het geluid moet zowel aan boord van als buiten het schip gemeten worden. Geluid meten op het schip wordt gedaan met een gestandaardiseerde geluidsmeter met een (A) filter. De maximaal toegestane waarden staan voorgeschreven in decibel aan de hand van de (A) filternorm.

In het ROSR en bijlage II van de richtlijn 2006/87/EG staat dat schepen varende en stilliggend moeten voldoen aan bepaalde maximale waarde wat betreft het uitstoten van geluid.

In de ISO-norm 2923 wordt uitgelegd hoe er moet worden gemeten en wat de condities moeten zijn gedurende de meting. Er moet volgens de norm op 25 meter van de scheepshuid worden gemeten. Het is vaak erg lastig om daadwerkelijk op 25 meter de metingen te verrichten. Er bestaat echter een formule om de gemeten waarde op een andere afstand om te rekenen naar de waarde voor 25 meter.

De formule luidt:

$$L_{AE,25} = L_{AE,d} + k \lg [d/(25m)] \text{ dB.}$$

d is de afstand waarop daadwerkelijk geneten is.

k is een factor (zie verderop)

Met lg wordt het logaritme bedoeld (grondgetal 10)

Wanneer dus het geluid wordt gemeten dichterbij dan 25 meter vanaf het schip geeft deze formule het geluidsniveau op 25 meter aan, wanneer de werkelijke afstand d wordt ingevuld. De k-factor bedraagt bij het meten van het geluidsniveau van passerende schepen en stilliggende schepen 20. Het komt er op neer bij de verdubbeling van de afstand het geluid wordt verzwakt met 6 dB.

Het omrekenen naar de standaardafstand van 25 meter kan eenvoudig gebeuren met behulp van onderstaande tabel.

Tabel voor het omrekenen van geluiddrukkniveau naar 25 meter bij kleine afwijkingen

Afstand van vaartuig tot microfoon (in m)	Correctie factor (in dB)
20	-1,9
21	-1,5
22	-1,1
23	-0,7
24	-0,4
25	0
26	0,3
27	0,7
28	1
29	1,3
30	1,6

Er moet in acht worden genomen dat deze regel is opgesteld om het geluidniveau naar een standaardafstand om te rekenen wanneer de meting plaatst vindt binnen gestelde grenzen. Deze grenzen zijn vastgelegd in de ISO-normen (zie verderop) en variëren van ± 2 meter van de standaardafstand tot ± 5 meter.

Metten op 1 meter vanuit de uitlaat (meten van een puntbron)

In de praktijk is het soms niet mogelijk metingen te verrichten op een grote afstand van het schip. Daarom wordt er aangenomen dat de uitlaatuitgang de grootste geluidbron is. De regel betreffende een puntbron wordt nu toegepast. Er wordt gemeten op 1 meter van de bron en dan wordt deze waarde omgerekend naar 25 meter. De volgende formule wordt daarbij toegepast;

$$L_p = L_w + 10 \log (1/(4p*r^2))$$

Met

r = afstand waarnemer -bron

L_w = bronsterkte

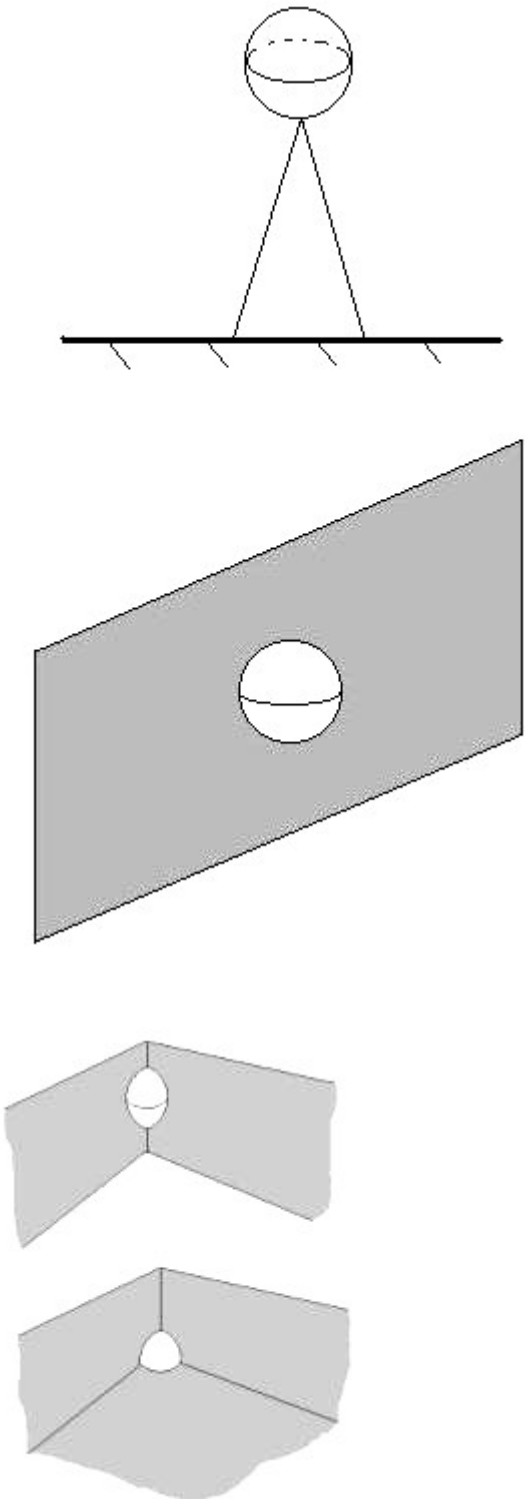
L_p = geluidniveau op r

Ook al geeft de ISO-norm grenzen aan waarbinnen de microfoon zich moet begeven blijkt uit bijlage 1 dat de formules voorgeschreven door de ISO-norm ook gebruikt kan worden wanneer er in de praktijk gemeten wordt op 1 meter van de geluidbron.

De formules houden geen rekening met wanden die het geluid terugkaatsen. Er zijn regels die de wanden wel in rekening brengen. Het geluid gemeten vlakbij (op een afstand van ca 1 meter) een uitlaat wordt verderop door het water teruggekaatst. Er is hier dan sprake van een halve bol en er zou dan 3 dB bij de gemeten waarde moeten worden opgeteld indien de gemeten waarde moet worden omgerekend naar een geluiddrukkniveau op 25 meter.

Wanneer er sprake is een kwartbol, de uitlaat komt uit in de romp en het water weerkaatst de golven, zou er 6 dB bij moeten worden opgeteld indien de waarde weer moet worden omgerekend naar het geluiddrukkniveau op 25 meter. Bij een achtste bol zou er 9 dB bij opgeteld moeten worden en er moet worden omgerekend. Volgende figuur 8 geeft het een en ander duidelijk weer.

Figuur 8



Tabel bij figuur 8

Monopool	Zonder scheidingsvlakken	+ 0 dB
Halve bol	Een scheidingsvlak	+ 3 dB
Kwart bol	Twee scheidingsvlakken	+ 6 dB
1/8 bol	Drie scheidingsvlakken	+ 9 dB

In de praktijk wordt er meestal gemeten op **1 meter van de uitlaat**, welke als geluidbron wordt genomen en is er meestal sprake van een halve bol.

Het komt erop neer dat er 25 dB(A) van de gemeten waarde kan worden afgetrokken om de geschatte geluidsdruk op 25 meter te bepalen

Dit wordt in bijlage 1 nader uitgewerkt en bewezen

Wanneer het schip vaart mag het bij het passeren van de microfoon niet meer dan 75 dB(A) uitstoten gemeten op 25 meter.

In de praktijk betekent dit dat het geluiddruk niveau gemeten op 1 meter niet meer mag bedragen dan 100 dB(A).

De eis voor de geluidsemisatie van schepen liggend aan de kade of liggend aan het anker is 65 dB(A) op 25 meter.

In de praktijk mag dus op een afstand van 1 meter van alle uitlaten van het stilliggend schip het geluiddruk niveau niet meer zijn dan 90 dB(A).

Bijlage 1

BEWIJSVOERING 25 METER REGEL

Ten eerste is het uitdovingpatroon van geluid dezelfde voor elke bronsterkte.

Met andere woorden, het maakt niet uit hoe groot het geluidsdrukniveau van de bron is er gaat steeds hetzelfde af (absoluut) naarmate de afstand groter wordt.

Dit wordt bewezen met de formule $L_p = L_w + 10 \cdot \log(1/(4 \cdot \pi \cdot r^2))$

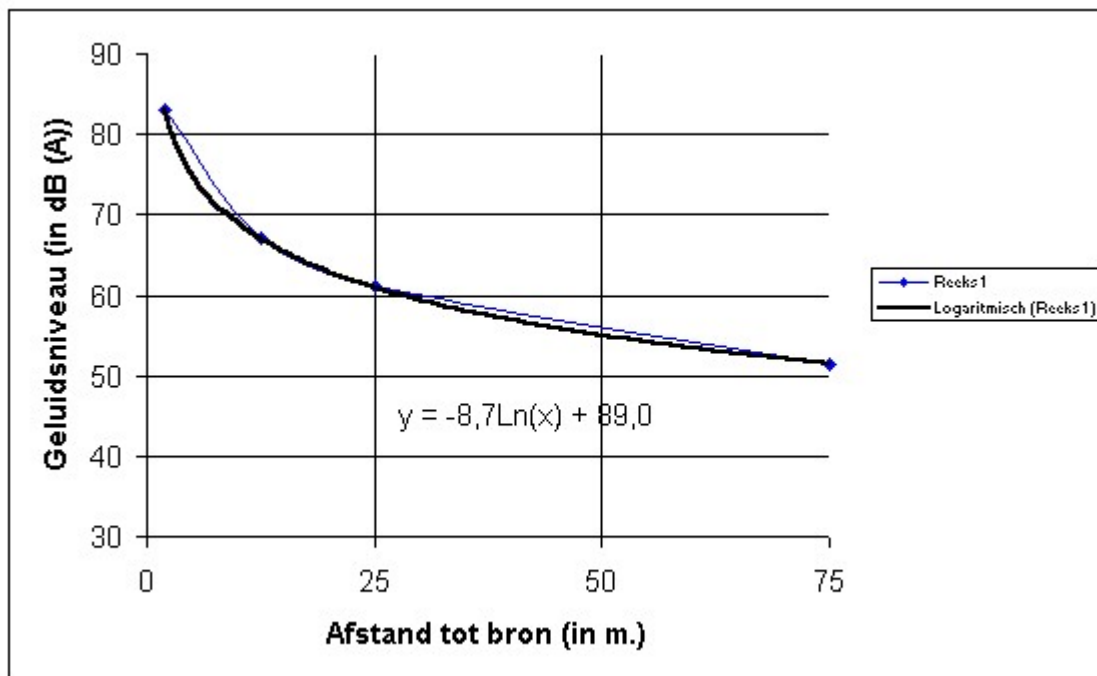
Namelijk, de gemeten waarde L_p is afhankelijk van de grootte van de straal r en L_w , de bronsterkte wordt alleen maar bij het gedeelte opgeteld waar de r in verwerkt zit.

We kunnen dus uit gaan van een bron van bijvoorbeeld 100 dB. Dit maakt dus niets uit voor de verdere uitkomst.

Berekend met $L_p = L_w + 10 \cdot \log(1/(4 \cdot \pi \cdot r^2))$

Bronsterkte 100 dB = L_w

Meetlocatie in meters vanaf het schip	Geluidsniveau in dB (A)
r	Lp
2	83
12,5	67,1
25	61
75	51,5



Gemeten geluidsniveau op 2 meter van bron = 83 dB (A) = LAE,d

Berekend met $L_{AE,12,5} = L_{AE,d} + 10 \cdot \lg [d / (12,5m)]$

d	2 meter
---	---------

LAE,d	83 dB (A)
LAE, 12,5	67,1 dB (A)

Gemeten geluidsniveau op 2 meter van bron = 83 dB (A) = LAE,d

Berekend met LAE, 25 = LAE,d k lg [d/(25)m]

d	2 meter
LAE,d	83 dB (A)
LAE, 25	61,1 dB (A)

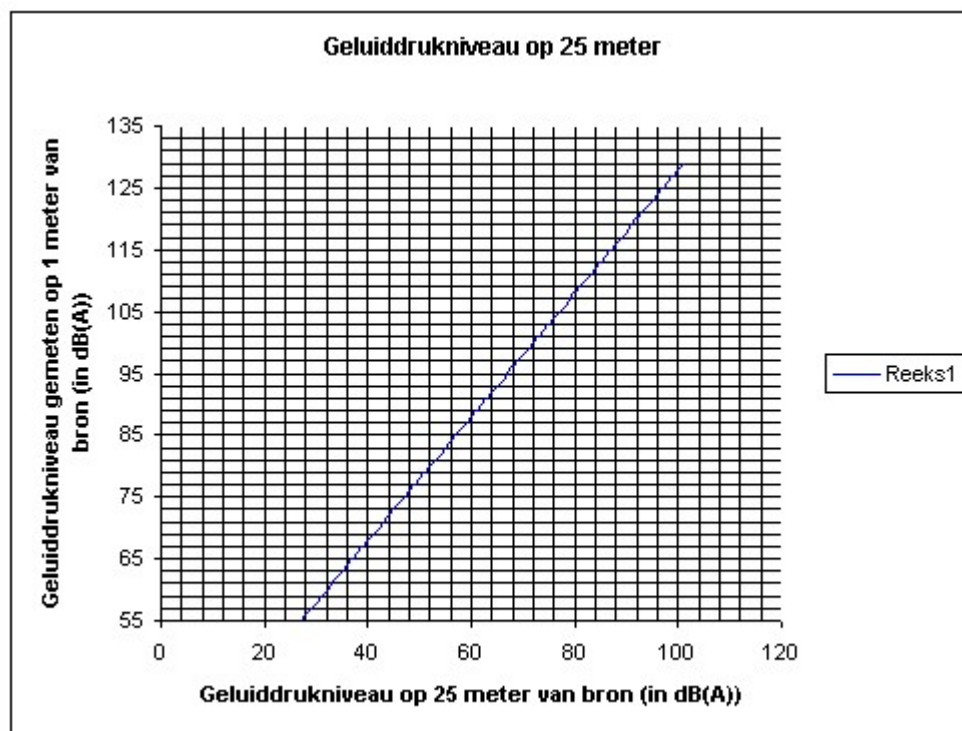
Gemeten geluidsniveau op 2 meter van bron = 83 dB (A) = LAE,d

In alle formules wordt gerekend met k = 20

Er is nu te zien dat de uitgekende waarden van bijlage 1b kloppen met de waarden van bijlage 1a

Wanneer de uitkomsten in een grafiek worden gezet blijkt dat de richtingscoëfficiënt (de schuinite van de lijn) van de twee manieren (bijlage 1a en 1b) hetzelfde is.

Figuur 1. Geluidsdrukniveau op 25 meter



Bijlage 2. Omrekeninggrafieken voor het geluidsdrukniveau op 25 meter van bron

Eerst wordt de afstand van de microfoon tot de bron opgemeten. Via de grafieken kan dan bepaald worden hoeveel decibel er van de gemeten waarden moet worden afgetrokken om tot de waarde te komen voor de standaard afstand.

