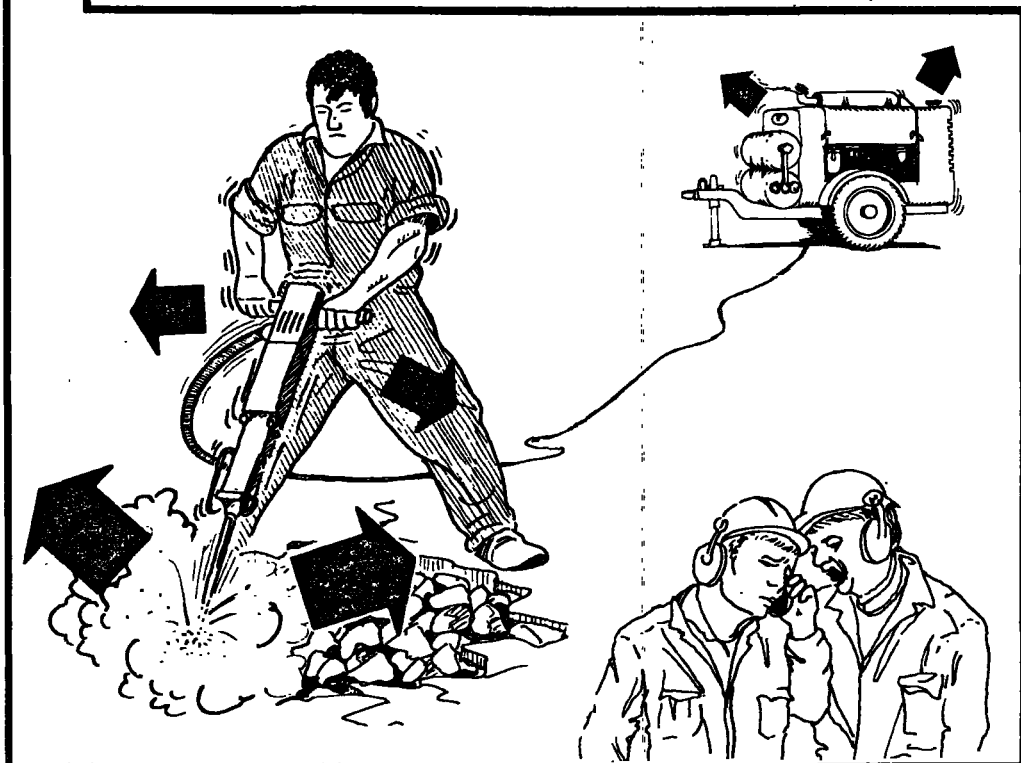


LAWAIBESTRIJDING

achtergronden, aanpak en methoden
praktijkvoorbeelden

R.van den Berg



Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg

NPG-TKO

Leiden

LAWAABESTRIJDING

**achtergronden, aanpak en methoden
praktijkvoorbeelden**

R.van den Berg

Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg

NPG-TKO

oktober 1985

Nederlands Instituut voor
Praeventieve Gezondheidszorg TNO
Wassenaarseweg 56 Leiden

Postadres:
Postbus 124
2300 AC Leiden

Telefoon: 071 - 170441

Deze uitgave is te bestellen door het overmaken van f.36,75 (incl. BTW) op postrekening 20.22.77 van het NIPG-TNO onder vermelding van bestelnummer 85027.

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Berg, R. van den

Lawaaibestrijding : achtergronden, aanpak en methoden : praktijkvoorbeelden / R. van den Berg. - Leiden : Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO

Met lit. opg.

ISBN 90-6743-074-9

SISO 614.63 UDC 628.517.2

Trefw.: lawaaiestrijding.

© 1985 Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO
Publikatienummer 85027

Voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever met betrekking tot de inhoud van dit rapport wordt verwezen naar de Algemene Voorwaarden van TNO.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, openbaar gemaakt, en/of verspreid door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het NIPG-TNO.

TEN GELEIDE

Zoals bekend vindt blootstelling aan lawaai in de arbeidssituatie op grote schaal plaats. De hiermee samenhangende gezondheidsproblematiek wordt al jaren duidelijk herkend en erkend. Dit vindt zijn weerslag in het overheidsbeleid dat zich binnen het onderzoeksprogramma van de Interdepartementale Commissie Geluidshinder speciaal richt op lawaai op de arbeidsplaats. Ook binnen de bedrijfsgezondheidszorg en bij bedrijven wordt in sterke mate aandacht besteed aan deze problematiek.

Naast een streven naar bescherming en bewaking van de gezondheid van de werkende mens, die blootgesteld wordt aan lawaai, bestaat de behoefte deze bron van schade zelf aan te pakken. In dit kader zijn onder meer handzame publicaties verschenen in Scandinavië (1) en de Verenigde Staten (2), die aanwijzingen geven hoe ongewenste lawaainiveaus te bestrijden.

Het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO houdt zich vanuit de invalshoek van preventie bezig met de relatie lawaai en gezondheid. Het is dan ook in dit verband dat het NIPG gaarne haar medewerking verleend heeft bij het tot stand komen van een Nederlandstalige publicatie over lawaai bestrijding in de praktijk. Wij hopen dat dit boekje een bijdrage zal leveren aan het voorkómen van gezondheidsschade bij diegenen die in of buiten het werk aan overmatig lawaai zijn blootgesteld.

Dr. C.L. Ekkers
onderdirecteur

Vrijwel alle illustraties zijn met toestemming van de uitgever uit de Scandinavische publicatie overgenomen.

DANKWOORD

Bij het tot stand komen van deze publicatie is gebruik gemaakt van engelstalige publicaties o.a. van de firma Brüel en Kjaer.

Vertaling en bewerking heeft plaatsgevonden binnen de groep Mens en Geluid van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO (voorheen deel uitmakend van het voormalige Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO).

Hierbij heeft de Werkgroep Lawaaiïnvloeden van de Commissie Arbeids-geneeskundig Onderzoek TNO een stimulerende invloed gehad. Een aantal leden van deze werkgroep heeft mij bijgestaan door het lezen en herlezen van de diverse concepten, waarvoor ik hen gaarne dank. In het bijzonder wil ik hierbij Ir. B. van Steenbrugge, hoofd van de Afdeling Industrielawaai van de Technisch Fysische Dienst TNO memoreren, die door zijn kritisch commentaar een wezenlijke bijdrage aan de totstandkoming van deze publicatie heeft geleverd.

R. van den Berg

Leiden, oktober 1985

INHOUD

Blz.

1. INLEIDING	1
2. BASISBEGRIPPEN	3
2.1 Geluid	3
2.2 Frequentie	3
2.3 Decibel	4
2.4 A-filter	7
2.5 Equivalent geluidniveau	7
2.6 Rekenen met decibel	8
2.7 Filters	10
2.8 Infrageluid en ultrageluid	11
2.9 Contactgeluid en luchtgeluid	11
2.10 Geluidveld	11
2.11 Resonantie	13
2.12 Verzwakking door afstand	14
2.13 Geluidisolatie	15
2.14 Geluidabsorptie	15
3. GELUID EN DE MENS	16
4. WETGEVING	19
5. GELUIDMETING EN APPARATUUR	21
5.1 Het doel van geluidmetingen	21
5.2 Meetmethoden	22
5.3 Apparatuur	25
5.4 Praktische werkwijze bij geluidmetingen	26
6. GELUID IN DE ARBEIDSSITUATIE	28
6.1 Aanpak van de problematiek	28
6.2 Een lawaaibestrijdingsprogramma	30
7. ACHTERGRONDEN EN METHODEN VAN LAWAAIBESTRIJDING	34
7.1 Ontstaansmechanismen van geluid	34
7.1.1 Direct aangestoten luchttrillingen	34
7.1.2 Indirect aangestoten luchttrillingen	35

7.2 Lawaaibestrijding in bestaande situaties	36
7.2.1 Bestrijding aan de bron	36
7.2.1.1 Veranderingen van machines en werktuigen	36
7.2.1.2 Intern materiaaltransport	38
7.2.2 Maatregelen in de overdrachtsweg	39
7.2.2.1 Omkasting	39
7.2.2.2 Verzwakking van contactgeluid	40
7.2.2.3 Geluidvermindering door gebruik van absorptie	43
7.2.2.4 Geluidisolierende controlekamers (of cabines)	44
7.3 Lawaaibestrijding in nieuwe situaties	45
7.3.1 Algemeen	45
7.3.2 Ontwerp van een nieuw gebouw of een nieuwe fabriek	47
7.3.3 Aankoop en installatie van nieuwe machines	49
8. PRAKTIJKVOORBEELDEN VAN LAWAAIBESTRIJDING	50
8.1 Fysisch gedrag	52
8.1.1 Veranderingen in kracht, druk of snelheid leiden tot lawaai	52
8.1.2 Trillingen in voorwerpen hebben een grote oppervlakte nodig om luchtgeluid op te wekken	56
8.1.3 Trillingen kunnen grote afstanden afleggen	58
8.1.4 Langzame opeenvolgingen veroorzaken lage frequenties, snelle opeenvolgingen hoge frequenties	60
8.1.5 Snelle veranderingen veroorzaken hogere dominerende frequenties	62
8.1.6 Laagfrequent geluid buigt om obstakels en gaat door openingen	64
8.1.7 Hoogfrequent geluid kan sterk gericht zijn en buigt niet om obstakels en bij openingen	66
8.2 Geluid van trillende vlakken	68
8.2.1 Kleine trillende voorwerpen stralen minder geluid af dan grote voorwerpen	68
8.2.2 Geperforeerde platen stralen minder geluid af	70
8.2.3 Een lange, smalle plaat straalt minder geluid af dan een vierkante	72
8.2.4 Vlakken met vrije randen stralen minder laagfrequent geluid af	74
8.2.5 Lichte voorwerpen met geringe snelheid veroorzaken het minste geluid	76

8.2.6	Gedempte vlakken stralen minder geluid af	79
8.2.7	Resonanties vergroten de afstraling van geluid	81
8.2.8	Resonanties bij hogere frequenties zijn gemakkelijk te dempen	85
8.3	Geluid van trillende machines	87
8.3.1	Trillende machines moeten op een zware fundering worden geplaatst	87
8.3.2	Flexibele bevestigingen isoleren trillingen	89
8.3.3	Verkeerd gekozen bevestigingen kunnen trillingen versterken	91
8.3.4	Gelijke belasting van de steunpunten is nodig om schommelende bewegingen te voorkomen	95
8.3.5	Voorkom overdracht van contactgeluid via bevestigingen	97
8.4	Geluidproduktie in lucht en gassen	99
8.4.1	Door luchtstroming opgewekte tonen kunnen worden vermeden door profielveranderingen of spoilers	99
8.4.2	Voorkom luchtstroming over holten	101
8.4.3	Gladde kanalen veroorzaken minder turbulentiegeluid	102
8.4.4	Ongestoorde stroming veroorzaakt minder uitlaatgeluid	104
8.4.5	Turbulentiegeluid kan worden beperkt door extra luchtstroom	106
8.4.6	Laagfrequent uitlaatgeluid is gemakkelijker te dempen als het in een hogere frequentie wordt omgezet	108
8.4.7	Plaats ventilatoren in een regelmatige onverstoorde stroom	110
8.5	Geluidproduktie in stromende vloeistoffen - leidingen	112
8.5.1	Stromingsgeluid in leidingen ontstaat door plotselinge drukveranderingen	112
8.5.2	Plotselinge grote drukveranderingen veroorzaken cavitatie	114
8.6	Geluidreductie door omkastingen - isolatie	116
8.6.1	Isolatie van enkelvoudige wanden is afhankelijk van de massa	116
8.6.2	Enkelvoudige wanden hebben een gebied met matige isolatie (= coïncidentie)	118
8.6.3	Grote stijfheid en grote massa zijn beide gunstig voor de isolatie van dikke wanden	120
8.6.4	Dubbele lichte scheidingswanden hebben een hoge isolatie	122
8.6.5	Dubbele wanden dienen zo min mogelijk onderlinge verbindingen te hebben	124

<u>INHOUD</u> (vervolg)	Blz.
8.7 Geluidvoortplanting in een ruimte	126
8.7.1 Geluidbronnen mogen niet te dicht bij wanden, vloer of plafond worden geplaatst	126
8.7.2 Dikke poreuze lagen absorberen hoge en lage tonen goed	128
8.7.3 Een geperforeerde afdekking hoeft de absorptie niet te verlagen	130
8.7.4 Paneelabsorptie treedt op bij laagfrequent geluid	132
8.7.5 Schermen moeten worden gecombineerd met absorberende plafonds	134
8.8 Geluidvoortplanting door kanalen	136
8.8.1 Doorsnede-varianten in kanalen beperken geluid- overdracht	136
8.8.2 Reflectiedempers zijn bruikbaar in een smal frequentie- gebied	138
8.8.3 Expansiekamers zijn bruikbaar als demper in gevallen waar lage frequenties overheersen	140
8.8.4 Absorptiedempers zijn in een breed frequentiegebied effectief	142
8.8.5 Ongebruikte ruimten kunnen worden gebruikt als absor- berend plenum	144
8.8.6 Zuivere tonen kunnen worden gedempt door interferentie	146
9. LITERATUUR	149
BIJLAGE 1: ICG-Onderzoekprojecten "Lawaai op de arbeidsplaats"	153

1. INLEIDING

Doel van de publicatie

Deze publicatie is bedoeld als handleiding voor diegenen die zich uit hoofde van hun functie of anderszins bezighouden met de lawaai-bestrijdingsproblematiek in het algemeen en met die op de arbeidsplaats in het bijzonder, zonder dat zij hiervoor een gespecialiseerde opleiding hebben gevolgd.

Hierbij valt in het bijzonder te denken aan veiligheidsfunctionarissen, medewerkers van Technische Diensten, medewerkers van bedrijfsgezondheidsdiensten, leden van commissies voor Veiligheid, Gezondheid en Welzijn, Ondernemingsraadleden en kaderleden van Bedrijfsledengroepen.

Deze publicatie heeft niet de pretentie pasklare oplossingen voor bepaalde problemen te geven, maar geeft aan de hand van praktische voorbeelden inzicht in de meest elementaire aspecten van lawaai-bestrijding zonder daarbij dieper op de theoretische achtergronden in te gaan dan strikt noodzakelijk is (hoofdstuk 8).

Voordat deze praktische voorbeelden worden gegeven worden de meest voorkomende uitdrukkingen en termen uit de akoestiek behandeld. Vervolgens komen de invloed van geluid op de mens en de voor Nederland geldende wettelijke basis met betrekking tot lawaai op de arbeidsplaats aan de orde. Ook wordt er kort ingegaan op geluidmetingen en in de laatste hoofdstukken wordt de aanpak van de problematiek, het ontstaan van geluid in de arbeidssituatie en de bestrijding daarvan beschreven.

Probleemstelling

Op veel arbeidsplaatsen in de Nederlandse industrie is de geluidbelasting zo hoog dat bij langdurige blootstelling grote kans bestaat op ernstige gehoorbeschadiging voor de werknemers die aldaar hun functie vervullen. Op basis van Oostenrijkse gegevens is een recente schatting gemaakt voor de Nederlandse situatie [8].

Hieruit blijkt dat 35 % van de industriële werknemers in lawaai-expositieniveaus werkt van 80 dB(A) of hoger, 23 % werkt in niveaus van 85 dB(A) of hoger, 13 % in niveaus van 90 dB(A) of hoger en 5 % werkt in lawaai-expositieniveaus van zelfs 95 dB(A) of hoger.

Op deze plaats zij vermeld dat er in het kader van het onderzoekprogramma "Lawaai op de arbeidsplaats" [3] van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder (ICG) meetmethodieken worden opgesteld ten behoeve van lawaibestrijding en de bepaling van de kans op gehoorschade van (groepen) werknemers [4, 5]. Tevens zijn in dit programma onder andere onderzoeken opgenomen naar de stand van de techniek (ICG-onderzoek LA-02) met betrekking tot de lawaibestrijding van diverse soorten processen, machines en gereedschappen. In bijlage 1 is een opsomming gegeven van de ICG-onderzoeken op dit gebied. Ook is in dit kader een inventarisatie verricht naar de methoden van geluidarm installeren [6] en -construeren [7]. (ICG-onderzoek LA-03).

2. BASISBEGRIPPEN

In de akoestiek wordt een groot aantal speciale uitdrukkingen en termen gebruikt. De meest voorkomende worden hierna kort behandeld.

2.1 GELUID

Geluid is gedefinieerd als een voor ons gehoor waarneembare drukwisseling in een medium zoals lucht, water of andere stoffen.

In de lucht bestaan deze drukwisselingen, die worden veroorzaakt doordat een geluidbron de naastgelegen luchtdeeltjes in beweging brengt, uit verdichtingen en verdunningen in de lucht, die zich vanaf de bron in alle richtingen voortplanten (zie figuur 1). De snelheid van geluidgolven in lucht bedraagt ongeveer 340 m/s. In vloeistoffen en vaste stoffen is de voortplantingssnelheid veel groter, namelijk 1500 m/s in water, 5000 m/s in staal.

Als geluid lawaai wordt genoemd heeft dat woord een onplezierige klank. Lawaai wordt dan ook wel eens gedefinieerd als ongewenst geluid.

Aan geluiden kunnen twee facetten worden onderscheiden: de sterkte en de toonhoogte. Een geluid kan hard en zacht zijn - een kwestie van sterkte - en kan verschillende toonhoogten hebben - een piepgeluid of een bromtoon zijn. Op deze twee facetten wordt in het volgende ingegaan.

2.2 FREQUENTIE

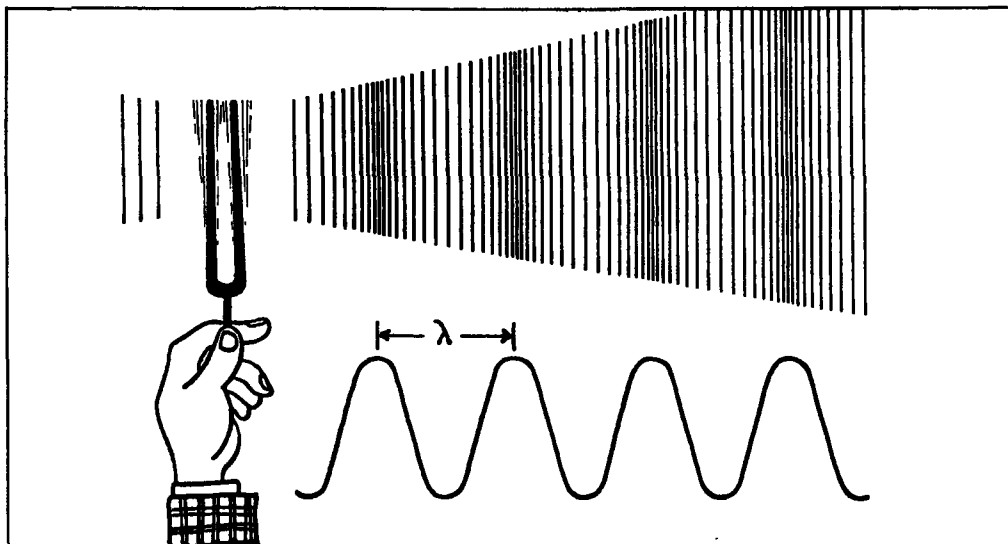
In de akoestiek gebruikt men niet de term toonhoogte maar de term frequentie. Het aantal drukwisselingen per seconde is de frequentie van het geluid en wordt uitgedrukt in hertz (Hz).

Een toon bestaat uit drukwisselingen die even lang duren: een toon heeft één frequentie. Samengesteld geluid bestaat uit vele frequenties.

Geluid strekt zich uit over een breed frequentiegebied. Hoorbaar geluid ligt voor jonge mensen met een normaal gehoor tussen 20 hertz en 20000 hertz. Bij lage frequenties (basgeluid) bewegen de luchtdeeltjes zich langzaam. Bij hoge frequenties (fluittoon) bewegen zij snel. De trilling van de luchtdeeltjes breidt zich uit als een geluidsgolf en wel met een voor lucht typische snelheid die onafhankelijk is van de frequentie: de voortplantingssnelheid.

De afstand tussen de toppen (of dalen) van zo'n golf wordt golflengte (λ) genoemd. De golflengte is omgekeerd evenredig met de frequentie (f): $\lambda = v/f$, waarin de v staat voor de voortplantingssnelheid van geluid.

Figuur 1 De geluidbron (stemvork) trilt, waardoor de luchtdeeltjes in beweging komen.



2.3 DECIBEL

Naast de frequentie van een geluid kan ook de sterkte worden onderscheiden. De sterkte van een geluid kan worden uitgedrukt in het geluidsdruk-niveau. Het zwakste, door een mens nog waarneembare, geluid bestaat uit drukvariaties van 20 micropascal (20 μPa).

De drukvariatie van 20 μPa is zo klein, dat het trommelvlies van het oor daardoor slechts een uitwijking ondergaat die niet groter is dan de diameter van een waterstofatoom.

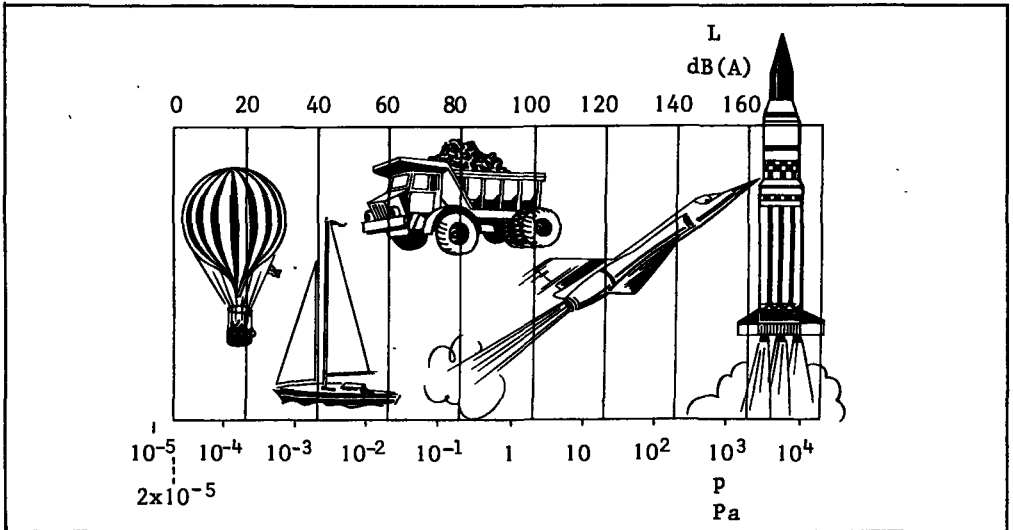
Maar het oor kan ook geluidsdrukken verdragen die maar liefst tien miljoen maal zo hoog zijn.

Als de geluidsterkte in pascal wordt uitgedrukt, resulteert dat in onhandelbare kleine (20 micro Pa) en grote (1000 Pa) getallen.

In de akoestiek gebruikt men daarom niet de geluidsdruk als maat. Er wordt gebruik gemaakt van een logaritmische maat van deze druk ten opzichte van de juist nog hoorbare drukveranderingen bij 20 μPa .

Deze laatstgenoemde drukveranderingen noemt men de referentiedruk; deze is dan ook het nulpunt van de decibelschaal (figuren 2 en 3). Dit alles resulteert dan in een maat voor het geluidrukniveau: de decibel, afgekort dB.

Figuur 2 Het verband tussen geluiddruk (pascal, onderste schaal) en geluidrukniveau (decibel, bovenste schaal).



DECIBEL = maat voor het geluidrukniveau L

$$L = 10 \lg \left[\frac{(\text{geluiddruk})^2}{(\text{referentiedruk})^2} \right] \quad (\text{dB})$$

of

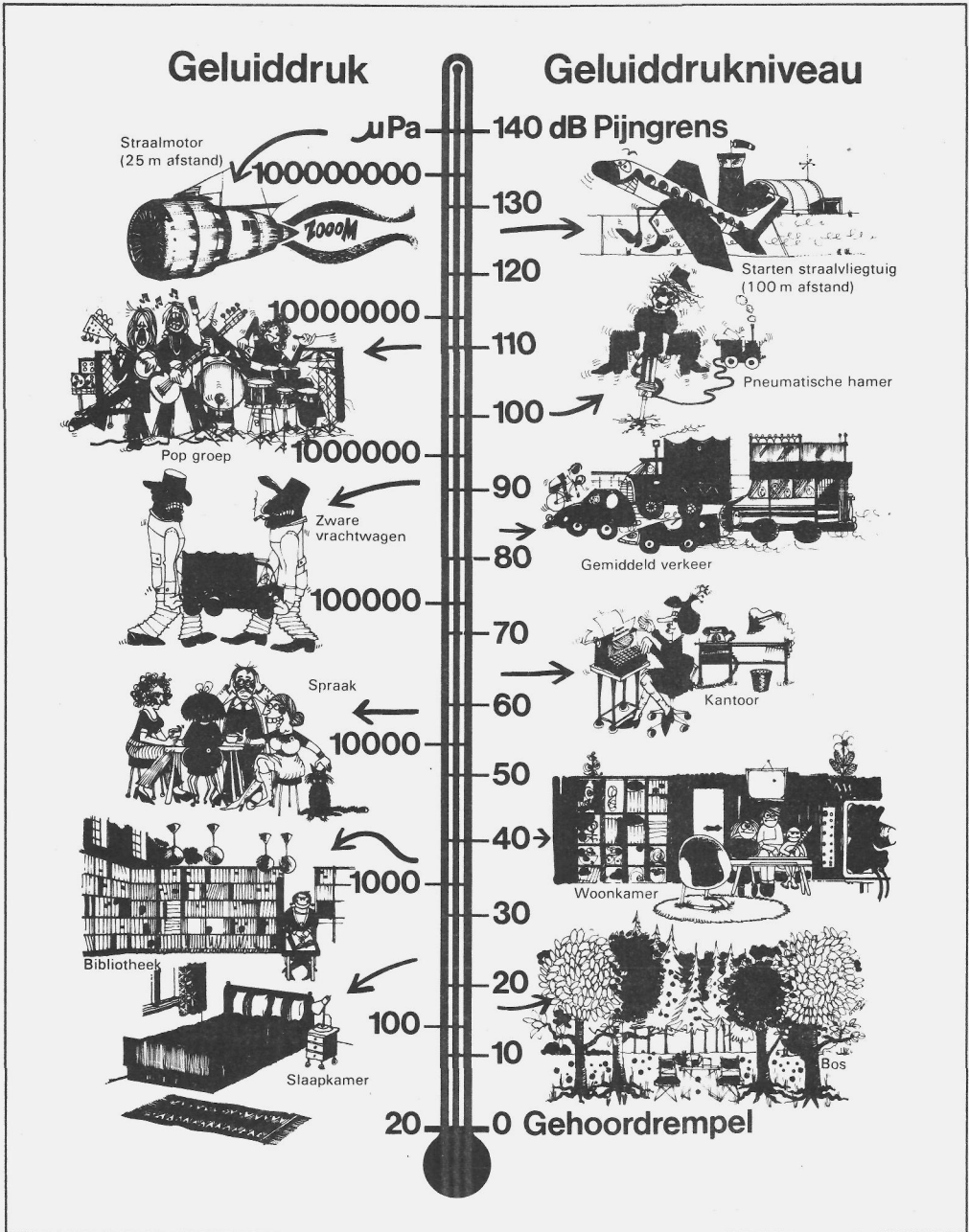
$$L = 10 \lg \left[\frac{(p)^2}{(p_0)^2} \right] \quad \text{waarbij } p_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

De mens kan kleine veranderingen in het geluidrukniveau waarnemen. De kleinst waarneembare verandering is 3 dB. Het voordeel van de dB-schaal is nu ook dat deze relatieve verandering over het gehele gebied op dezelfde manier wordt waargenomen.

Het menselijk gehoororgaan heeft een bereik van ongeveer 130 dB.

In de geluidthermometer in figuur 3 is nog een aantal alledaagse voorbeelden gegeven van geluidrukniveaus, uitgedrukt zowel in μPa als in dB.

Figuur 3 Het verband tussen geluiddruk (links) en geluiddrukkniveau (rechts) met een aantal bijbehorende geluidbronnen.



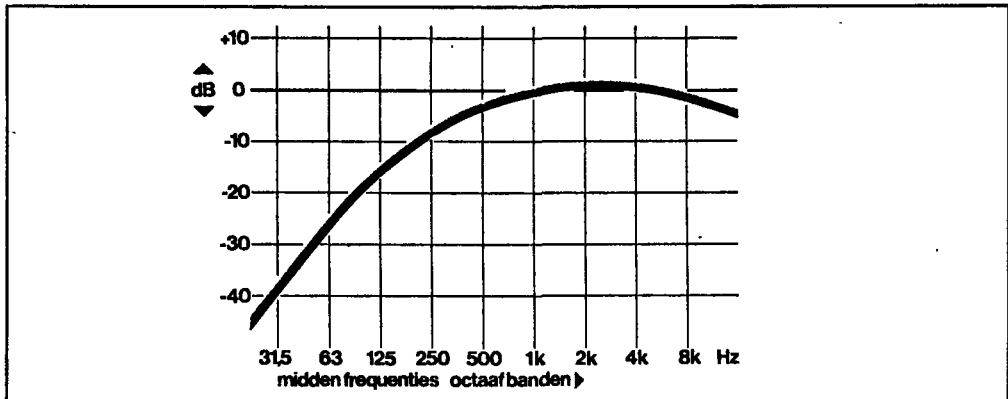
2.4 A-FILTER

De gevoeligheid van het menselijk gehoororgaan is sterk afhankelijk van de frequentie. Zo worden tonen met een lage frequentie en een bepaald geluidsdrukniveau als veel zachter ervaren dan tonen met een hoge frequentie en hetzelfde geluidsdrukniveau. Het oor is het gevoeligst voor frequenties tussen 1000 en 4000 Hz. Voor lagere en hogere frequenties is het gehoor veel ongevoeliger. Hierdoor is het geluidsdrukniveau, uitgedrukt in decibel, eigenlijk geen goede maat wanneer men de invloed van geluid op de mens in een getal wil uitdrukken.

Door middel van het zogenaamde A-filter wordt bij meting de oorgevoeligheid nagebootst. De lage en hoge tonen worden daarbij overeenkomstig het A-filter verzwakt ten opzichte van die in het gebied rond 1000 tot 4000 Hz, alvorens de meter de totaalsom over het hele frequentiegebied bepaald. Wanneer het geluid wordt gemeten met een A-filter spreekt men van een geluidsniveau, uitgedrukt in decibel-A (dB(A)).

In figuur 4 is de verzwakking van het A-filter als functie van de frequentie weergegeven.

Figuur 4 Dempingskarakteristiek van het "A"-filter.



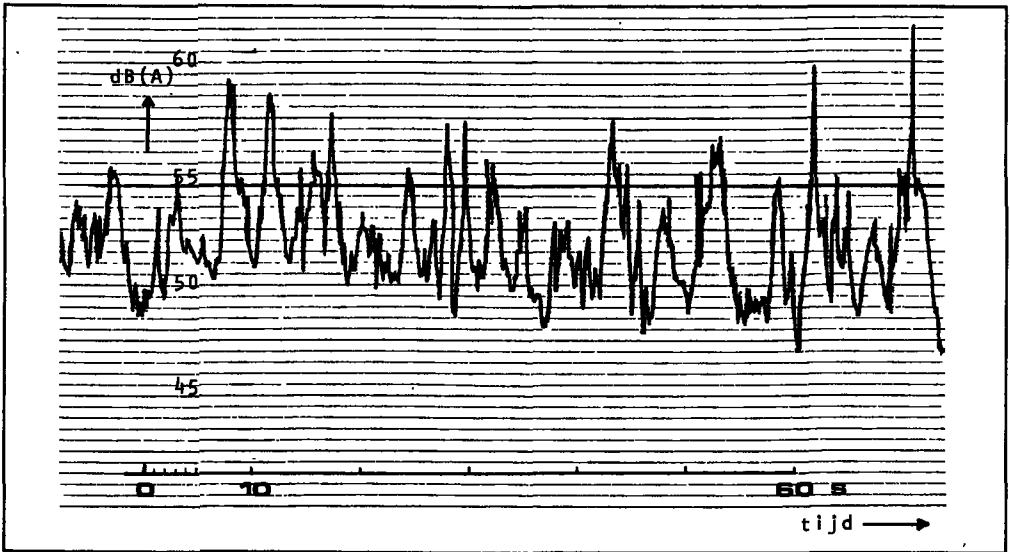
2.5 EQUIVALENT GELUIDNIVEAU

Het geluidsniveau van geluidbronnen fluctueert vaak sterk gedurende een bepaalde tijd. Er kan over een bepaalde tijd een gemiddelde waarde van de effectieve geluidsdruk worden bepaald en daaruit het equivalente geluidsniveau (L_{eq}).

Het equivalente geluidniveau is dan het niveau dat constant geluid zou hebben met dezelfde geluiddruk als het fluctuerende geluidniveau tijdens de betrokken periode.

Wanneer met ingeschakeld A-filter wordt gemeten, verkrijgt men het A-gewogen equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) uitgedrukt in dB(A).

Figuur 5 Voorbeeld van een variërend geluidniveau gedurende 1 minuut.



In figuur 5 is het A-gewogen geluidniveau uitgeschreven als functie van de tijd.

Gedurende de meetperiode varieert het geluidniveau tussen 47 dB(A) en 59 dB(A). Het equivalente geluidniveau gedurende deze periode is 54,5 dB(A). Deze waarde kan direct worden gemeten met behulp van een integrerende geluidniveaumeter.

2.6 REKENEN MET DECIBEL

Zoals reeds is opgemerkt is de decibel een van de geluiddruk afgeleide logaritmische maat. Dit soort maten kan niet rekenkundig worden opgeteld. Geluiddrukken kunnen wel worden opgeteld. Het geluidniveau (L) dat een aantal bronnen te zamen zou produceren kan worden berekend uit de afzonderlijke geluiddrukken (p_1, p_2) die elke bron op een bepaalde plaats veroorzaakt:

$$L_{\text{totaal}} = 10 \lg \left[\frac{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 \dots + p_n^2}{p_o^2} \right]$$

Omgerekend naar geluiddrukkniveaus $L_i = 10 \lg \left[\frac{p_i^2}{p_o^2} \right]$
 of $p_i^2/p_o^2 = 10^{L_i/10}$

$$L_{\text{totaal}} = 10 \lg (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \dots + 10^{L_n/10})$$

Bijvoorbeeld: de radio staat aan en geeft een geluidniveau van 65 dB(A). Wanneer nu de telefoon rinkelt met een niveau van 55 dB(A), is het totale geluidniveau:

$$10 \lg (10^{6,5} + 10^{5,5}) = 65,5 \text{ dB(A)}$$

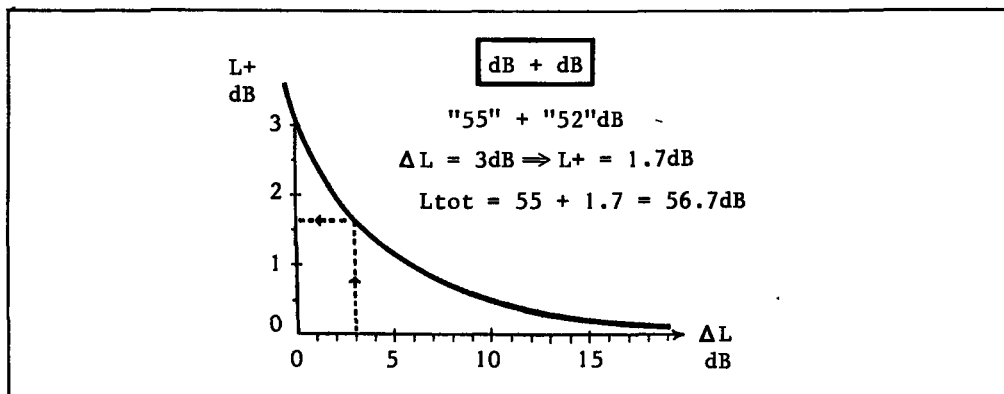
Wanneer enige (N) bronnen afzonderlijk hetzelfde geluidniveau op een bepaalde plaats veroorzaken, kan de formule verder worden vereenvoudigd:

$$L_{\text{N bronnen}} = L_1 \text{ bron} + 10 \lg (N)$$

Uit figuur 6 kan worden bepaald hoe het geluidniveau op een arbeidsplaats bij machine A wordt beïnvloed door machine B die ergens anders staat opgesteld. Stel machine A produceert op de arbeidsplaats een geluidniveau van 55 dB(A) zonder dat machine B in werking is.

Omgekeerd produceert machine B op diezelfde arbeidsplaats een niveau van bijvoorbeeld 52 dB(A). Het totale geluidniveau op die arbeidsplaats wanneer beide machines in werking zijn bedraagt dan $55 + 1,7 = 56,7$ dB(A) (zie figuur 9; bij een verschil van 3 dB(A) moet er 1,7 dB(A) bij het hoogste niveau worden opgeteld). Als het verschil tussen twee niveaus meer dan 10 dB(A) is, is het gezamenlijke niveau niet veel groter dan het hoogste niveau: er hoeft minder dan 0,5 dB(A) bij het hoogste niveau opgeteld te worden.

Figuur 6 Aantal decibels (L_+) als functie van het niveauverschil ΔL , dat bij de hoogste waarde moet worden opgeteld om het totale niveau te berekenen die twee bronnen te zamen zouden veroorzaken:



Ook het aftrekken van twee niveaus is met de grafiek in figuur 6 mogelijk. Dit kan weleens nodig zijn wanneer bijvoorbeeld een meting verricht wordt waarbij een stoorniveau aanwezig is dat niet kan worden uitgeschakeld en men wil alleen het geluidniveau van de bron weten. Men meet dan het totale geluidniveau, dit is het niveau van de bron en het stoorniveau samen, en vervolgens alleen het stoorniveau.

Het verschil tussen beide niveaus wordt nu op de verticale as (L_+) uitgezet en het niveau dat van het stoorniveau moet worden afgetrokken kan op de horizontale as worden afgelezen (ΔL).

Voorbeeld: in een fabriekshal bedraagt het totale geluidniveau op een bepaalde plaats 56,7 dB(A). Na uitschakelen van machine A is het niveau gedaald tot 55 dB(A). Het verschil is 1,7 dB(A). Er moet dus 3 dB(A) van het achtergrondniveau (55 dB(A)) worden afgetrokken om het geluidniveau van machine A te kennen: 52 dB(A). Wanneer het verschil minder dan 0,5 dB(A) bedraagt kan het geluidniveau van de bron alleen niet meer voldoende nauwkeurig worden bepaald.

2.7 FILTERS

Om de samenstelling van geluid volledig te kunnen vaststellen is het nodig het geluidsdrukkniveau per frequentie te bepalen. In de praktijk wordt dit in bepaalde frequentiebanden gedaan: octaafbanden of tertsbanden. Een octaaf omvat drie tertsbanden. Het hoorbare frequentiegebied is verdeeld in tien octaafbanden (30 tertsbanden). De middenfrequenties en bandbreedten

zijn in internationale standaards vastgelegd [11]. De middenfrequenties van iedere opvolgende octaafband is tweemaal de middenfrequentie van de voorgaande en de bovenfrequentie van een octaafband is tweemaal de onderfrequentie van die octaafband. De octaafbanden worden genoemd naar hun middenfrequentie. De 500 Hz-octaafband loopt van 354 tot 707 Hz.

2.8 INFRAGELUID EN ULTRAGELUID

"Geluid" of drukwisselingen met frequenties lager dan 20 Hz wordt infrageluid genoemd en deze drukwisselingen zijn over het algemeen onhoorbaar.

Drukwisselingen met frequenties hoger dan 20000 Hz zijn ook onhoorbaar en wordt ultrageluid genoemd.

Geluid van zeer lage frequenties kan worden ervaren wanneer het voldoende sterk is. Het is bekend dat infrageluid met een hoge intensiteit (geluid-niveaus van meer dan 100 dB bij frequenties die lager dan 10 Hz zijn) onder andere hoofdpijn en vermoeidheid kunnen veroorzaken.

In bepaalde industrieën, bijvoorbeeld de staalindustrie (hoogovens), komt infrageluid met hoge intensiteiten voor. In de meeste gevallen veroorzaakt het hoorbare geluid de grootste problemen.

Ultrageluid heeft geen belangrijke invloed op het lichaam bij matige intensiteiten voor zover bekend.

Deze publicatie handelt verder alleen over hoorbaar geluid.

2.9 CONTACTGELUID EN LUCHTGELUID

Geluid kan op vele manieren ontstaan, zowel direct, door het opwekken van drukwisselingen in de lucht (luchtgeluid), als indirect, door afstraling van trillingen door bijvoorbeeld een muur, die elders zijn opgewekt door een trillingsbron (contactgeluid).

2.10 GELUIDVELD

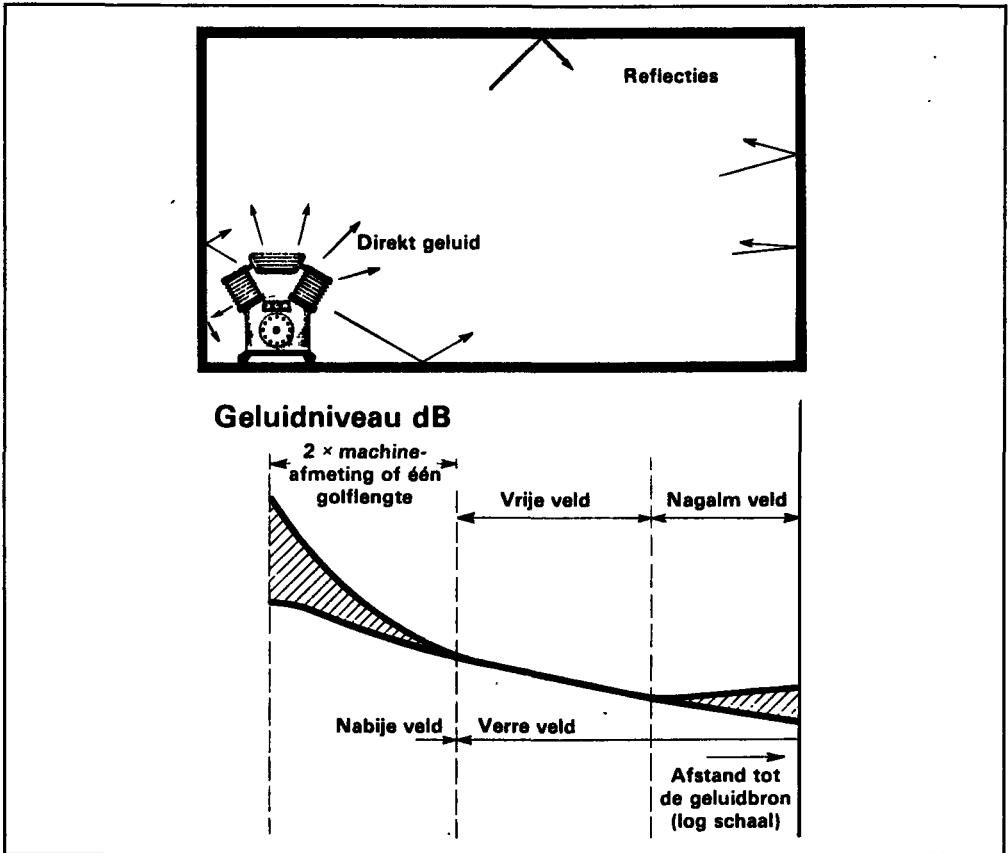
In een bedrijfsruimte zullen reflecties optreden via de vloer, plafond en de zijwanden, maar ook via andere machines of machine-onderdelen.

De reflecties hebben over het algemeen pas invloed op het geluidniveau op grotere afstand van de bron, in het zogenaamde nagalmveld. Echter ook zeer dicht bij de machine kunnen reflecties ervoor zorgen dat het geluidniveau van plaats tot plaats aanzienlijk kan verschillen. Dit verschijnsel doet zich ruwweg voor op een afstand die kleiner is dan tweemaal de grootste maat van de machine, of een afstand die kleiner is dan de golflengte van het geluid dat door de machine wordt opgewekt. Dit wordt het nabije veld genoemd (zie figuur 7). De golflengte behorend bij 100 Hz bedraagt 3 meter, bij 1000 Hz 30 cm.

Tussen nabije veld en nagalmveld zal zich in het algemeen het vrije veld bevinden waarin het geluidniveau met 6 dB(A) afneemt bij verdubbeling van de afstand tot de bron. In fabriekshallen waar meerdere machines gelijktijdig in bedrijf zijn, of in kleine ruimten, is het heel goed mogelijk dat er geen vrije veld condities bestaan, maar alleen condities van een diffuus veld. Een diffuus veld is gedefinieerd als een veld waarin op elk punt het invallende geluid uit elke richting even sterk is. Het nagalmveld is een diffuus veld.

Daar waar evenwijdige reflecterende vlakken aanwezig zijn kunnen staande golven ontstaan. Hierdoor kan het geluidniveau van plaats tot plaats sterk verschillen.

Figuur 7 Verschillende geluidvelden.



2.11 RESONANTIE

Resonantie is het verschijnsel van een in de eigenfrequentie opgeslingerde trilling door geluid- of trillingaanstoting in die frequentie. De eigenfrequentie is de frequentie waarbij het systeem (bijvoorbeeld machine of machine-onderdelen) het gemakkelijkst in trilling komt.

Als de eigenfrequenties van twee trillingssystemen met elkaar overeenkomen kunnen zij met elkaar in resonantie komen, dat wil zeggen dat als een van de systemen trilt het andere systeem, als dat op de een of andere manier aan de eerste is gekoppeld, ook gemakkelijk in trilling kan raken.

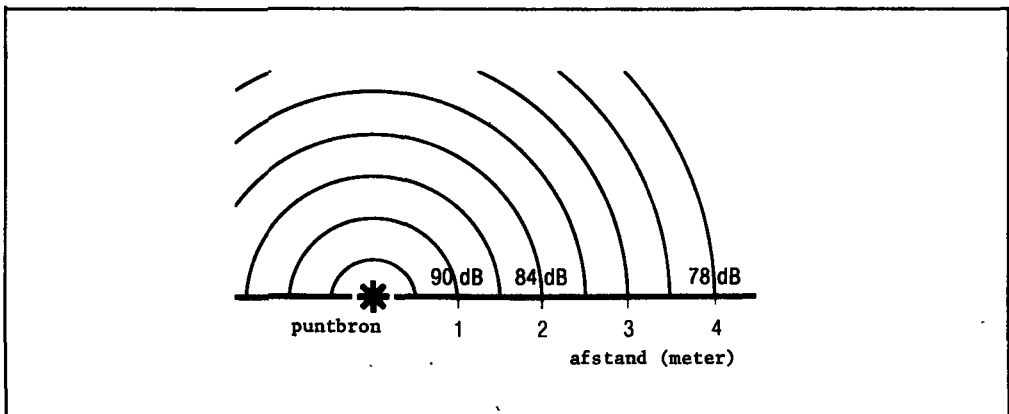
Wanneer resonanties optreden, kan als gevolg daarvan geluid worden versterkt. Dit kan voorkomen zowel bij luchtgeluid (bijvoorbeeld in gesloten of gedeeltelijk gesloten ruimten) als bij contactgeluid (bijvoorbeeld in een machine). Resonanties treden op bij een of meer frequenties die overeenkomen met de eigenfrequentie van het systeem. Deze frequenties worden onder andere bepaald door de afmetingen, de stijfheid en het luchtvolume in machines en dergelijke.

Bekend is het meeklinken van drinkglazen met bepaalde tonen die door een muziekinstrument worden voortgebracht. Bij muziekinstrumenten wordt van de resonantie van een klankkast gebruik gemaakt om de zwakke geluiden van snaren e.d. te versterken. Ook de werking van een orgelpijp berust op resonantie.

2.12 VERZWAKKING DOOR AFSTAND

Geluid dat zich vanuit een puntbron voortplant in het vrije veld verzwakt met 6 dB bij iedere verdubbeling van de afstand tot de geluidbron (zie figuur 8). Geluid dat zich in een vertrek of fabriekshal voortplant verzwakt minder vanwege de bijdrage van reflecties van muren en plafond aan het totale niveau.

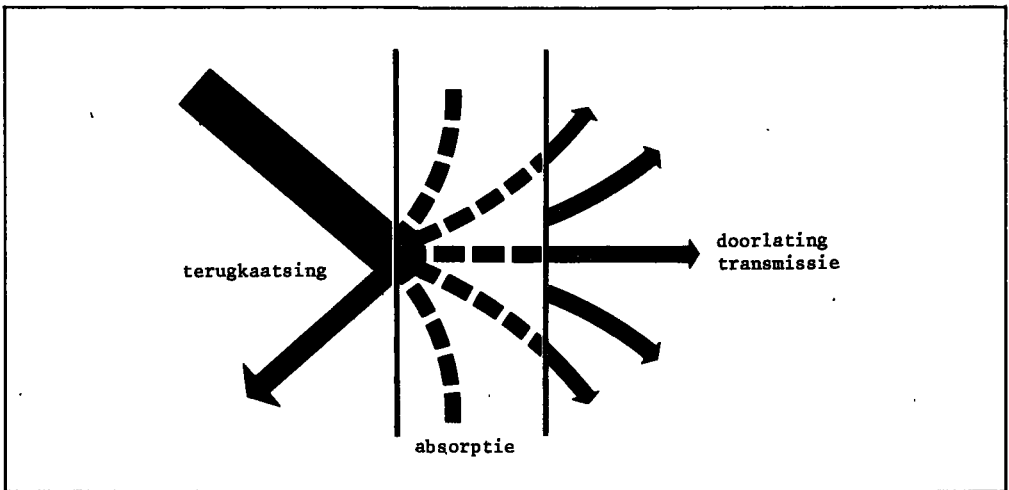
Figuur 8 Een kleine geluidbron die als een puntbron kan worden beschouwd, produceert 90 dB op één meter afstand. Het geluidniveau op 2 meter afstand bedraagt dan 84 dB, op 4 meter 78 dB enz., indien er geen reflecties optreden.



2.13 GELUIDISOLATIE

Wanneer geluidgolven op hun weg een muur of scheidingswand tegenkomen, zal slechts een klein deel van het geluid deze muur passeren. Het meeste geluid wordt teruggekaatst (zie figuur 9) en een deel wordt in de muur geabsorbeerd. Het verschil tussen het opvallende geluid en het doorgelaten geluid wordt de geluidisolatie genoemd.

Figuur 9 Een deel van het geluid dat op een wand valt wordt teruggekaatst, (gereflecteerd), een deel wordt omgezet in warmte (geabsorbeerd) en een deel gaat door de wand naar de andere zijde (transmissie).



2.14 GELUIDABSORPTIE

Geluid wordt (ten dele) geabsorbeerd wanneer het geluid op een poreus materiaal valt. Poreuze materialen die zijn gemaakt om geluid te absorberen, absorberen 50 tot 90 % van de invallende geluidenergie, afhankelijk van de frequentie. In een vertrek met een grote hoeveelheid absorptie (er wordt dan weinig geluid teruggekaatst) neemt het geluidniveau gestaag af met de afstand tot de bron. In een akoestisch "hard" vertrek (weinig of geen absorptie) is het totale geluidniveau overal in het vertrek ongeveer even hoog als in de nabijheid van de bron (zie ook figuur 17).

3. GELUID EN DE MENS

Een overmaat aan geluid kan globaal drie effecten op de mens hebben: gehoorschade, hinder en fysiologische effecten (onder andere op de bloeddruk).

Dat jarenlange blootstelling aan hoge geluidniveaus kan leiden tot gehoorschade is reeds lang bekend.

Zeer hoge geluidniveaus of een lang verblijf in een lawaaiige omgeving kan gehoorverlies veroorzaken door schade aan het gehoororgaan. Deze gehoorschade is blijvend, het gehoor herstelt zich niet. De kans op gehoorschade neemt toe met het geluidniveau en met de tijd dat men in dit niveau verblijft. Daarbij komt nog dat de kans op gehoorschade ook enigszins van de persoon afhangt; sommigen hebben al na korte tijd een gehoorschade, anderen onder dezelfde omstandigheden pas na jaren.

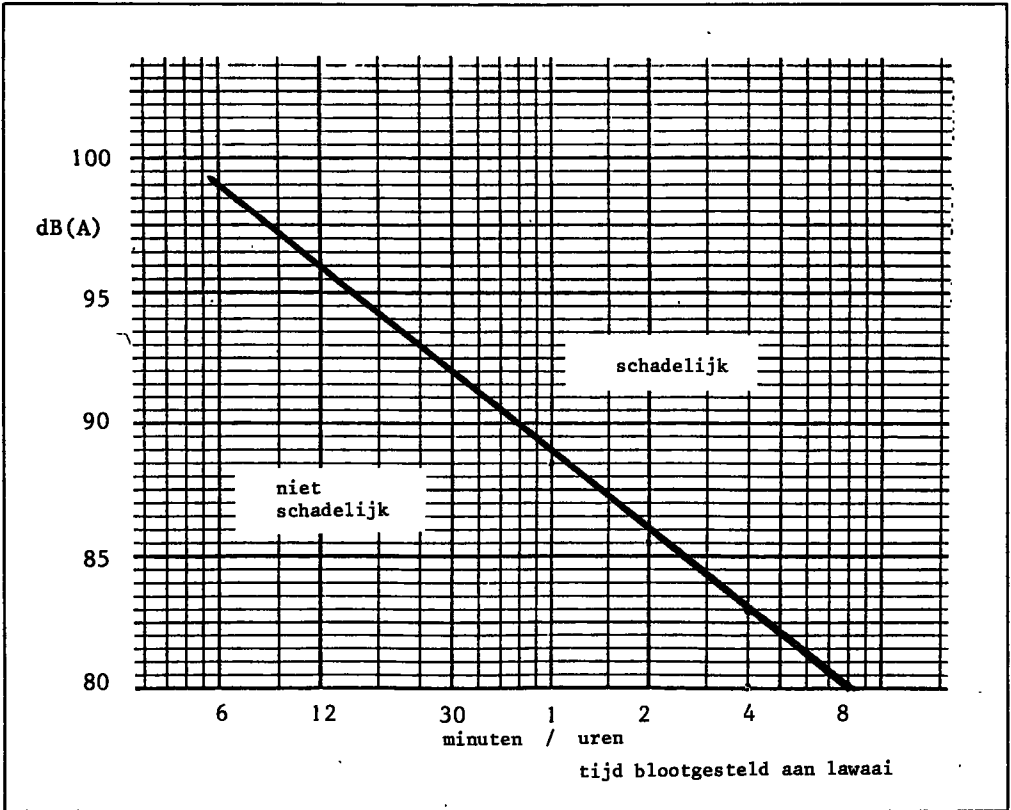
Werknemers moeten zo min mogelijk worden blootgesteld aan geluidniveaus, die mogelijk kans op gehoorschade geven. Men heeft kans op gehoorschade bij blootstelling aan geluidniveaus van 80 dB(A) of meer, gemiddeld over een 8-urige werkdag over 40 jaar. Naarmate het gemiddelde geluidniveau hoger is over de werkdag, is de kans op een gehoorschade ook groter.

De kans op en de mate van gehoorschade lijkt bepaald door het equivalente geluidniveau over 8 uur, ofwel hoe hoger het geluidniveau, des te korter de toegestane verblijfstijd. Ook in de Internationale Organisatie voor Standaardisatie wordt het "equal energy"-principe gehanteerd: de tijd die in een lawaaiige omgeving wordt doorgebracht moet worden gehalveerd voor iedere toeneming van het geluidniveau met 3 dB(A) bij gelijkblijvende kans op gehoorschade (ISO 1999) [10].

Dus: bij 90 dB(A) gemiddeld over 8 uur heeft men een zekere kans op gehoorschade. Deze kans blijft hetzelfde indien men 4 uur in gemiddeld 93 dB(A) verblijft, 2 uur in 96 dB(A), 1 uur in 99 dB(A) enz.

In figuur 10 is de grens aangegeven waarbij men een verwaarloosbare kans op gehoorschade heeft, indien men een bepaalde tijd in een bepaald geluidniveau verblijft.

Figuur 10 Equivalente geluidniveaus die al dan niet schadelijk kunnen zijn, wanneer zij langer dan een bepaalde tijd per dag voorkomen.



Naast de kans op gehoorschade zijn er ook andere redenen waarom verbetering van een bepaalde situatie is gewenst. Het is bekend dat men bij hogere geluidniveaus minder prettig werkt, en dat de produktiviteit en/of de kwaliteit van het werk in bepaalde functies bij hogere geluidniveaus door verminderde concentratie en vermoeidheid kan afnemen.

Lawaai kan ook een gevarenrisico inhouden, wanneer waarschuwingssignalen niet meer worden gehoord.

Een belangrijke nadelige invloed van geluid laat zich ook gelden bij collegiale en andere werkcontacten. Om op redelijke wijze een gesprek te kunnen voeren op een gewone afstand, mag het achtergrondgeluidniveau niet meer dan 65 tot 70 dB(A) bedragen. Tussen 70 en 80 dB(A) moet men al met stemverheffing praten. Te veel lawaai beïnvloedt de spraakverstaanbaarheid

nadelig. Bij ongeveer 70 dB(A) bijvoorbeeld is het al moeilijk een telefoongesprek te voeren. Zie ook figuur 11.

Figuur 11 Wanneer het geluidniveau meer dan 85 à 90 dB(A) bedraagt, moeten men in elkaars oren schreeuwen.



Algemene grenzen aan geluidniveaus uit een oogpunt van hinder zijn nog niet vastgesteld. De ervaren hinder hangt sterk af van de taak of werkzaamheden, doch is ook persoonsafhankelijk. Niet iedereen is even gevoelig. Over het algemeen neemt de hinder toe met het geluidniveau. Indien één geluidbron duidelijk uitkomt boven het algemene achtergrondniveau van de betreffende werkplek, geeft dit vaak problemen.

Lawaai heeft ook invloed op de bloedcirculatie en kan stress en andere psychologische effecten veroorzaken [12].

4. WETGEVING

Wetgeving betreffende veiligheid en gezondheid van werknemers met betrekking tot lawaai bestaat in bijna alle landen van de wereld. Zo ook in Nederland.

In artikel 179a van het *Veiligheidsbesluit voor Fabrieken of Werkplaatsen 1938* is opgenomen dat machines, werktuigen en de uitvoering van werkzaamheden geen schadelijk geluid mogen veroorzaken, tenzij zulks redelijkerwijze niet kan worden gevergd. Tevens biedt artikel 179a aan de Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid de mogelijkheid om een grenswaarde van schadelijk geluid vast te stellen.

De hoofdpunten van het beleid dat de Ministerraad op 13 september 1985 op voordracht van de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid heeft vastgesteld ten aanzien van lawaai op de arbeidsplaats zijn:

- *Geluidniveaus boven 80 dB(A) worden geacht schadelijk te zijn voor de gezondheid.*
- *Boven deze grens moet de werkgever gehoorbeschermingsmiddelen beschikbaar stellen.*
- *Boven deze grens zal de werkgever te zijner tijd het lawaai moeten bestrijden voorzover dat redelijkerwijs mogelijk is. Voorlopig hoeft dat pas vanaf 85 dB(A).*
- *Boven 90 dB(A) zijn de werknemers verplicht gehoorbeschermingsmiddelen te dragen.*

Op dit moment zijn in Nederland nog nagenoeg geen wettelijke bepalingen van kracht ten aanzien van lawaai op de arbeidsplaats. In de meeste geïndustrialiseerde landen bestaan dergelijke regels wel. Gezien de omvang en de ernst van de problematiek is enige jaren geleden besloten wetgeving op dit gebied tot stand te brengen. De toenmalige Minister van Sociale Zaken heeft daartoe op 18 juni 1981 een advies gevraagd aan de Sociaal Economische Raad [9]. De Raad heeft op 17 februari 1984 een verdeeld advies uitgebracht. De Raad steunde unaniem het voornemen van de Minister normen vast te stellen voor schadelijk geluid. Over de hoogte van de grenswaarden oordeelde de Raad echter verschillend. De werknemers waren van mening dat lawaai bestreden zou moeten worden vanaf 80 dB(A), zoals ook door de Minister werd voorgesteld. De werkgevers daarentegen waren van mening dat

uit economische overwegingen in beginsel een grenswaarde van 85 dB(A) aanvaardbaar zou zijn. De werknemers steunden het voorstel van de Minister gehoorbeschermingsmiddelen beschikbaar te doen stellen vanaf 80 dB(A) en de draagplicht bij een hogere grens te leggen. De werkgevers waren van mening dat de grenswaarde voor de beschikbaarstelling en het dragen van gehoorbeschermingsmiddelen bij 85 dB(A) gelegd moest worden. Besloten is nu de grens van 80 dB(A) voorlopig niet te laten gelden voor het treffen van technische en organisatorische lawaaibestrijdingsvoorzieningen. Voorlopig zal hiervoor als wettelijke grenswaarde 85 dB(A) worden aangehouden. Vanaf 80 dB(A) zullen wel gehoorbeschermingsmiddelen beschikbaar gesteld moeten worden om werknemers de gelegenheid te geven zich te beschermen tegen lawaaidoofheid. Vanaf 90 dB(A) zullen deze gehoorbeschermingsmiddelen verplicht gedragen moeten worden. Bovengenoemde grenswaarden zullen worden opgenomen in het *Veiligheidsbesluit voor Fabrieken of Werkplaatsen 1938* en het *Landbouwveiligheidsbesluit*.

Tevens overweegt de Minister, om praktische redenen op iets langere termijn, de invoering van een verbodsregime, gekoppeld aan een ontheffingstelsel, voor arbeidsplaatsen met een niveau boven 95 dB(A). Bij overschrijding van deze grenswaarde zal ontheffing door de bedrijven aangevraagd dienen te worden. Ontheffing zal dan slechts worden verleend als door het bedrijf aan bepaalde voorwaarden is voldaan. Deze voorwaarden zullen onder andere de uitvoering van een gehoorbeschermingsprogramma inhouden.

Nog een ontwikkeling dient hier te worden genoemd: het in werking treden van gedeelten van de *Arbeidsomstandighedenwet*. Met de inwerkingtreding van deze wet heeft het overleg tussen werkgever en werknemers over de omstandigheden op de werkplek (veiligheid, gezondheid en welzijn) een nieuwe wettelijke basis gekregen. Ongetwijfeld is lawaai een van de meest voorkomende belastingen op de werkplek; dit zal dan ook naar verwachting in vele gevallen onderwerp van overleg worden.

5. GELUIDMETING EN MEETAPPARATUUR

Wanneer lawaai bestrijdingsmaatregelen worden overwogen is geluidmeting het belangrijkste uitgangspunt. Zonder meetgegevens (of soms voorspellingen van geluidsniveaus uit beschikbare gegevens) van een geluidssituatie kunnen geen objectieve beslissingen over de noodzaak van maatregelen worden genomen. Ook het effect van de maatregelen kan niet worden beoordeeld zonder metingen.

Omdat geluid gekarakteriseerd wordt door een aantal variabelen kan geluid op verschillende manieren worden gemeten. Er moet daarom grote zorgvuldigheid worden betracht bij het kiezen van de meetmethode en de interpretatie van de resultaten. Het geluidsniveau dat van een geluidsniveaumeter wordt afgelezen geeft niet altijd voldoende informatie om de schadelijkheid voor het gehoor te beoordelen of om als basis voor een lawaai bestrijdingsprogramma te dienen.

Om geluidmetingen in ingewikkelde situaties te kunnen uitvoeren zijn zowel een speciale opleiding als ervaring noodzakelijk. In eenvoudige gevallen echter is een gewone geluidsniveaumeter geschikt en kunnen relatief eenvoudige meetmethoden worden toegepast.

5.1 HET DOEL VAN GELUIDMETINGEN

Er zijn veel verschillende redenen om geluidmetingen in de industrie te verrichten. De meest voorkomende zijn:

- om te bepalen of geluidsniveaus schadelijk voor het gehoor kunnen zijn. Arbeidsplaatsen waar equivalente geluidsniveaus van meer dan 80 dB(A) heersen gedurende een 8-urige werkdag moeten nader worden onderzocht;
- om een basis te hebben voor het uitvoeren van lawaai bestrijdingsmaatregelen aan machines, gereedschappen en/of werkzaamheden;
- om geluidafstraling van een enkele machine vast te stellen, bijvoorbeeld om deze waarde te vergelijken met de door de fabrikant opgegeven waarde;
- om na te gaan of het geluidsniveau van een bepaalde geluidbron geen hinder in de omgeving (woonwijk) zou kunnen veroorzaken.

De geluidmeetinstrumenten en meetmethoden moeten voldoen aan bepaalde eisen. Deze eisen kunnen betrekking hebben op meetinstrumenten en meetmethoden voor geluid van verschillende typen machines, schattingen van de hinder en schadelijke effecten van geluid. Ze zijn vastgelegd in een groot aantal nationale en internationale normen.

De belangrijkste internationale normen zijn die van de "International Electrotechnical Commission" (IEC) en van de "International Organization for Standardization" (ISO). De IEC houdt zich voornamelijk bezig met het ontwerp en de constructie van meetinstrumenten, de ISO concentreert zich op meettechniek, meetomstandigheden, meetgrootheden, en toetsing van meetresultaten aan referentiewaarden. Veel van deze normen worden in de nationale normen overgenomen. In Nederland worden deze uitgegeven door het Nederlands Normalisatie Instituut (NNI) te Delft.

5.2 MEETMETHODEN

Het doel van de meting bepaalt de meetmethode.

- Om vast te stellen of op een arbeidsplaats schadelijke geluidniveaus voorkomen kan gedurende een bepaalde tijd afhankelijk van het geluidpatroon het equivalent geluidniveau op deze arbeidsplaats worden gemeten ter hoogte van het oor van de werknemer. Ligt de arbeidsplaats vast ten opzichte van de bron dan kan worden volstaan met een plaatsgebonden meting. Meestal is dit niet het geval en zal men een werkzaamheidsgebonden meting moeten verrichten, dat wil zeggen dat men gedurende de werkzaamheid het equivalent geluidniveau bij het oor van de werknemer meet. Het begrip werkzaamheid kan heel ruim worden opgevat. Heeft men het equivalent geluidniveau over een hele werkdag op deze wijze bij een werknemer bepaald en zijn deze werkzaamheden representatief geweest voor een langere periode dan spreekt men van expositieniveau.

Uitgebreide meetmethoden voor de beoordeling van schadelijk lawaai op de arbeidsplaats en voor het vaststellen van het geluidexpositieniveau van (groepen) werknemers zijn beschreven in [4] en [5].

- In een fabriekshal waar geluidbronnen zijn met een constante geluidsterkte die continu in bedrijf zijn is het mogelijk een lawaaikaart samen te stellen. Hiertoe wordt de fabrieksvloer in een aantal vierkanten verdeeld.

De grootte van de vierkanten is min of meer afhankelijk van de grootte van de geluidbronnen; gedacht moet worden aan vierkanten van enkele meters (4 à 6 m) breed. Hoe kleiner de vierkanten des te nauwkeuriger kan de lawaaikaart gemaakt worden. In het midden van ieder vak (of op de snijpunten) wordt het geluidniveau bepaald. Het betreft hier uiteraard plaatsgebonden metingen. Punten met gelijke geluidniveaus kunnen nu op een plattegrond worden aangegeven en met elkaar verbonden worden. Zo kan bijvoorbeeld aangegeven worden in welke delen van een fabriek het geluidniveau meer dan 80 dB(A) bedraagt.

Het vervaardigen van een lawaaikaart is een tijdrovende zaak en men dient erop te letten dat alle metingen onder dezelfde condities worden verricht.

Zoals eerder vermeld kan een lawaaikaart alleen gemaakt worden wanneer men te maken heeft met geluidbronnen met een constante geluidsterkte die continu in bedrijf zijn. Over het algemeen is dit echter niet het geval. Het maken van een lawaaikaart is dan niet mogelijk.

- Om de totale geluidstraling (geluidemissie) van een bron, bijvoorbeeld een machine, te beschrijven is het geluidniveau in dB(A) geen geschikte maat omdat deze afhankelijk is van de afstand tussen bron en ontvanger (meetinstrument), alsmede van de omgeving waarin de metingen worden verricht (reflecties).

Een grootte die onafhankelijk is van deze omgevingsfactoren is het geluidvermogeniveau.

Deze maat wordt dan ook vaak toegepast om:

- bij benadering het geluidniveau te berekenen op een bepaalde afstand van de bron en onder bepaalde omgevingscondities;
- gelijksoortige machines onderling te vergelijken;
- te controleren of machines aan bepaalde geluidspecificaties voldoen;
- de isolatie te berekenen voor een omkasting of scherm ten behoeve van lawaai bestrijding;

- bij de ontwikkeling van stillere machines als hulpmiddel te dienen.

Het geluidvermogeniveau kan bepaald worden in het vrije veld of in het nagalmveld (diffuse veld) (zie § 2.10). In een zestal ISO documenten (ISO 3741 t/m 3746) worden meetmethoden voorgeschreven voor toepassing onder verschillende omstandigheden. De keuze voor een bepaalde methode wordt onder meer bepaald door de meetomgeving (vrije- of diffuse veld), de grootte van de bron en het karakter van het geluid (tonaal of ruisachtig).

In [15] worden meetprocedures beschreven die op deze documenten gebaseerd zijn.

- De akoestiek van een vertrek is afhankelijk van de aanwezige hoeveelheid absorptie (A). Deze kan worden berekend uit de nagalmtijd (T in seconden) en het volume van het vertrek (V in m³) volgens de formule van Sabine: $A = 0,16 \times (V/T)$.

De absorptie is frequentie-afhankelijk en wordt dan ook per octaafband berekend. De nagalmtijd is gedefinieerd als de tijd die nodig is om het geluidniveau 60 dB in niveau te doen afnemen. De nagalmtijd kan worden gemeten door het in octaafbanden gefilterde geluidniveau op een schrijver te registreren. Als geluidbron kan een alarmpistool of een (in octaafbanden gefilterde) ruisbron dienen.

Als men de hoeveelheid absorptie kent kan men nagaan of het aanbrengen van extra absorptie ten behoeve van lawaai bestrijding zinvol is.

- Als een geluidbron teveel lawaai maakt zal men het geluid ervan willen verminderen. Door een geluid(vermogen)niveaumeting te verrichten kan men berekenen hoeveel dB het geluidniveau moet afnemen, met andere woorden hoeveel dB de isolatiewaarde moet zijn van een omkasting of scherm. Ook kan men nagaan of de geluidvermindering door middel van het aanbrengen van extra absorptiemateriaal kan worden bereikt. Hiertoe dient wel de aanwezige hoeveelheid absorptie bekend te zijn (nagalmtijdmeting).

Omdat isolatie-eigenschappen van materialen en constructies, evenals absorptie-eigenschappen, frequentie-afhankelijk zijn wordt de isolatie van een constructie ook in octaafbanden (of tertsbanden) gemeten en berekend.

5.3 APPARATUUR

Het meest toegepaste meetinstrument bij geluidmetingen is een geluidniveau-meter. Deze meter bepaalt het momentane geluiddrukkniveau. Over het algemeen kan men naar keuze het geluiddrukkniveau wegen met een A-filter, soms is ook een octaafbandfilter ingebouwd. Is dit niet het geval dan kan men vaak wel een octaafbandfilter, tertsbandsfilter of smalle bandsfilter aansluiten.

Ook kan men meestal de tijdconstante kiezen: "slow, fast, impulse" of "peak". De tijdconstante bepaalt de snelheid waarmee de meteruitslag het signaal volgt. Door snelfluctuerend geluid op de stand "slow" te meten is de meter redelijk goed af te lezen. De pieken (en dalen) van het geluid worden min of meer uitgemiddeld en in feite dus niet goed gemeten. Hiertoe moet men dan een lagere tijdconstante kiezen: bijvoorbeeld: "fast" of "peak". Wil men een fluctuerend geluidniveau over langere tijd correct meten dan moet een integrerende geluidniveau-meter gebruikt worden (zie ook § 2.5). Bij equivalente geluidniveau-meters is de meettijd vaak vooraf instelbaar.

Aan geluidniveau-meters worden door de IEC [16] eisen gesteld ten aanzien van de meettoleranties.

Voor de bepaling van het expositieniveau van een werknemer kan ook een geluidexpositiemeter (of dosimeter) worden gebruikt. Zo'n meter wordt door de werknemer meege dragen. Er zijn verschillende uitvoeringen: op de eenvoudigste kan alleen de dosis worden afgelezen, die - als men de meettijd kent - kan worden omgerekend naar een equivalent niveau. De gemeten dosis is een percentage van de toegestane dosis (bijvoorbeeld 80 dB(A) over 8 uur). Wordt na 4 uur bijvoorbeeld 100% geregistreerd dan is de toegestane dosis bereikt, het equivalent geluidniveau over deze periode was dan 83 dB(A).

Er zijn ook meer uitgebreide dosimeters, waarmee bijvoorbeeld de equivalente geluidniveaus per minuut (of andere tijdseenheid) in een geheugen kunnen worden opgeslagen en naderhand worden uitgelezen. De opbouw van de totale geluidexpositie in de loop van de tijd is dan duidelijk waarneembaar. Bronnen of werkzaamheden die bepalend zijn geweest voor de ontvangen dosis kunnen worden aangewezen als men bijhoudt wanneer, waar en waarmee men bezig is geweest. Overigens is het altijd aan te bevelen alleen bewaakte dosimetrie uit te voeren, daar men anders niet weet of de meetresultaten betrouwbaar zijn.

Sommige dosimeters kunnen ook als (integrerende) geluidniveaumeter gebruikt worden.

Voor het registreren van nagalmtijden en het vastleggen van het verloop van het geluidniveau in de tijd is een niveauschrijver nodig. Over het algemeen zijn schrijfsnelheid van de pen en papiersnelheid instelbaar. De niveauschrijver wordt aangesloten op een (integrerende) geluidniveaumeter. Alle geluidmeetapparatuur moet voor aanvang van de meting op de goede werking gecontroleerd worden met behulp van een pistonfoon of ijkbron. Deze instrumenten geven een bekend geluidniveau af bij een bepaalde frequentie, meestal 94 dB bij 1000 Hz. Door zo'n instrument over de microfoon te schuiven kan het hele meetsysteem worden geijkt.

Voor ingewikkelde metingen en laboratoriumonderzoek zijn uiteraard nog andere meet- en analyse-instrumenten beschikbaar.

5.4 PRAKTISCHE WERKWIJZE BIJ GELUIDMETINGEN

Het doel van geluidmeten is betrouwbare, nauwkeurige en degelijke meetresultaten te verkrijgen die de geluidssituatie goed beschrijven. Om dit te bereiken wordt de volgende werkwijze aanbevolen:

- Alle instrumenten dienen vóór en bij voorkeur ook na de metingen te worden gecalibreerd.
- Beschrijf de meetinstrumenten en noteer de referentienummers.
- Maak een schets van de meetopstelling: positie van de geluidbron(nen), het meetpunt en plaatselijke reflecterende oppervlakken die de metingen kunnen beïnvloeden.
- Wanneer buiten wordt gemeten dienen de meteorologische condities genoteerd te worden: windrichting, windsterkte, temperatuur en vochtigheid.
- Meet het achtergrondniveau om te controleren of dit voldoende laag is om de meting niet te beïnvloeden of bepaal zonodig een correctiewaarde (zie ook § 2.6).
- Verricht de meting en noteer alle relevante instellingen van de apparatuur zoals: "A-weging", "fast" tijdconstante e.d.

- Noteer veranderingen in de instellingen, ongewone gebeurtenissen en andere relevante zaken.
- Wanneer een bandrecorder of een niveauschrijver wordt gebruikt; maak dan ter plaatse aantekeningen op de schrijverstrook of spreek bijzonderheden op de band in. Dit vergemakkelijkt het analyseren op een later tijdstip.

6. GELUID IN DE ARBEIDSSITUATIE

6.1 AANPAK VAN DE PROBLEMATIEK

Een belangrijk instrument voor het aanpakken van de lawaaiproblematiek is het opzetten en uitvoeren van gehoorbeschermingsprogramma's [13]. De belangrijkste elementen in zo'n programma zijn: voorlichting, vaststelling van de geluidssituatie, periodiek audiometrisch onderzoek, persoonlijke gehoorbescherming en een lawaaibestrijdingsprogramma.

Het doel van het beleid moet zijn een goede werkplek te scheppen zonder onveilige werkzaamheden of processen. Werkplekken moeten zo ontworpen zijn dat zij zowel uit het oogpunt van gezondheid als uit veiligheidsoogpunt geen risico's opleveren. In dit verband betekent gezondheid dat lawaai beneden een zodanig niveau wordt gehouden dat geen gehoorbeschadiging kan ontstaan.

Met dit gegeven is het belangrijk te weten dat het in bijna alle gevallen mogelijk is reeds in de planfase van een nieuw produktieproces of een nieuwe fabriek, of bij vervanging van bestaande machines geluid te reduceren.

In bestaande fabrieken en werkplaatsen kan vaak belangrijke geluidreductie worden verkregen met behulp van relatief eenvoudige methoden.

Een lawaaibestrijdingsprogramma houdt in hoofdlijnen het volgende in:

- *verrichten van aanvullende geluidmetingen op de daarvoor in aanmerking komende arbeidsplaatsen;*
- *per arbeidsplaats bepalen of het maximaal toelaatbare geluidniveau wordt overschreden;*
- *beschrijvingen van de te nemen maatregelen, uitvoeren van een kostenanalyse en bepalen van de te verwachten geluidreductie;*
- *stellen van prioriteiten om het gestelde doel te bereiken, inclusief een tijdplanning.*

In het algemeen heeft men alleen bij nieuwbouw, vernieuwing of uitbreiding de mogelijkheid rekening te houden met de geluidproduktie van machines of processen bij de plaatsing in de werkruimten.

In zo'n situatie kan vaak worden gekozen voor stillere machines, of stillere werkmethode. Bij plaatsing van nieuwe machines kan dan tevens aandacht worden besteed aan een goede isolatie of demping van de lucht- en contactgeluiden. Al deze maatregelen kunnen worden gerangschikt onder brongerichte maatregelen. Daarnaast zijn er de maatregelen gericht op de vermindering van geluid in de overdrachtsweg van de bron naar ontvanger. Hieronder wordt bijvoorbeeld verstaan het omkassen van een geluidbron, het plaatsen van de bron in een aparte ruimte of omgekeerd het plaatsen van het bedienend personeel in een cabine. Ook het aanbrengen van absorptie, het plaatsen van schermen en abris zijn op de overdrachtsweg gerichte maatregelen die het geluidniveau op de arbeidsplaats kunnen verlagen. Indien genoemde maatregelen niet mogelijk blijken of onvoldoende effect hebben, of zolang deze niet zijn uitgevoerd, kan worden overgegaan tot toepassing van gehoorbeschermingsmiddelen in de vorm van kappen, doppen, proppen en dergelijke. Dit moet echter altijd als een tijdelijke maatregel worden beschouwd.

Tenslotte kunnen de organisatorische maatregelen worden genoemd. Evenals de persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen geeft deze maatregel geen werkelijke verlaging van het geluidniveau op de arbeidsplaats, doch hiermee kan het expositieniveau van de werknemers in zeer geringe mate worden verlaagd. Het betreft bijvoorbeeld het inlassen van pauzes die in een rustige omgeving worden doorgebracht of het laten rouleren van werknemers over verschillende arbeidsplaatsen (lawaaige en stille). Ook een wijziging in de opstelling van de machines kan vaak tot expositievermindering leiden.

In figuur 12 zijn de maatregelen nog eens schematisch weergegeven.

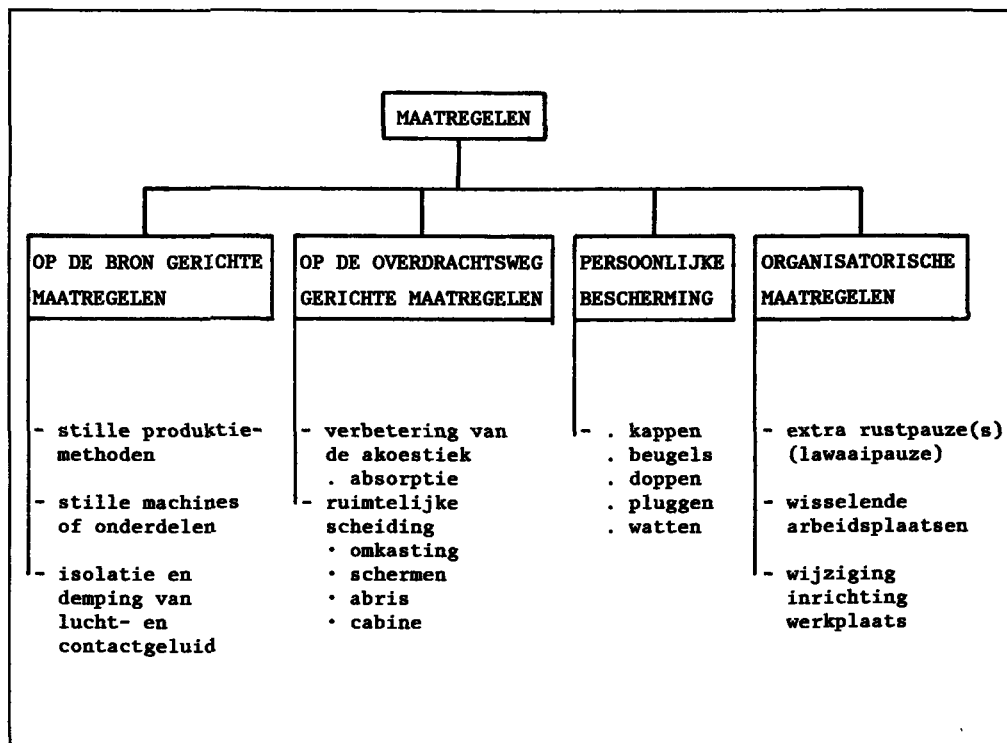
De volgende volgorde van aanpak heeft de voorkeur:

- *geluidbron*
- *overdrachtsweg*
- *persoonlijke bescherming.*

Wanneer de eerste twee categorieën de situatie onvoldoende hebben verbeterd of kunnen verbeteren, is men gedwongen persoonlijke gehoorbescherming te gebruiken [14].

Op persoonlijke gehoorbescherming en organisatorische maatregelen zal verder niet worden ingegaan.

Figuur 12 Diverse maatregelen bij lawaaibestrijding.



6.2 EEN LAWAAIBESTRIJDINGSPROGRAMMA

Alle lawaaibestrijdingsmaatregelen moeten ten doel hebben een bepaalde geluidreductie te bereiken:

Voor ieder(e) machine(onderdeel) of arbeidsplaats moet een hoogst toelaatbaar niveau worden vastgesteld. De voorbeelden in onderstaande tabel kunnen als richtlijn worden beschouwd voor toelaatbare geluidniveaus in fabrieken en bedrijven. Het is niet zo dat hieraan in alle gevallen altijd moet worden voldaan, maar er moet naar worden gestreefd genoemde niveaus na verloop van een zekere tijd te bereiken. Daarna kan worden bezien of een verdere verlaging mogelijk is.

Tabel Richtwaarden voor toelaatbare geluidniveaus in de werkomgeving

type vertrek	toelaatbaar geluidniveau in dB(A)
vergaderzaal	< 35
kantoor, conferentieruimte	40 - 50
laboratorium, meet- of controlekamer, kantine	45 - 55
verkleedkamer, werkplaats kantoor	55 - 60
reparatiewerkplaats, werkplaats met communicatie	60 - 70
produktiehal	70 - 80
compressorruimte (onbemand)	90

Voor arbeidsplaatsen met speciale of bijzonder ernstige geluidproblemen kan het gunstig zijn het probleem gefaseerd aan te pakken en het na te streven geluidniveau na iedere voltooide fase verder te verlagen.

Door de bestaande geluidssituatie systematisch in kaart te brengen, kan een goed beeld van de geluidsterkte en de verdeling ervan op de werkplaatsen worden verkregen. Om in een situatie waarin zich moeilijke geluidproblemen voordoen een lawaaibestrijdingsplan te kunnen opstellen en uitvoeren, is het nodig gedetailleerde geluidmetingen te verrichten. Lawaai komt meestal van een groot aantal bronnen (machines in een produktiehal) en van achtergrondgeluid (van ventilatie, compressoren enz.) dat ook van buiten de beschouwde ruimte kan komen. Wanneer men zich een oordeel wil vormen over het risico op gehoorschade op een werkplek, moeten alle bronnen die normaal in werking zijn, ook tijdens de geluidmetingen in werking zijn. Anderzijds, wanneer gefundeerde beslissingen moeten worden genomen over lawaaibestrijdingsmaatregelen, moet iedere machine en iedere werkzaamheid apart worden gemeten. Op deze wijze moet ook de machine of de werkzaamheid die het meeste lawaai maakt worden opgespoord.

Op basis van de aldus verzamelde gegevens kan worden beoordeeld waar lawaaibestrijding nodig en mogelijk is. Achtergrondgeluid draagt vaak aanzienlijk bij tot het totale geluidniveau. Telkens wanneer er een lawaaibron in een werkplaats bij komt neemt het algemene geluidniveau in zekere mate toe.

Wanneer lawaaibestrijdingsmaatregelen worden voorgesteld, is het belangrijk deze te bespreken met de veiligheidsfunctionaris en de andere betrokken werknemers. Gewoonlijk hebben zij goede kennis van de produktiemethoden en de machines en vaak kunnen zij goede ideeën aandragen voor de praktische uitvoering.

Om in de gegeven omstandigheden de meest optimale lawaaibestrijdingsmaatregelen te kiezen is een lijst van de diverse mogelijkheden nodig. Ook moeten de kosten worden afgewogen tegen de niveaureductie die een maatregel kan opleveren en het aantal mensen dat ervan profiteert.

Elke mogelijke maatregel moet worden beschreven met eenvoudige schetsen, waarop onder andere bijvoorbeeld moet worden aangegeven:

- Veranderingen aan machines, die geluidvermindering opleveren.
- Wijzigingen aan machines om slaan, botsen en stoten in machines en tijdens transport van materialen te voorkomen.
- Omkasting van lawaaiige machines of machine-onderdelen.
- Plaatsing van dempers in gas- en luchtuitlaten en ventilatiekanalen.
- Plaatsing van geluidabsorberende schermen en montage van baffles.

Voordat een beslissing over de te nemen actie wordt genomen, verdient het aanbeveling bij de leverancier informatie in te winnen over materialen en kosten.

Er zijn verschillende factoren die de keuze voor een bepaalde lawaaiestrijdingsmaatregel kunnen beïnvloeden, te weten:

- De hoogte van het geluidniveau op de arbeidsplaats (de eerste prioriteit is het lawaai te reduceren tot een niveau waarbij geen gehoorschade meer kan ontstaan).
- Praktische problemen bij de uitvoering van het werk (planning, onderhoud e.d.).

- Het aantal personen dat voordeel heeft van de verbeteringen.
- De kosten die met de maatregelen gepaard gaan.
- De te verwachten geluidreductie.

In het algemeen weegt het geluidniveau op de arbeidsplaats het zwaarst. Bij gelijke niveaus op verschillende plaatsen is het aantal werknemers dat baat heeft bij de maatregel beslissend.

Het kan ook voorkomen dat een groep werknemers, die aan lagere geluidniveaus worden blootgesteld dan een andere groep toch een hogere prioriteit krijgt bij de uitvoering van een lawaaibestrijdingsprogramma, bijvoorbeeld omdat er een veel groter aantal werknemers met een bepaalde maatregel geholpen is of doordat bepaalde maatregelen veel goedkoper of eenvoudiger uit te voeren zijn.

Wanneer een aantal projecten is gepland is het opstellen van een tijdschema noodzakelijk. Ook is een plan noodzakelijk om te bepalen wanneer machines uit de produktie moeten worden genomen vanwege onderhoud of vervanging, wanneer absorptie kan worden aangebracht, wanneer personeel kan worden vrijgemaakt om de maatregelen uit te voeren (wanneer dit in eigen beheer wordt gedaan) enz.

Het is vaak moeilijk om al deze zaken tegen elkaar af te wegen, maar langetermijnplanning moet ertoe bijdragen dat er uiteindelijk op alle arbeidsplaatsen goede werkomstandigheden zijn.

7. ACHTERGRONDEN EN METHODEN VAN LAWAAIBESTRIJDING

Nadat in het kort beschreven is hoe geluid kan ontstaan (§7.1), wordt in algemene termen in een aantal paragrafen puntsgewijs algemene lawaaibestrijdingsmaatregelen genoemd. De onderwerpen per paragraaf zijn:

- Bestaande situaties (§ 7.2)
 - Bestrijding aan de bron
 - Maatregelen in de overdrachtsweg
- Nieuwe situaties (§ 7.3)

7.1 ONTSTAANSMECHANISMEN VAN GELUID

Bij de bestrijding van geluid moet men zich altijd realiseren dat geluid zich zowel door de lucht als door constructies (contactgeluid, trillingen) voortplant. Bijna alle geluidbronnen veroorzaken tegelijkertijd zowel luchtgeluid als contactgeluid.

Om een goed resultaat te bereiken, zal vaak een aantal verschillende lawaaibestrijdingsprincipes moeten worden gehanteerd. In het laatste hoofdstuk zijn enkele lawaaibestrijdingstechnieken beschreven die met goed gevolg in diverse industrieën zijn toegepast.

Alvorens zich met de bestrijding van lawaai bezig te houden, is het van belang te weten hoe lawaai ontstaat.

De in deze paragraaf genoemde voorbeelden worden in hoofdstuk 8 verder uitgewerkt.

7.1.1 Direct aangestoten luchttrillingen

De omgevingslucht wordt direct aangestoten, wanneer door bewegingen van machine-onderdelen luchttrillingen worden opgewekt.

Dit is onder andere het geval bij de volgende soorten processen:

- *Pulserende verdringing van de lucht die de geluidbron omgeeft. Voorbeelden hiervan zijn vliegtuigpropellers, ventilatoren en het aanzuig- respectievelijk uitlaatgeluid van verbrandingsmotoren.*

- *Turbulente gasstromen, rond obstakels of vrij uitstromend in de omgevingslucht. Voorbeelden: Stromingsgeluid in ventilatiekanalen, persluchtpistolen, windgeluid om auto's.*
- *Bij processen waarbij warmte wordt opgewekt, treden plotselinge volumevergrotingen op, die weer zorgen voor overeenkomstige drukwisselingen. Het geluid van branders komt op deze wijze tot stand evenals de geluiden die gepaard gaan met explosies en elektrische ont-ladingen.*

7.1.2 Indirect aangestoten luchttrillingen

In een machine of installatie kunnen door allerlei oorzaken trillingen worden opgewekt, die via de constructie worden overgedragen op het oppervlak. Dit oppervlak kan vervolgens de trillingen als geluid naar de omgeving afstralen.

Aan het ontstaan van trillingen kunnen vele oorzaken ten grondslag liggen. De belangrijkste daarvan worden hieronder nader genoemd:

- *Turbulente gas- of vloeistofstromen in leidingsystemen. Deze treden vooral op bij regelkleppen, afsluiters, meetflenzen e.d.*
- *Cavitatie in vloeistofleidingen. Dit verschijnsel doet zich vooral voor bij plotselinge drukverlaging in het leidingsysteem, bijvoorbeeld achter een afsluiter of in een plotselinge diameterverkleining. Er vormen zich dan dampbellen, die na korte tijd imploderen. Daarbij treden schokgolven op in de vloeistof, die als trillingen op de leidingwanden worden overgedragen.*
- *Drukwisselingen, zoals bij verbrandingsmotoren, compressoren en hydraulische installaties.*
- *Massakrachten in de vorm van onbalans in roterende machinedelen of heen en weer bewegende sleden e.d.*
- *Wisselkrachten ten gevolge van niet-continue krachtoverbrenging, zoals bij tandwielaandrijvingen of bij lagers met te veel speling.*
- *Magnetische krachten in elektromotoren, generatoren en transformatoren.*

- *Het op elkaar botsen van machine-onderdelen, bijvoorbeeld bij persen of meeneemmechanismen, of het rammelen van metalen delen tegen elkaar.*
- *Snijkrachten bij verspanende bewerkingen.*
- *Vervormingskrachten bij bepaalde bewerkingen, zoals smeden, klinken, hameren of persen.*

7.2 LAWAAIBESTRIJDING IN BESTAANDE SITUATIES

7.2.1 Bestrijding aan de bron

7.2.1.1 Veranderingen aan machines en werktuigen

Om lawaaibestrijdingsmaatregelen effectief te kunnen uitvoeren moet met veel belangrijke factoren rekening worden gehouden:

- Welke machine of machines moeten stiller worden gemaakt?
- Hoe wordt de machine bediend?
- Wordt onderhoud en het uitvoeren van reparaties erdoor moeilijker?
enzovoort.

In veel gevallen is verbetering (zie ook [7]) mogelijk door:

- *slaan, botsen en ratelen van machine-onderdelen te voorkomen of te verminderen;*
- *terugkerende bewegingen geleidelijk af te remmen;*
- *waar mogelijk, metalen (onder)delen door stillere van plastic, nylon of samengestelde onderdelen te vervangen;*
- *bijzonder lawaaiige onderdelen of processen plaatselijk te omkassen.*

Nieuwe machines en processen kunnen door de fabrikant vaak worden verbeterd met behulp van bovengenoemde technieken, maar ook met de mogelijkheid tot ingrijpendere veranderingen. Zo kan er bij de fabrikant op worden aangedrongen om:

- *krachtbronnen en overbrengingen te kiezen die een rustige snelheidsregeling mogelijk maken, bijvoorbeeld traploos regelbare elektromotoren;*
- *trillingsbronnen in de machine te isoleren;*
- *ervoor te zorgen dat beplatingen en inspectieluiken op machines stijf en goed gedempt zijn;*
- *machines van goed gedimensioneerde koelribben te voorzien, zodat geforceerde luchtkoeling ontstaat en daarmee ventilatoren overbodig worden.*

De geluidproduktie van bestaande machines kan, soms met eenvoudige maatregelen, vaak net zo ver worden teruggebracht als van nieuwe machines, bijvoorbeeld door:

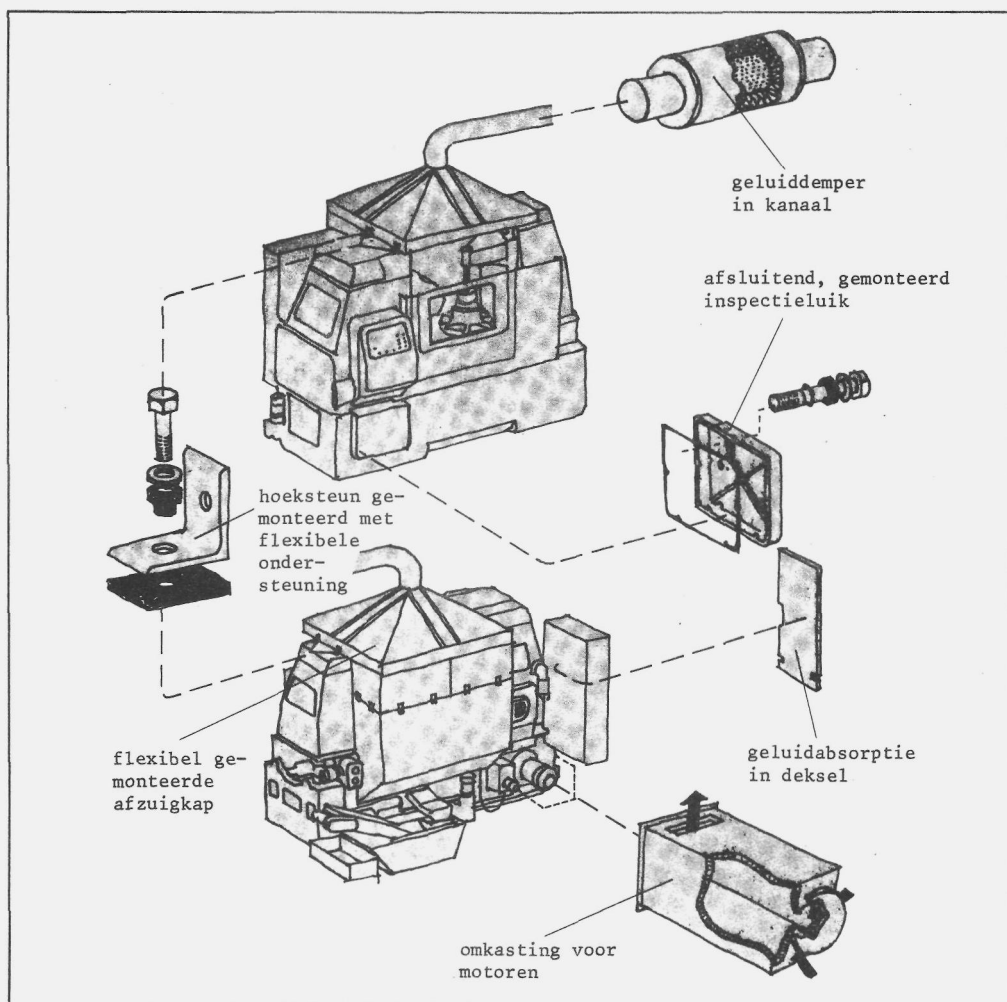
- *persluchtuitlaten van dempers te voorzien;*
- *de pomp van een hydraulisch systeem te vervangen door een stiller type;*
- *op een stiller type ventilator over te gaan of geluiddempers in de ventilatiekanalen op te nemen;*
- *lawaaiige persluchtmondstukken te vervangen door stillere typen.*

In een nieuwe fabriek kan men zelfs verder gaan door:

- *stillere elektrische motoren en overbrengingen te installeren;*
- *hydraulische systemen met speciale verstijfde olietanks te kiezen;*
- *dempers in de leidingen van een hydraulisch systeem te monteren;*
- *leidingen zodanig te dimensioneren dat de stroomsnelheid niet hoger is dan 5 m/s;*
- *ventilatiekanalen van geluiddempers te voorzien om geluidoverdracht van lawaaiige vertrekken naar rustige vertrekken via het kanalenstelsel te voorkomen.*

In figuur 13 is een aantal van bovengenoemde maatregelen in beeld gebracht.

Figuur 13 Illustratie van een aantal genoemde maatregelen op een machine (pers).



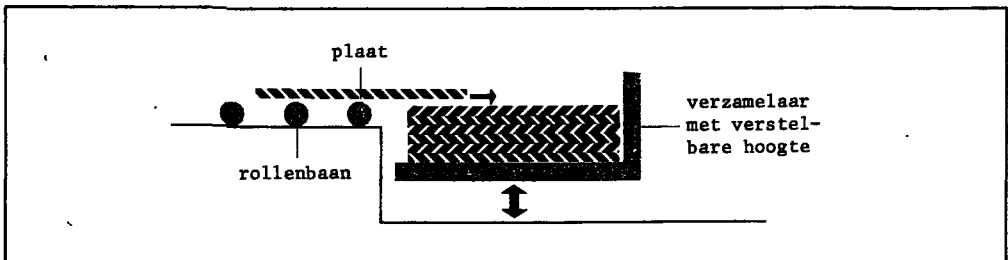
7.2.1.2 Intern materiaaltransport

Het geluid dat ontstaat als gevolg van intern materiaaltransport kan in bestaande situaties worden verminderd door tijdens het transport botsingen tussen de materiaaldelen onderling of tegen geluidafstralende oppervlakken zoveel mogelijk te vermijden. Dit kan worden bereikt door:

- de valhoogte van produkten die in dozen en containers worden opgevangen zo klein mogelijk te houden (zie figuur 14);

- panelen die door materiaal of het werkstuk worden aangestoten te verstijven en te dempen met trillingdempend materiaal;
- harde stoten en schokken te absorberen door middel van slijtvast rubber of plastic bekleding.

Figuur 14 Plaatmateriaal dat van een rollenbaan in een container valt, hetgeen impulslawaai veroorzaakt. Door gebruik te maken van een in hoogte verstelbare tafel kan de valhoogte zo klein mogelijk worden gemaakt.



Bij aanschaf van nieuwe transportsystemen dienen systemen overwogen te worden die materialen en producten stil en gelijkmatig transporteren door:

- transportbanden te kiezen in plaats van rollen; rollenbanen hebben het nadeel meer te rammelen;
- de snelheid van transportbanden onder controle te houden zodat de te transporteren hoeveelheid materiaal continu is. Dit voorkomt stoppen en starten, hetgeen over het algemeen gepaard gaat met lawaai van trillingen en stoten van het getransporteerde materiaal.

7.2.2 Maatregelen in de overdrachtsweg

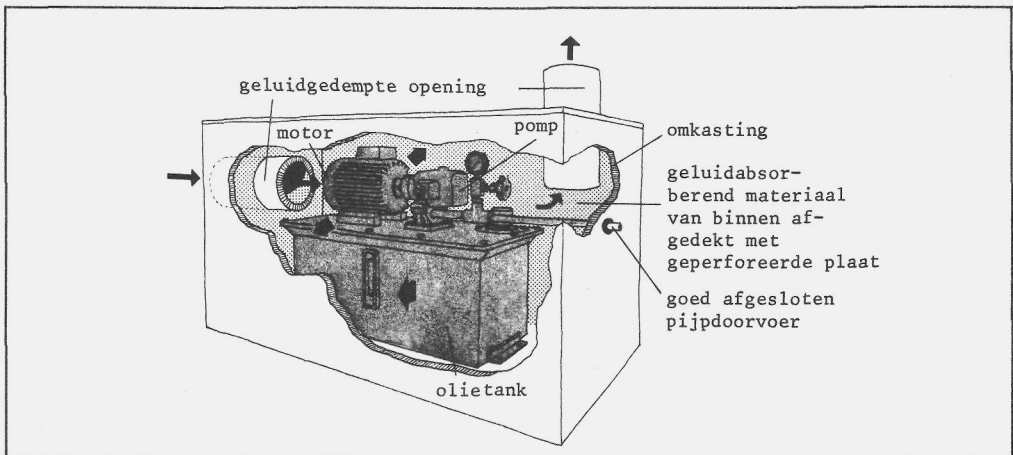
7.2.2.1 Omkasting

Wanneer het niet mogelijk is het geluid aan de bron te voorkomen of te reduceren, kan het noodzakelijk zijn de gehele machine te omkasten (zie bijv. figuur 15). De omkasting voldoet alleen wanneer de volgende regels in acht worden genomen:

- Gebruik een dicht materiaal, bijvoorbeeld metalen panelen, voor de buitenkant.

- Voorzie het binnenoppervlak van een geluidabsorberend materiaal, bijvoorbeeld minerale wol, schuimrubber of polyurethaanschuim. Een relatief eenvoudige, sluitende omkasting van dit type kan het geluidniveau verlagen met 15 tot 20 dB(A).
- Voorzie de omkasting van inspectieluiken, die gemakkelijk te openen zijn wanneer dit nodig is voor handelingen of onderhoud en die ook gemakkelijk weer te sluiten zijn. Voorkom kier en spleten bij bewegende delen, doorvoeren en bij aansluitingen op de vloer, plafond of wanden.
- Zorg ervoor dat de omkasting niet in contact staat met trillende machine-onderdelen.

Figuur 15 In de omkasting van een hydraulisch systeem moeten geluiddempende ventilatieopeningen zijn aangebracht. Zowel geluid als warmte worden door de motor, de pomp en de olietank opgewekt. Ook moet een goed sluitend inspectieluik zijn aangebracht.

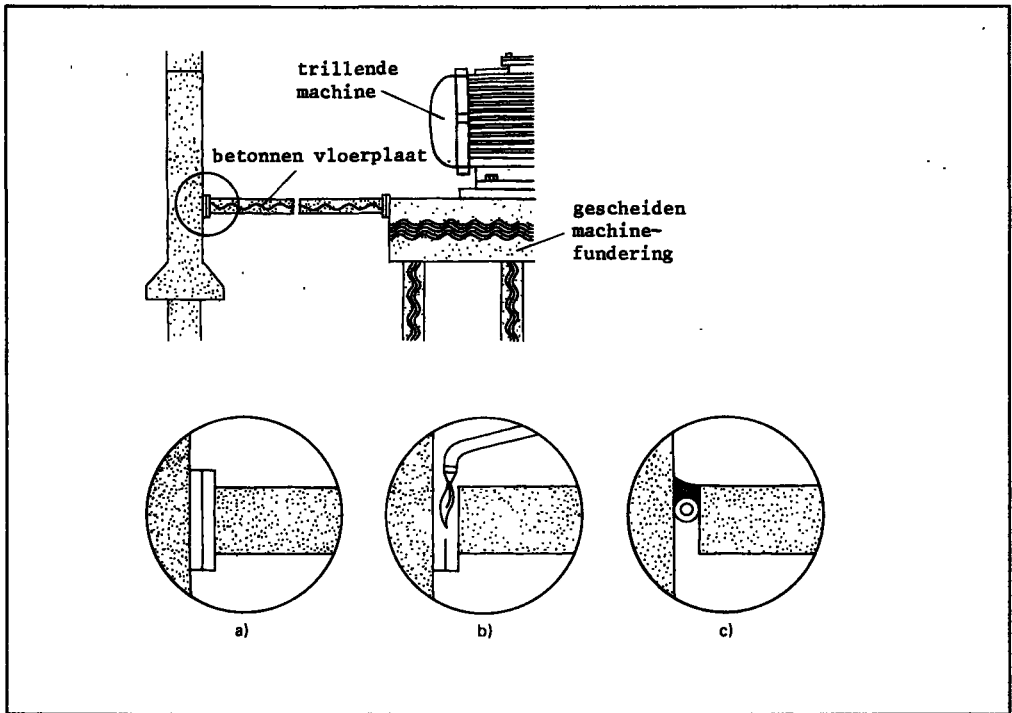


7.2.2.2 Verzwakking van contactgeluid

Een typische oorzaak van trillingen in een machine is het ratelen door slijtage of door het verliezen of losraken van bouten en moeren. In dit geval is het relatief eenvoudig om de intensiteit van het contactgeluid te verminderen door reparatie en/of vernieuwing. Anderzijds is het erg moeilijk om trillingen van een werkende machine in goede staat te verminderen. Het is vaak mogelijk om contactgeluid te verminderen door de overdracht van trillingen van machines naar de dragende constructie van het gebouw te voorkomen door:

- de machine trillingsvrij op te stellen door middel van stijve of gescheiden frames op een zware fundering met een elastische scheiding van bijvoorbeeld rubberen blokken of stalen veren;
- grote zware machines, die niet effectief trillingsvrij kunnen worden opgesteld, op speciale machinefunderingen te plaatsen die op hun beurt volledig zijn gescheiden van het gebouw (zie ook figuur 16);
- voor trillingsvrije machinepanelen te zorgen om de uitstraling van contactgeluid zo klein mogelijk te houden. Panelen moeten elastisch zijn gemonteerd op het machineframe, waardoor de voortplanting van trillingen wordt gereduceerd. Ook kunnen panelen worden voorzien van een speciaal dempingsmateriaal.

Figuur 16 Hevig trillende machines hebben een gescheiden fundering en isolerende voegen tussen de vloeraansluitingen nodig om de voortplanting van trillingen te voorkomen. In dit geval worden twee voegen gebruikt voor een effectieve scheiding.



- a. Voordat de vloer wordt geplaatst, wordt een dikke plastic laag (schuim) aangebracht in alle voegen tussen de vloer en de rest van het gebouw en tussen het fundatieblok en de vloer.
- b. Nadat de vloer is aangebracht wordt het schuim verwijderd, de voeg geïnspecteerd en zonodig schoongemaakt. Er mogen zich geen bruggen tussen de twee constructies bevinden. Een brug is een mechanische verbinding, bijvoorbeeld van stenen, die de isolatie kortsluit.
- c. De voeg wordt daarna gevuld met plastisch blijvend materiaal, bijvoorbeeld een synthetisch rubberen slang, en geheel afgesloten met een elastische kit.

7.2.2.3 Geluidvermindering door gebruik van absorptie

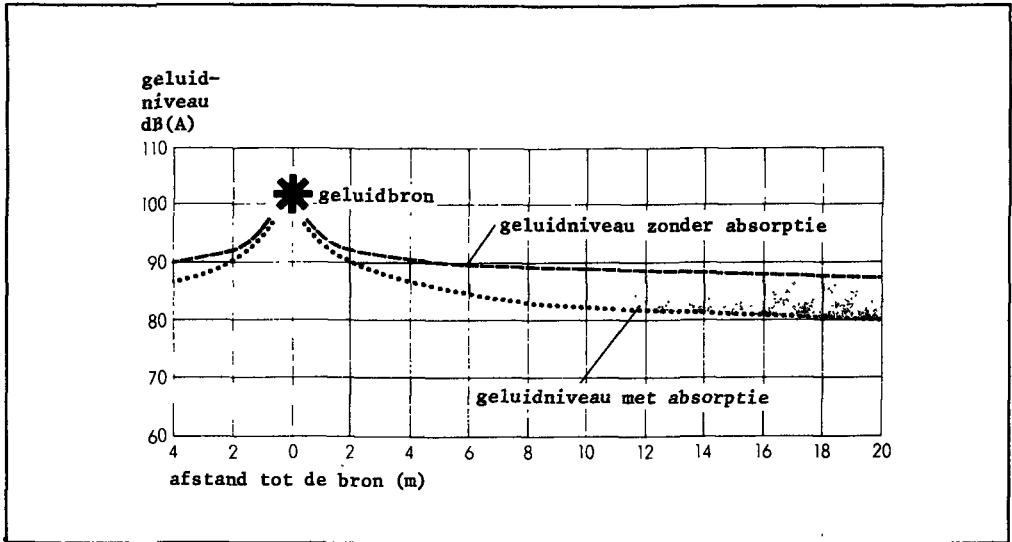
In een werkplaats of fabriek waar harde materialen zijn gebruikt voor het plafond, de wanden en de vloer, wordt bijna alle geluid dat deze oppervlakken bereikt teruggekaatst (gereflecteerd).

In een ruimte neemt het geluidniveau van een machine eerst relatief snel af en blijft daarna ongeveer constant wanneer de afstand tot de machine wordt vergroot. Dit komt omdat het geluid zich in de nabijheid van de machine gedraagt als in het vrije veld. Op een bepaald punt wordt het geluidniveau van het gereflecteerde geluid (dat is het geluid van de bron dat door alle voorwerpen in het vertrek wordt teruggekaatst inclusief de reflecties van de oppervlakken van het vertrek) hoger dan die van het directe geluid van die ene machine en gaat overheersen. Onder zulke omstandigheden kan het geluidklimaat worden verbeterd door:

- *aan het plafond effectief geluidabsorberend materiaal aan te brengen, bijvoorbeeld panelen ("baffles") van minerale wol, die het teruggekaatste geluid in het vertrek verminderen. Het gereflecteerde geluid kan op deze wijze op enige afstand van de geluidbron worden verminderd met 3 tot 5 dB(A) (zie figuur 17).*
- *goed absorberende plafonds en muren te monteren, bijvoorbeeld 100 mm dik absorptiemateriaal afgedekt met geperforeerde panelen. Deze kunnen het gereflecteerde geluidniveau met maximaal 8 dB(A) doen afnemen in een vertrek met aan de ene kant lawaaiige produktiemachines en aan de andere kant relatief rustig werk.
(Een afneming van 10 dB(A) wordt ervaren als een halvering van de luidheid van het geluid).*
- *plaatselijk absorptie toe te passen op wanden en plafond op de bedieningsplaats bij een lawaaiige machine, om plaatselijke reflecties te verminderen, waardoor het geluidniveau een paar decibel afneemt. Deze juist waarneembare verandering in het geluidniveau wordt ervaren als een verbetering door degene die de machine bedient.*

Met absorptie kunnen geluidbronnen worden gelokaliseerd en neemt het geluidniveau merkbaar af met de afstand van de bron. Wanneer de oppervlakken in een ruimte erg geluidreflecterend zijn (akoestisch hard), dan lijkt het geluid overal even luid te zijn en uit alle richtingen te komen.

Figuur 17 Het geluidniveau op verschillende afstanden van de bron in een ruimte zonder absorptie en in dezelfde ruimte nadat over een groot oppervlak aan het plafond absorptiemateriaal is bevestigd.



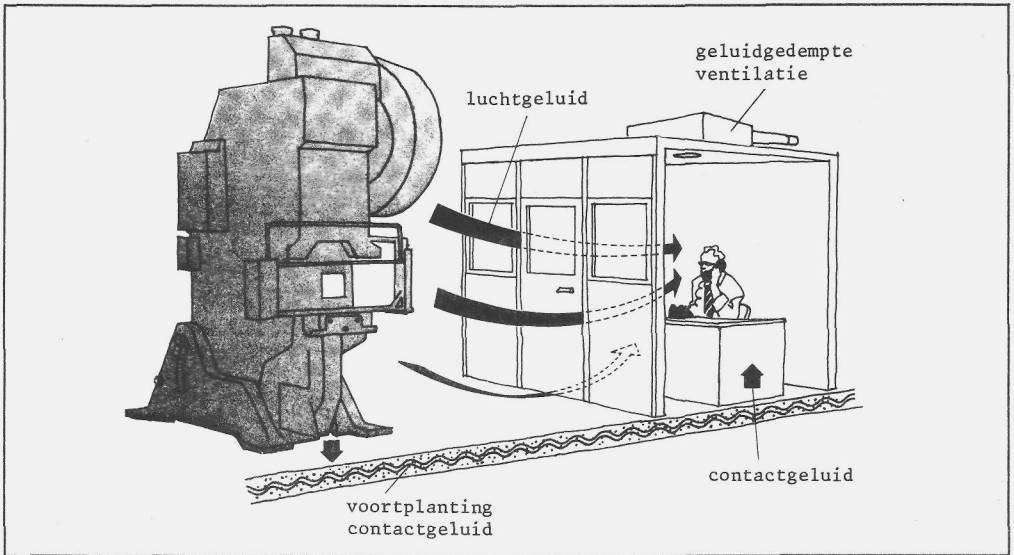
7.2.2.4 Geluidisolierende controlekamers (of cabines)

Tegenwoordige ontwikkelingen in de industrie gaan in de richting van automatisering van machines en processen, waarbij afstandbediening van het proces vanuit een controle- of bedieningskamer eenvoudiger wordt. Op deze wijze is het mogelijk de geluidexpositie van machinebedienden en procesopzichters te beperken tot korte perioden bij het starten, bij het onderhoud en bij reparatie van machines.

Enkele belangrijke vuistregels zijn:

- bouw controle- en bedieningskamers met goede geluidwerende eigenschappen;
- kies deur- en raamontwerpen die goed zijn afgesloten;
- voorzie ventilatie-openingen van geluiddempers en wees ervan verzekerd dat kabel- en pijpdoorvoeren goed zijn afgedicht;
- voorzie alle controlekamers in machine- en produktiehallen van goede ventilatie- en koelsystemen, anders bestaat het risico dat deuren geopend blijven om voldoende frisse lucht te kunnen krijgen waardoor alle pogingen om een goede geluidisolatie te bewerkstelligen worden ondermijnd (zie ook figuur 18).

Figuur 18 Geluidproblemen in controlekamers en werkplaatskantoren kunnen worden veroorzaakt door direct luchtgeluid (door kieren rondom deuren en ramen), of door voortplanting van contactgeluid. Vaak treden beide vormen tegelijk op.



7.3 LAWAAIBESTRIJDING IN NIEUWE SITUATIES

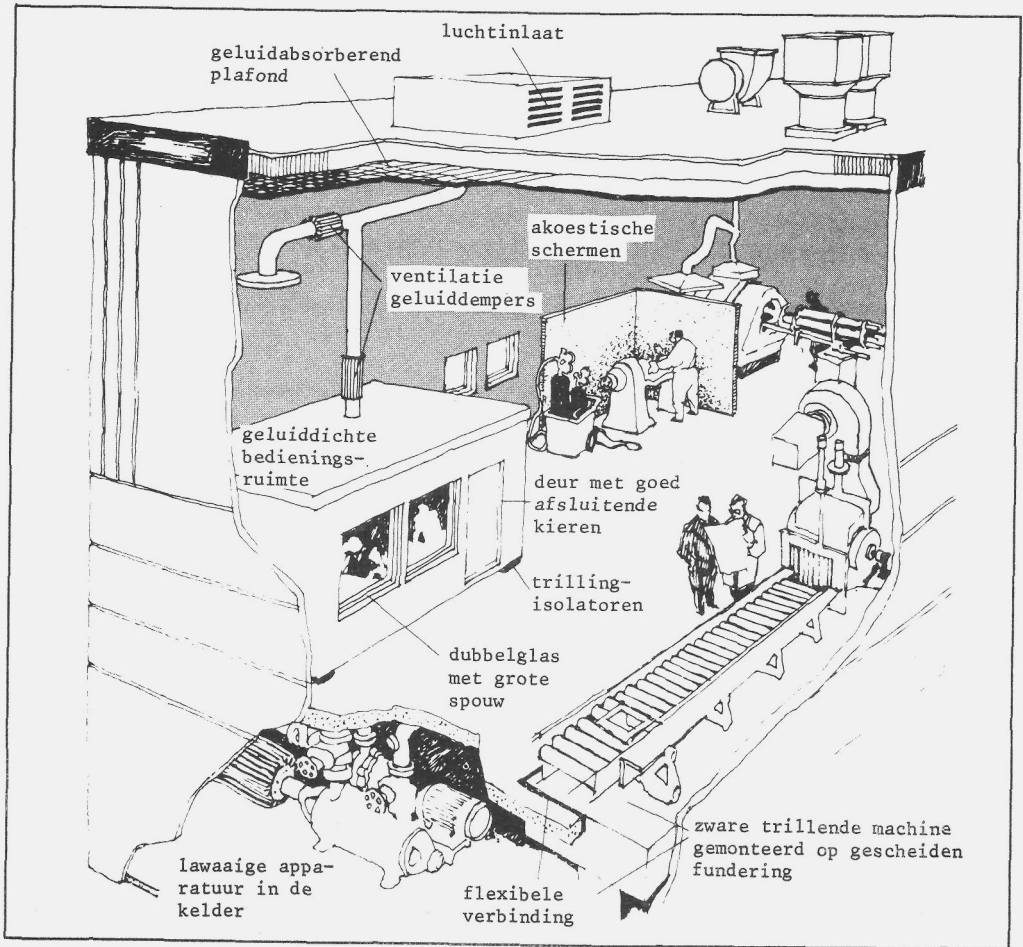
7.3.1 Algemeen

Er zijn veel betere mogelijkheden om goede akoestische condities te schep-
pen bij het ontwerp van nieuwe projecten. Wanneer de beste technieken wor-
den toegepast, is het goed mogelijk om lawaai van machines en processen
sterk te verminderen ten opzichte van oudere fabrieken.

Akoestische problemen dienen vanaf het begin van het ontwerpstadium van
een nieuw gebouw in oenschouw te worden genomen. Een voorbeeld geeft
figuur 19.

Wanneer zowel nieuwe installaties en machines als materiaalbewerkings-
methoden worden gekozen, dient tevens te worden overwogen of zij geluid-
hinder kunnen geven of erger: gehoorbeschadigend lawaai veroorzaken.
Voortdurende aandacht moet worden geschonken aan het stiller maken van de
processen en werkmethode, bijvoorbeeld door afstandsbediening in te
voeren. Werknemers kunnen dan een deel van de werkdag in relatief stillere
controle- en bedieningskamers doorbrengen.

Figuur 19 Een voorbeeld waarin typische lawaaibestrijdingsmaatregelen zijn getroffen in een fabrieksgebouw om de uitstraling van geluid zo gering mogelijk te houden.



In het ontwerpstadium van een nieuwe fabriek kan het vaak moeilijk zijn een geschikte basis voor de schatting van het geluidniveau te krijgen. Meetresultaten in gelijksoortige werkplaatsen en het gebruik van geluidgegevens van de machinefabrikant zijn nodig om de juiste beslissingen te nemen.

Hoewel de mogelijkheden tot lawaaibestrijding in het ontwerpstadium goed zijn, is het mogelijk dat goede akoestische condities niet altijd overal gerealiseerd kunnen worden. Op sommige plaatsen zullen ongewenste, hoge geluidniveaus blijven bestaan, omdat machine-ontwerpen en productieprocessen niet (onmiddellijk) kunnen worden veranderd.

Als regel geldt dat akoestische problemen op een groot aantal specialistische technieken betrekking hebben en geluidreductie vaak moeilijk te bereiken is zonder een uitgebreide kennis daarvan.

Bij meer ingewikkelde projecten en ingewikkelder geluidproblemen is het daarom noodzakelijk advies en hulp in te roepen van mensen met kennis en ervaring in de akoestiek.

7.3.2 Ontwerp van een nieuw gebouw of een nieuwe fabriek

De akoestisch belangrijke details van de dragende constructies van het gebouw moeten worden berekend en in een vroeg stadium worden vastgelegd, evenals de plaatsen waar wordt gewerkt. De maatregelen voor de lawaaibestrijding hangen in de eerste plaats af van de manier waarop de fabriek is ontworpen. Het constructie-ontwerp van het gebouw hangt vaak af van waar de machines worden geplaatst en van de noodzaak tot isolatie van lucht- en contactgeluid.

Enkele richtlijnen voor het ontwerp van een nieuwe fabriek zijn:

- *De dragende constructie van het gebouw, vloeren en machinefunderingen dienen zodanig te worden ontworpen dat alle geluidbronnen effectief trillingsvrij kunnen worden opgesteld. Zware machines vragen om stijve en zware funderingen, die niet in direct contact staan met de overige delen van het gebouw.*
- *Krachtige geluidbronnen dienen te worden ingesloten door constructies die een goede luchtgeluidisolatie hebben; deuren, inspectieluiken en andere bouwelementen waar geluidlekken kunnen ontstaan verdienen speciale aandacht.*
- *Ruimten waar geluidbronnen zijn en waar werknemers aanwezig zijn moeten worden voorzien van absorptiemateriaal aan het plafond (bij hoge plafonds ook absorptie langs de wanden). Geluidabsorptiekenmerken variëren sterk voor verschillende materialen, die daarom moeten worden gekozen aan de hand van de geluidkarakteristieken. Goede geluidabsorptie kan vaak worden gecombineerd met een goede thermische isolatie.*
- *Kantoorruimten dienen te worden gescheiden van die delen van het gebouw waar trillende machines zijn geïnstalleerd. Dit kan door middel van scheidingen met elastisch materiaal.*

- Muren en plafondconstructies, ramen en deuren en dergelijke moeten zodanig worden ontworpen dat de vereiste geluidisolatie wordt bereikt.
- Plaatsing van lawaaiige machines op lichte, verplaatsbare elementen moet altijd worden vermeden. Wanneer ventilatie voor koeling moet worden aangebracht op zo'n lichte ondergrond moet in ieder geval, bijvoorbeeld d.m.v. een verlaagd plafond, getracht worden voldoende trillingsisolatie te bereiken.
- In open kantoorruimten en grote vertrekken waar diverse kantoorwerkzaamheden worden verricht in hetzelfde vertrek, moet een goed geluid-absorberend plafond worden aangebracht, alsmede een zachte vloerbedekking. Er moet worden opgemerkt dat het zeer belangrijk is dat de geluidabsorptie ook effectief is bij lage frequenties. In dergelijke ruimten vinden vaak lawaaiige werkzaamheden plaats, zoals typen en printen.
- Bedieningsplaatsen en machines moeten zo worden gesitueerd dat het principe van de geluidreductie door afstandvergroting kan worden benut, dat wil zeggen dat er een zekere afstand moet zijn tussen lawaaiige en stille werkzaamheden. Zorg ervoor dat er voldoende ruimte is voor schermen, omkastingen en dergelijke. Ook door middel van deuren kan een afscherpende werking worden verkregen naar naburige vertrekken.
- Indien lawaaiig werk nabij een muur of ander reflecterend oppervlak wordt uitgevoerd, moet dit oppervlak met absorberend materiaal worden bekleed.
- Vaste installaties (ventilatie, koelsysteem enz.) moeten geluidarm worden geconstrueerd en zodanig gemonteerd dat geluid van ventilatoren en dergelijke zich niet via de kanalen en pijpen door het gebouw verspreidt.
- Machinekamers (voor compressoren, ventilatie en koelapparatuur, waar onderhoudspersoneel bij in werking zijnde machines verblijft) moeten worden uitgerust met geluidabsorberende schermen tussen de geluidbronnen.

7.3.3 Aankoop en installatie van nieuwe machines

Wanneer nieuwe machines moeten worden aangeschaft, dan moet worden overwogen of er mogelijkheden zijn om een stillere produktie te krijgen.

Voordat wordt besloten tot aanschaf van nieuwe machines, zal met de mogelijke leveranciers moeten worden nagegaan welk geluidniveau de nieuwe installatie produceert, evenals de mogelijkheden tot verdere geluidreductie. Indien verbeteringen financieel niet bereikbaar zijn, verdient het aanbeveling voorbereidingen te treffen om in een later stadium wel geluidreductie te verkrijgen zonder al te veel dure wijzigingen. Men moet echter wel bedenken dat geluidwerende maatregelen achteraf altijd duurder zijn.

Bij aanschaf van nieuwe machines zullen de volgende zaken aandacht moeten krijgen:

- *Machines die trillingen veroorzaken zullen normaliter van het gebouw moeten worden geïsoleerd, zodat trillingen en geluid niet kunnen worden doorgegeven. Machines die niet trillingsvrij kunnen worden opgesteld vanwege hun ontwerp of werkmethode (bijv. grote langzaamlopende zuigercompressoren) moeten worden voorzien van hun eigen fundering die geheel gescheiden is van de dragende delen van het gebouw.*
- *Accessoires, bijvoorbeeld hydraulische pompen, luchtcompressoren en dergelijk, die zijn geplaatst in aparte vertrekken, moeten zijn voorzien van compensatoren die de voortplanting van geluid en trillingen in de verbonden installaties, pijpen en kanalen voorkomen.*
- *Machines moeten zo zijn ontworpen dat botsingen, kloppen, stoten en schokken tijdens het proces zoveel mogelijk worden vermeden. Bijvoorbeeld bij de aan- en afvoer van produkten moeten deze wegglijden in plaats van in containers vallen.*
- *Bij aanschaf van transportsystemen (transportbanden, rollenbanen, kranen, trucks) dient men na te gaan of er geen stillere gelijksoortige middelen zijn, bijvoorbeeld een elektrisch aangedreven vorkheftruck in plaats van een met dieselmotor.*
- *Wanneer geluidproblemen niet kunnen worden opgelost door andere methoden, zal een serieuze poging moeten worden ondernomen om een hele machine of in het bijzonder de lawaaiproducerende onderdelen hiervan te omkassen. Oplossingen die de bediening of het onderhoud van de machine zouden kunnen bemoeilijken moeten met de betrokken werknemers worden besproken.*

8. PRAKTIJKVOORBEELDEN VAN LAWAAIBESTRIJDING

In dit hoofdstuk worden verschillende begrippen en oorzaken van lawaai behandeld aan de hand van praktijkvoorbeelden.

Deze zijn vaak zeer eenvoudig voorgesteld.

Hoewel er zich in de praktijk situaties zullen voordoen waarin eenvoudige voorzieningen inderdaad tot grote geluidniveauverlagingen kunnen leiden, is de problematiek over het algemeen veel gecompliceerder dan wordt voorgesteld.

Wat men zich steeds voor ogen moet houden is dat bepaalde verwerkings- of produktieprocessen, hoeveel aandacht ook aan de beperking van de geluidproduktie is geschonken, toch een te hoge geluidemissie kunnen opleveren. In dergelijk situaties zullen maatregelen moeten worden getroffen die betrekking hebben op de geluidoverdracht in de beschouwde ruimte, of de persoonlijke bescherming van de er zich bevindende personen, hoewel dit laatste over het algemeen als noodoplossing moet worden gezien.

In een groot aantal paragrafen wordt het ontstaan en het fysisch gedrag van geluid kort beschreven en geïllustreerd met voorbeelden en oplossingen. Natuurlijk zullen de in dit hoofdstuk opgenomen voorbeelden lang niet alle geluidproblemen behandelen.

De diverse begrippen zijn in een achttal paragrafen onderverdeeld:

- 8.1 Fysisch gedrag van geluid.
- 8.2 Geluid van trillende vlakken.
- 8.3 Geluid van trillende machines.
- 8.4 Geluidproduktie in lucht en gassen.
- 8.5 Geluidproduktie in stromende vloeistoffen.
- 8.6 Geluidreductie door omkastingen.
- 8.7 Geluidvoortplanting in een ruimte.
- 8.8 Geluidvoortplanting door kanalen.

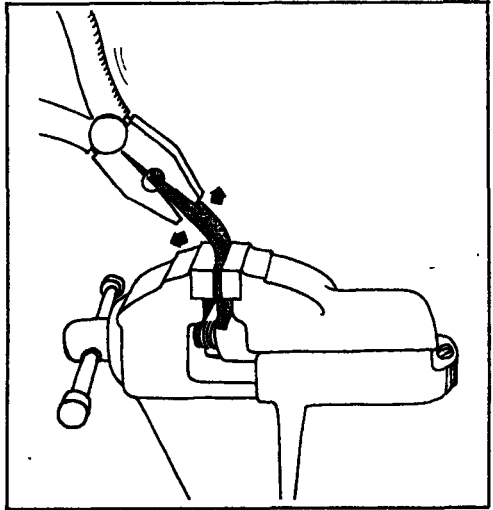
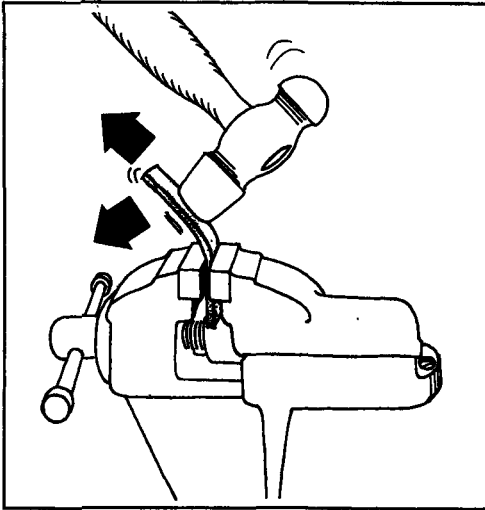
Na de eerste, algemene paragraaf, behandelen de tweede tot en met vijfde paragraaf brongerichte maatregelen. De laatste drie paragrafen betreffen maatregelen gericht op de overdrachtsweg. In de figuren wordt gebruik gemaakt van pijlen die de hoeveelheid opgewekte en/of afgestraalde geluidenergie voorstellen: dikke pijlen betekenen veel geluidenergie, dunne pijlen weinig geluidenergie. Ook zijn in enkele voorbeelden grafieken gebruikt. Aan de getallen die hierin voorkomen mag geen exacte waarde worden toegekend. Ze zijn indicatief.

8.1 FYSISCH GEDRAG - ONTSTAAN VAN GELUID

8.1.1 Veranderingen in kracht, druk of snelheid leiden tot lawaai

Geluid ontstaat onder meer als er sprake is van een plotselinge verandering in kracht, druk of snelheid. Grote veranderingen geven meer geluid dan kleine. In veel gevallen kan hetzelfde resultaat worden bereikt met een kleine kracht die over een lange tijd wordt uitgeoefend, als met een grote kracht gedurende korte tijd. In het laatste geval wordt meer geluid geproduceerd dan in het eerste geval waar minder kracht nodig is.

Zo kan een strip met een klap worden omgezet met een hamer of stil met een tang.



Voorbeeld

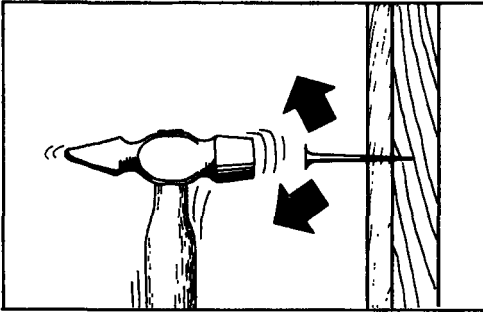
Panelen en platen kunnen op verschillende manieren aan elkaar worden bevestigd. De ene manier is lawaaiiger dan de andere. Methoden waarbij draadnagels of klinknagels worden gebruikt zijn uit oogpunt van gehoorbeschadiging af te raden, omdat ze vrij hoge piekniveaus geven.

Oplossing

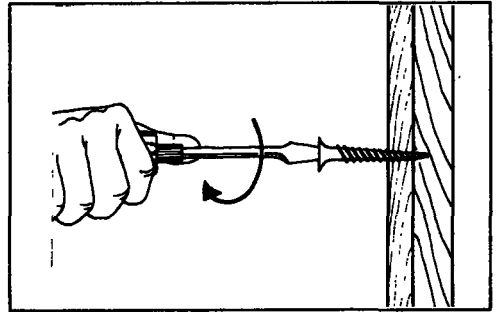
In veel gevallen kunnen stillere methoden, zoals met schroeven of bouten, worden toegepast zonder de produktiviteit te verlagen of de kosten te verhogen en ze kunnen het voordeel hebben dat demontage gemakkelijker is.

Twee houten panelen kunnen aan elkaar bevestigd worden door middel van:

spijkers - lawaaiig

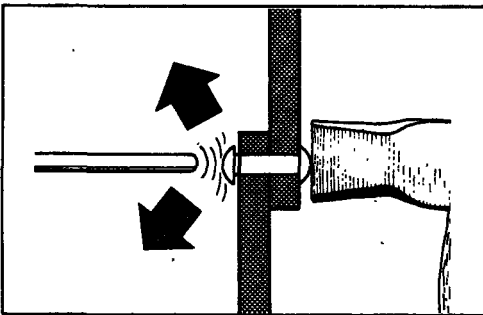


of schroeven - stil

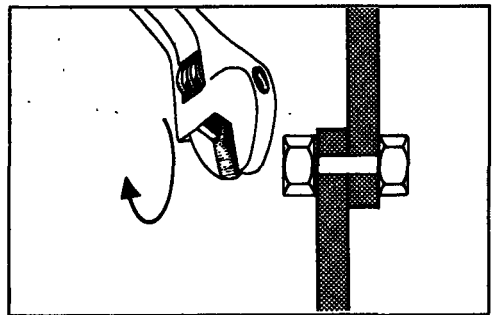


Staalplaat kan aan elkaar bevestigd worden door middel van:

klinken - zeer lawaaiig



bout en moer - stil

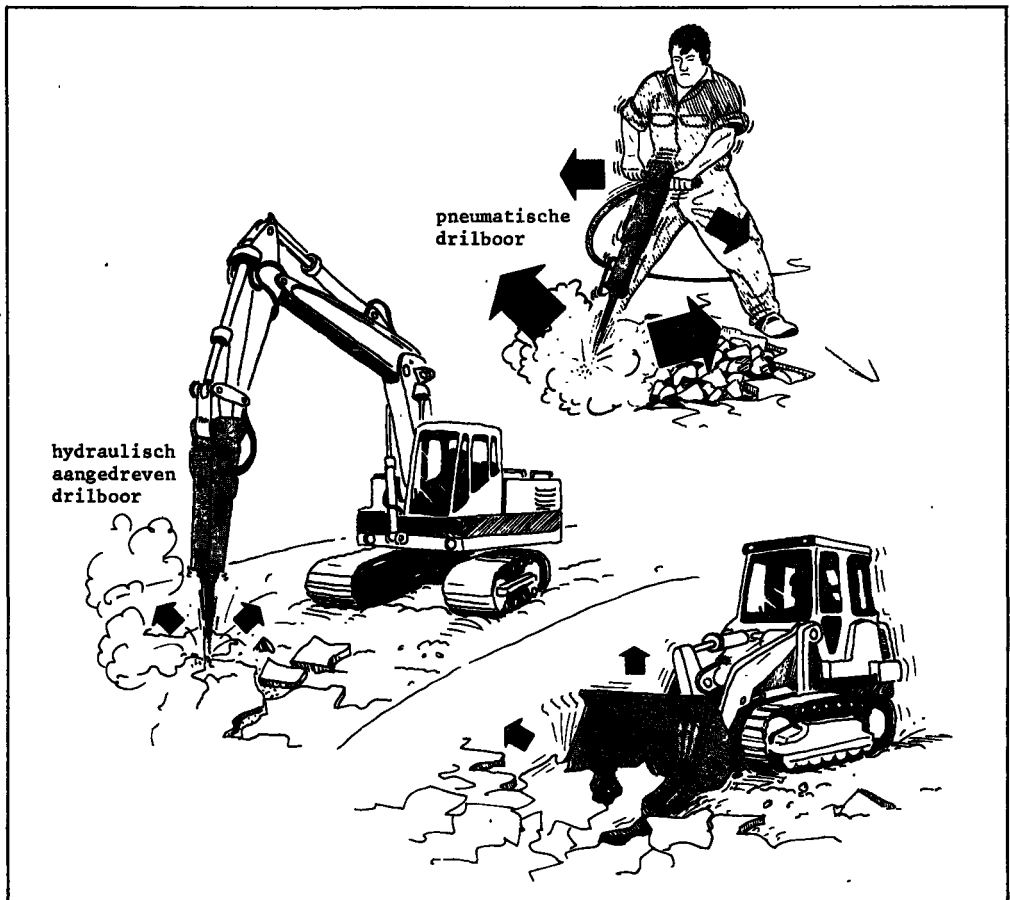


Voorbeeld

Drilboren worden van oorsprong met de hand bediend en worden gewoonlijk pneumatisch aangedreven om het gewicht ervan te verminderen. Hierbij ontstaat impuls geluid met hoge niveaus, zowel door het breekproces zelf als door de perslucht. De bediener wordt blootgesteld aan hoge niveaus van zowel geluid als trillingen;

Oplossing

Een hydraulisch aangedreven hamer, gemonteerd op een hydraulische kraan of graafmachine, kan een zeer grote statische kracht opwekken evenals trillingen. Het plaveisel wordt in kleine stukken gebroken en deze kunnen door een buldozer worden opgescheept. De geluidsniveaus zijn lager en de bedieners bevinden zich verder van de bron vaak in afschermende cabines.



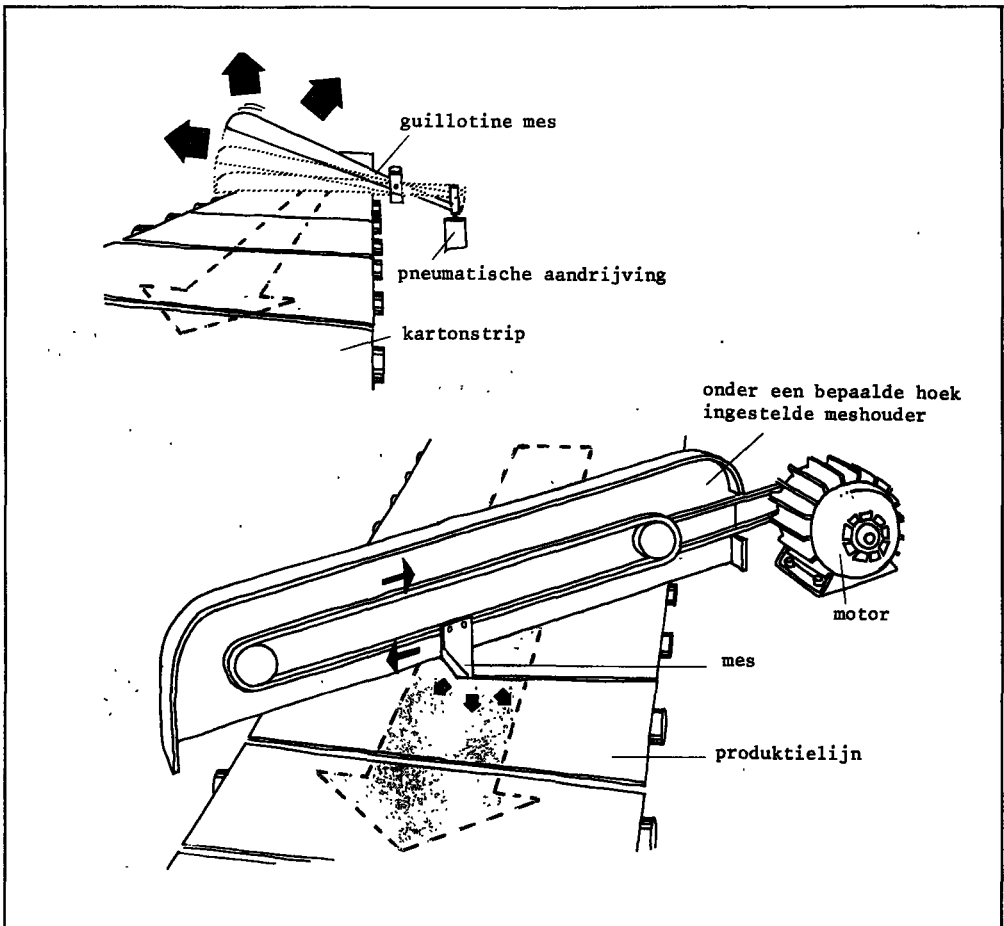
Voorbeeld

Van een rol karton worden met een guillotinemes stukken gehakt. Het mes moet snel en hard vallen om een rechte snijkant te krijgen, hetgeen veel lawaai veroorzaakt.

Oplissing

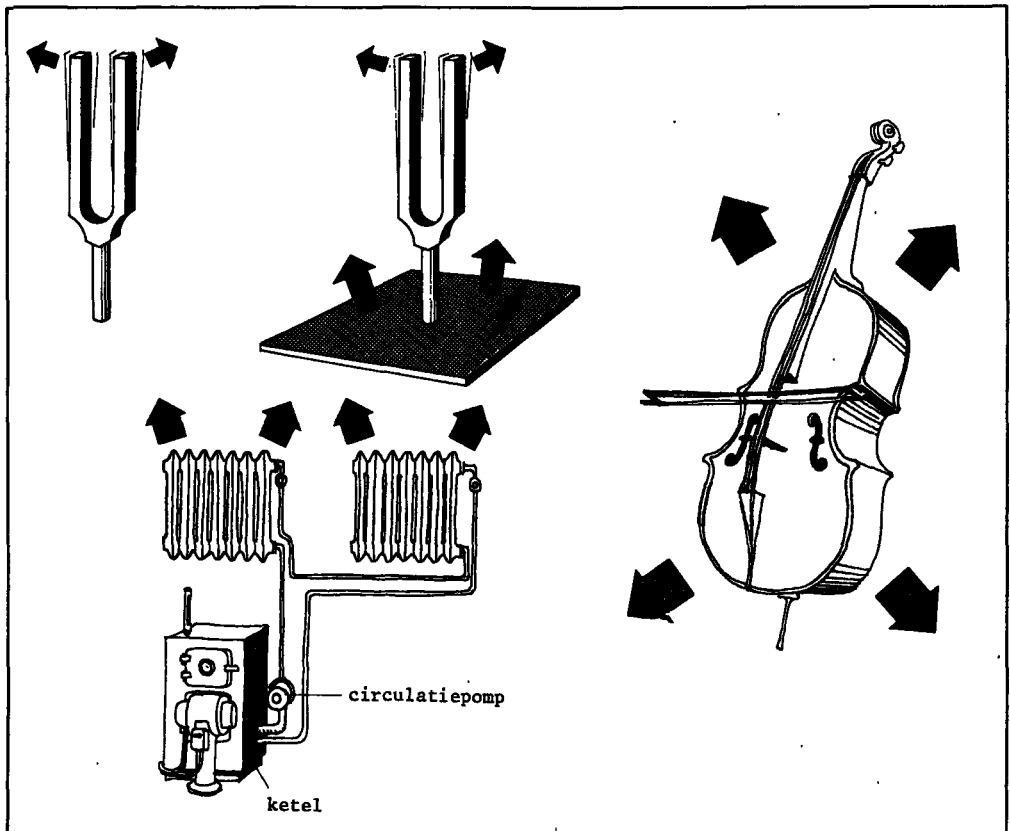
Door een mes te gebruiken dat schuin over het materiaal wordt getrokken kan het materiaal met een kleinere kracht over een langere periode worden doorgesneden, wat aanzienlijk minder lawaai maakt.

Het mes moet onder een hoek worden gezet in de bewegingsrichting van het materiaal om dit loodrecht op de bewegingsrichting door te snijden.



8.1.2 Trillingen in voorwerpen hebben een grote oppervlakte nodig om luchtgeluid op te wekken

De trilling van een klein voorwerp zal over het algemeen geen hoog geluidniveau veroorzaken, omdat de oppervlakte die de lucht in trilling brengt klein is. De trilling kan moeilijk aan de lucht worden overgedragen. Maar door een trillend voorwerp in contact te brengen met een grote plaat kan de trilling gemakkelijker aan de lucht worden overgedragen en wordt het geluidniveau hoger. Een stemvork produceert nauwelijks geluid, tenzij hij op een "klankbord" wordt gezet. De circulatiepomp brengt de leidingen in trilling, maar er wordt weinig afgestraald totdat een groter vlak zoals een radiator in trilling wordt gebracht. Deze straalt dan niet alleen warmte af maar ook geluid.

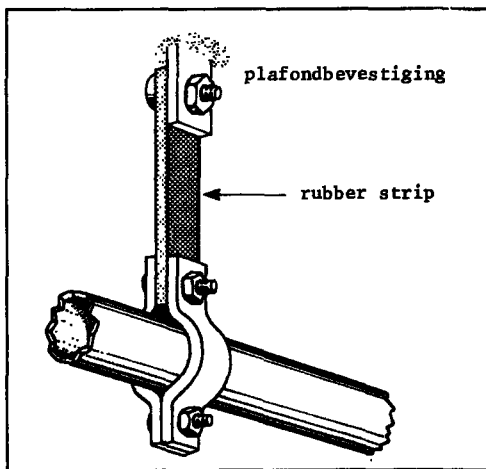
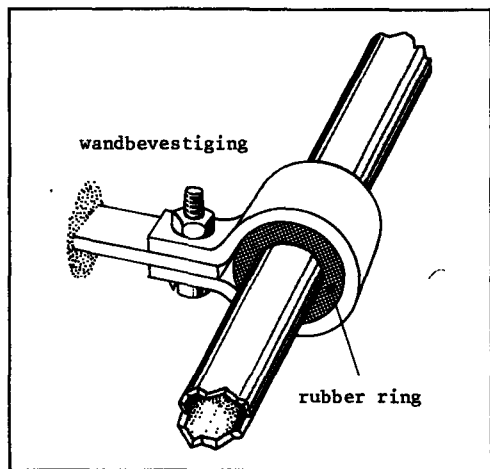
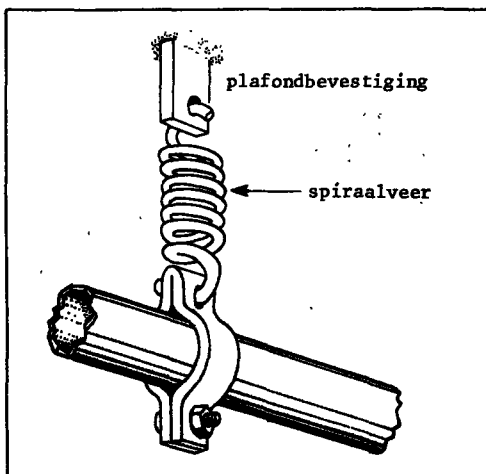
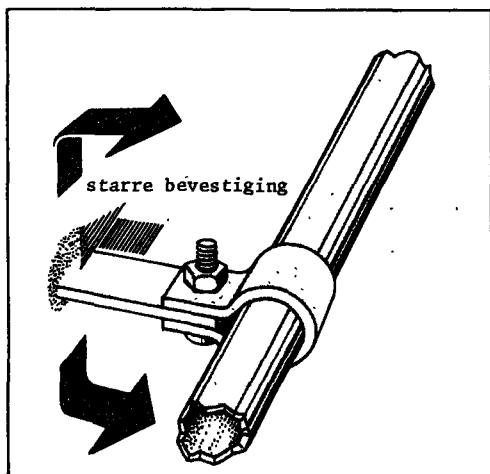


Voorbeeld

Contactgeluid in leidingen, trillingen van een circulatiepomp of stromingsgeluid van de vloeistof kunnen maar weinig luchtgeluid voortbrengen, omdat de leiding maar een kleine oppervlakte heeft. Door de leiding star aan de wand of het plafond te bevestigen wordt het luchtgeluidniveau hoger, omdat de afstralende oppervlakte groter wordt.

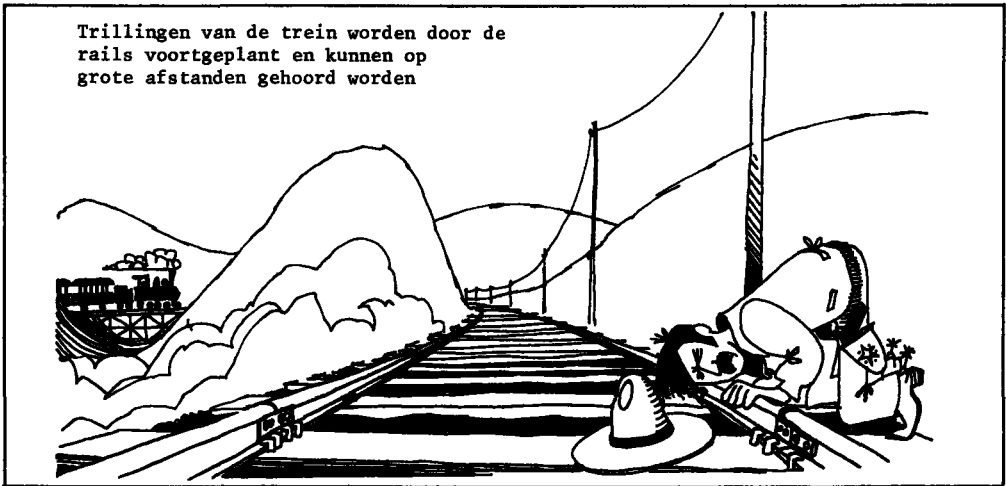
Oplossing

De leidingen moeten zo worden bevestigd dat ze de muur of het plafond niet in trilling kunnen brengen. Dit kan met verschillende isolatoren worden gedaan, zoals veren, rubber strippen, neopreenringen enz.



8.1.3 Trillingen kunnen grote afstanden afleggen

Trillingen in vaste en vloeibare stoffen met een geringe inwendige demping kunnen op grote afstand andere voorwerpen in trilling brengen en zich daarna door afstraling als luchtgeluid manifesteren, als het trillend oppervlak groot genoeg is. De beste remedie is de trilling zo dicht mogelijk bij de bron te isoleren.

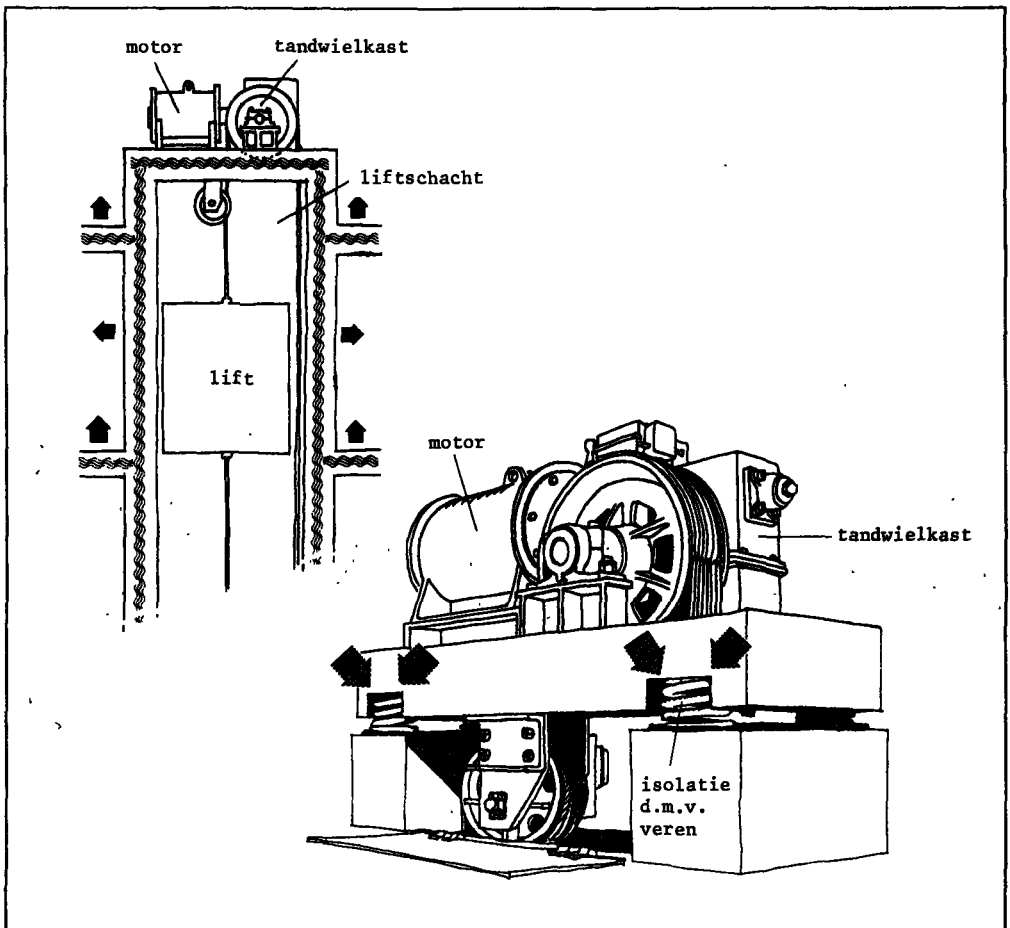


Voorbeeld

Trillingen en schokken van de liftmotor en lift kunnen in een groot gedeelte van het gebouw worden gehoord. Het geluid plant zich gemakkelijk voort in de betonnen wanden en vloeren.

Oplossing

De motor met tandwielkast en de katrol moeten van de bouwconstructie worden geïsoleerd. Hiervoor kunnen veren worden gebruikt.

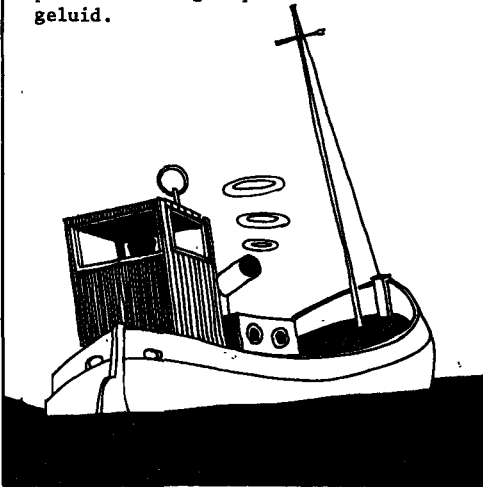


FYSISCH GEDRAG - LAGE EN HOGE FREQUENTIES

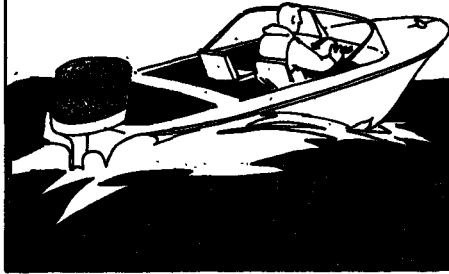
8.1.4 Langzame opeenvolgingen veroorzaken lage frequenties, snelle opeenvolgingen hoge frequenties

Een opeenvolging van geluidproducerende gebeurtenissen, wekt frequenties op die afhankelijk zijn van de tijd tussen de herhalingen. Een zich langzaam herhalende gebeurtenis veroorzaakt hoofdzakelijk lage frequenties en een zich snel herhalende gebeurtenis veroorzaakt hoofdzakelijk hoge frequenties. Het geluidniveau hangt af van de grootte van de kracht die het veroorzaakt.

De uitlaat van een langzaamlopende dieselmotor produceert laagfrequent geluid.

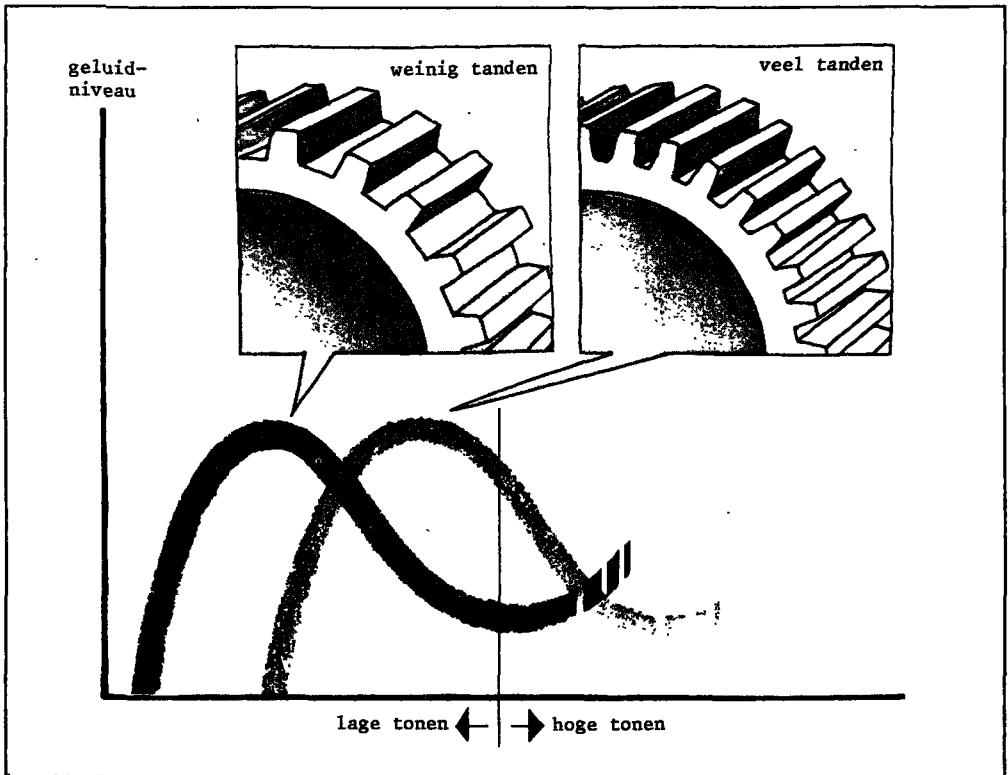


De snellopende buitenboordmotor veroorzaakt hoofdzakelijk hoge frequenties.



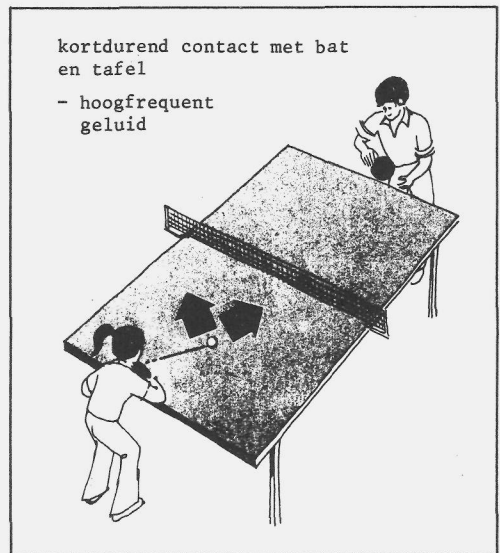
Voorbeeld

Van twee tandwielen met dezelfde diameter, waarvan de een tweemaal zoveel tanden heeft als de ander, zullen de grondfrequenties een factor 2 van elkaar verschillen. De voornaamste geluidbron is het contact van een tand met de corresponderende tand op het tegenoverliggende tandwiel. Bij dezelfde diameter en rotatiesnelheid zal het tandwiel dat tweemaal zoveel tanden heeft ook tweemaal zo veel contacten per seconde maken en daarom geluid produceren waarvan de frequentie tweemaal zo hoog ligt.



8.1.5 Snelle veranderingen veroorzaken hogere dominerende frequenties

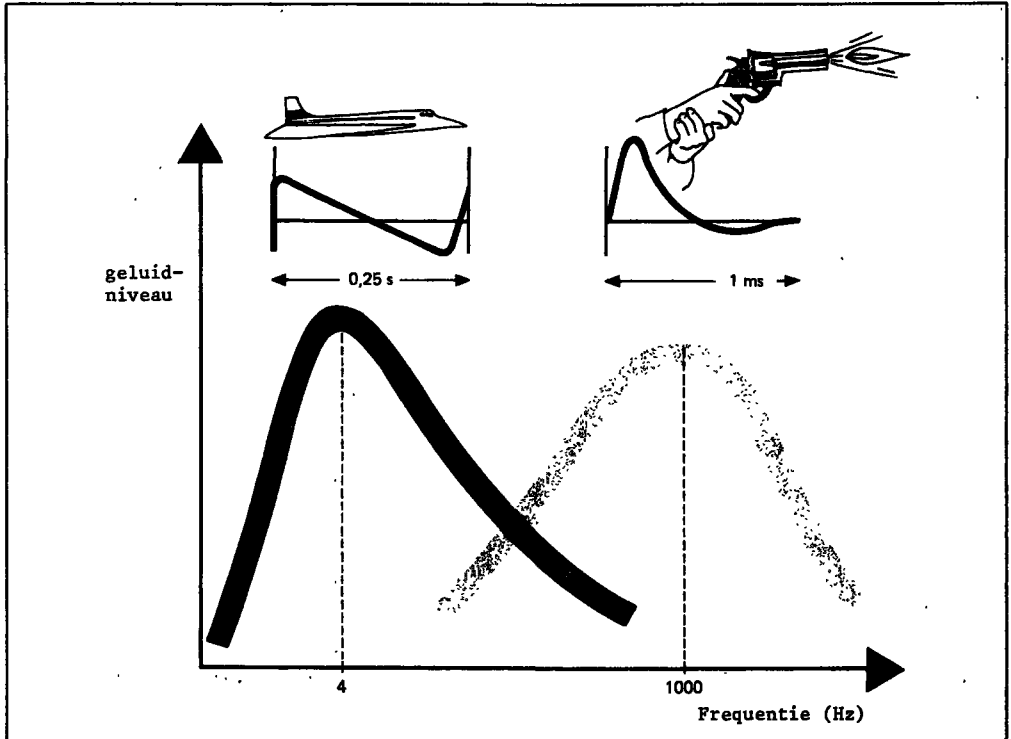
De overheersende frequentie van het geluid dat wordt veroorzaakt door een aanstoting is onder meer afhankelijk van de snelheidsverandering. Een snelle verandering veroorzaakt een kortere puls die hogere frequenties bevat. De snelheid van deze verandering wordt vaak bepaald door de stijfheid van de aangestoten oppervlakken. Hoe meer zij deformereren, des te langer zijn zij met elkaar in contact en des te lager zijn de overheersende frequenties. Wanneer een basketbal wordt gestuiterd is de bal voor een relatief lange tijd in contact met de vloer. De overheersende frequenties zijn daardoor laag. Bij tafeltennis is het contact met het bat en de tafel slechts van zeer korte duur. Deze overheersende frequenties zijn daarom veel hoger.



Voorbeeld

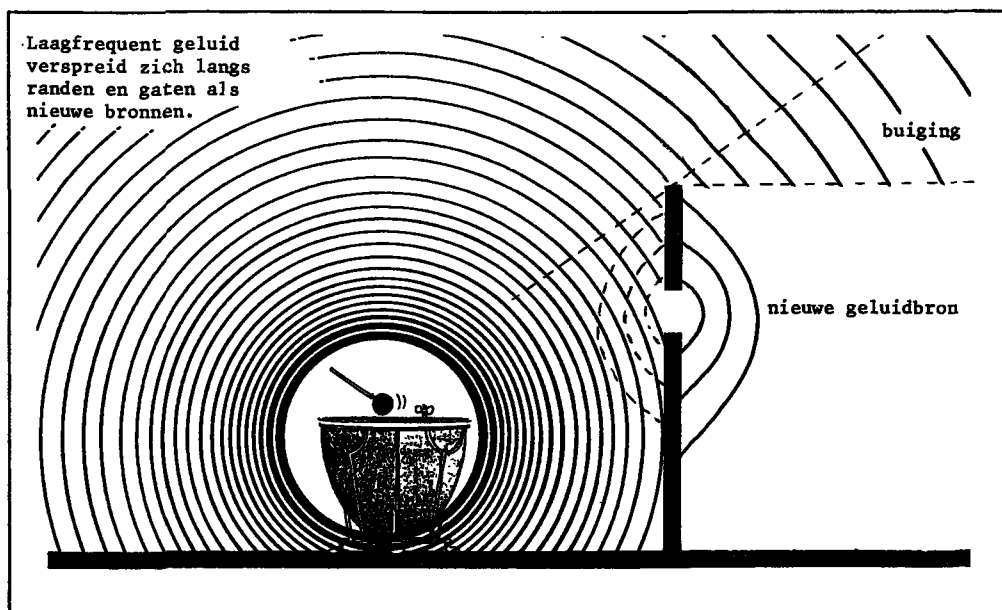
Een "sonic boom" duurt ongeveer zo lang als een vliegtuig nodig heeft om zijn eigen lengte door te vliegen. Dit kan bijvoorbeeld 0,25 s zijn. De belangrijkste frequentie is daarom ongeveer 4 Hz.

Een pistoolschot duurt slechts 1 ms. De overheersende frequenties zijn daarom veel hoger, ongeveer 1 kHz.



8.1.6 Laagfrequent geluid buigt om obstakels en gaat door openingen

Laagfrequent geluid buigt om langs randen en gaten zonder intensiteitsverlies en straalt weer af langs randen en vanuit een gat alsof het een nieuwe bron is, opnieuw gelijkmatig in alle richtingen. Hierdoor zijn schermen of barrières voor laagfrequent geluid niet erg effectief, tenzij ze erg groot zijn. Tegen het scherm treedt ook reflectie - terugkaatsing - op.



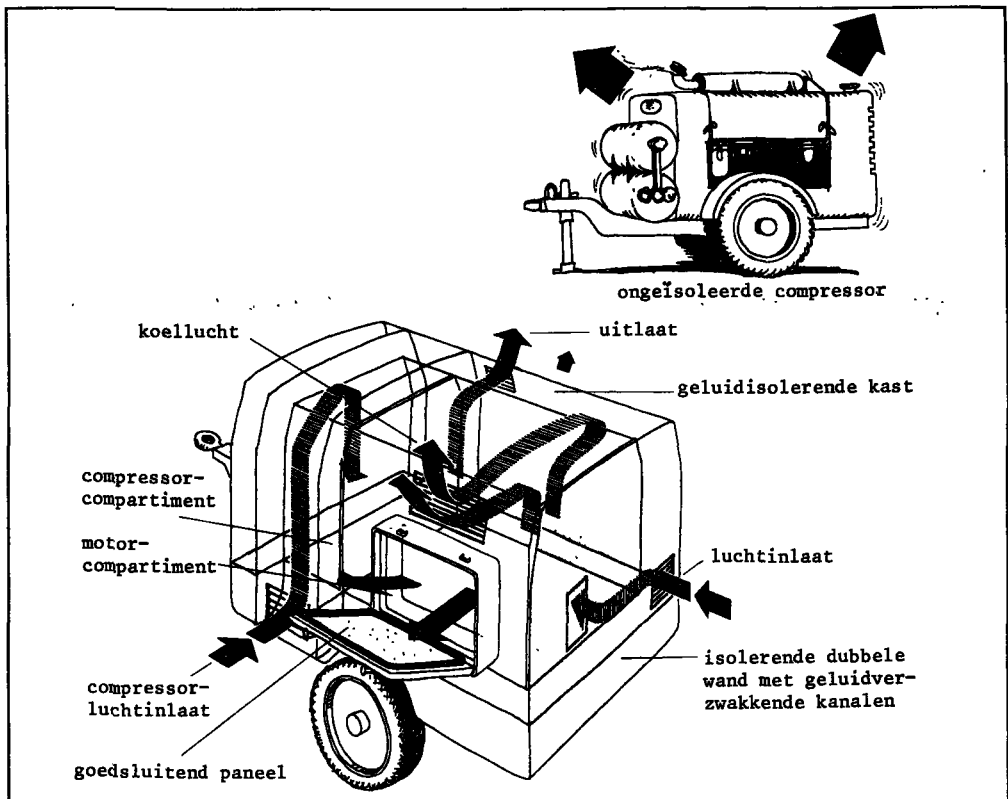
Voorbeeld

Dieselcompressoren produceren een hoog geluidniveau van voornamelijk laag-frequent geluid, zelfs wanneer ze van goede in- en uitlaatdempers zijn voorzien. Openstaande luiken of roosters voor toevoer van koellucht dragen niet bepaald bij tot een niveauperlagings. Het geluid komt door de openingen.

Oplissing

Om een grote compressor effectief te kunnen isoleren, is een goed gesloten omkasting zonder lucht- of geluidlekken noodzakelijk. Deze omkasting kan worden uitgevoerd als een dubbele wand met kanalen die met absorberend materiaal zijn bekleed.

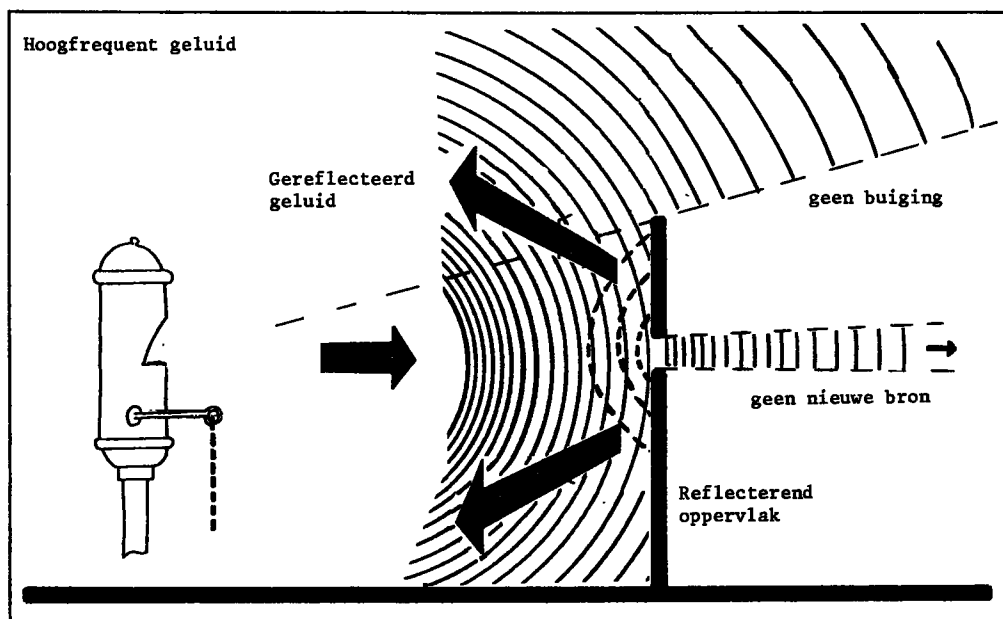
Lucht voor de compressor, motor en koeling wordt via deze kanalen aan- en afgevoerd. Aanzuig- en uitblaasroosters worden geluiddempend uitgevoerd. De uitlaatdemper valt binnen de buitenste wand. Alle controleluiken en toegangsdeuren moeten goed sluiten en dicht zijn.



8.1.7 Hoogfrequent geluid kan sterk gericht zijn en buigt niet om obstakels en bij openingen

Hoogfrequent geluid wordt vaak geproduceerd door bronnen die sterk gericht kunnen zijn.

Het gaat als een rechte straal door een opening zonder om te buigen langs de randen. Hierdoor zijn afschermingen erg effectief. Tegen een scherm treedt ook reflectie - terugkaatsing - op.

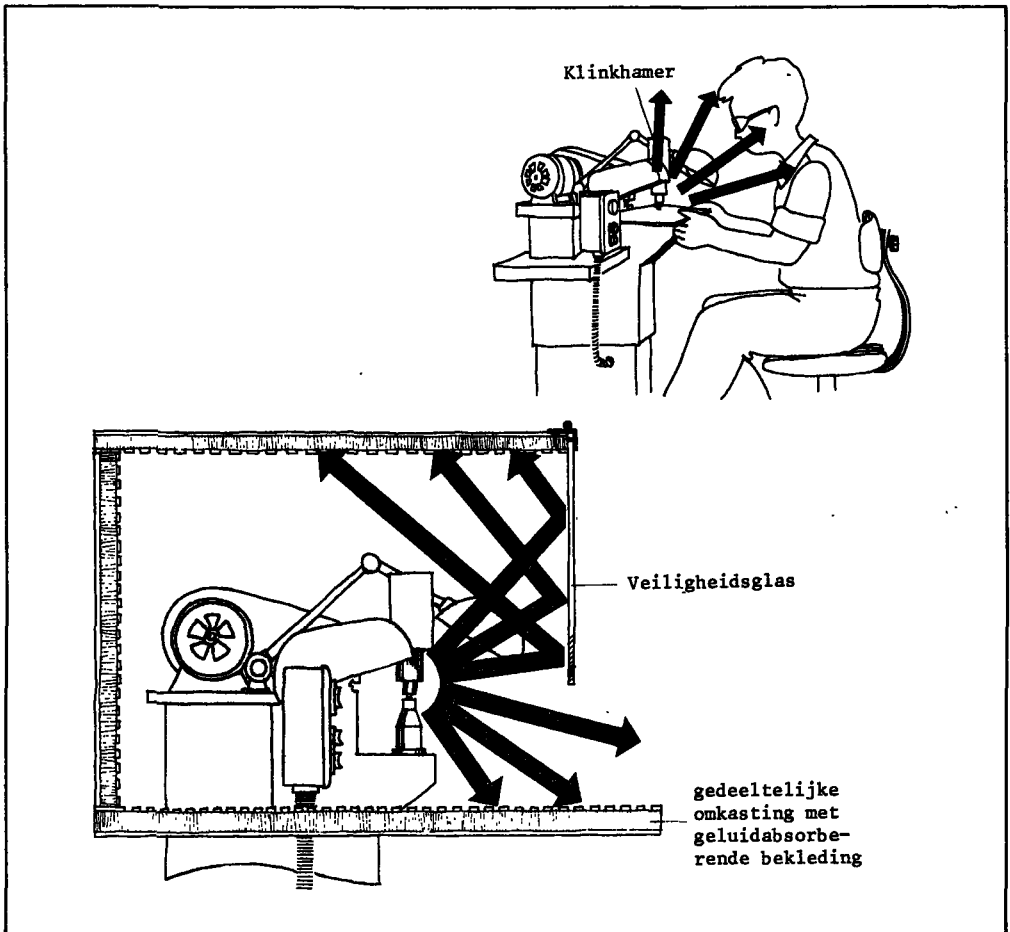


Voorbeeld

Lawaai van bewerkingen zoals klinken, poppen en ponsen kan door het hoge niveau schadelijk zijn voor de werknemer.

Oplossing

Een plaatselijke afscherming of omkapping van de geluidbron met een opening voor bediening, beschermt tegen het directe geluid van de machine. Reflecties tegen het glas en direct geluid in andere richtingen worden geabsorbeerd door absorberende bekleding. Door de kleine opening komt wel geluid, maar het bereikt de werknemer niet rechtstreeks.



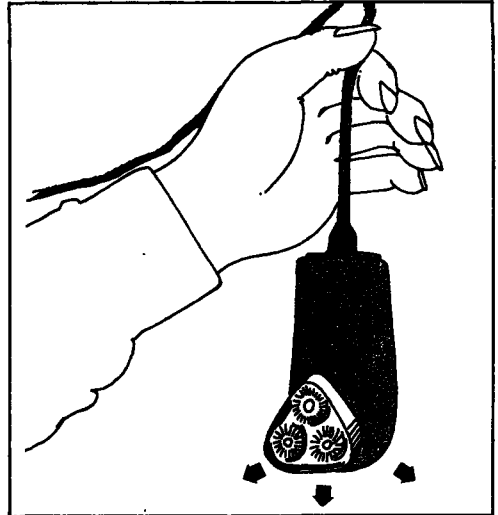
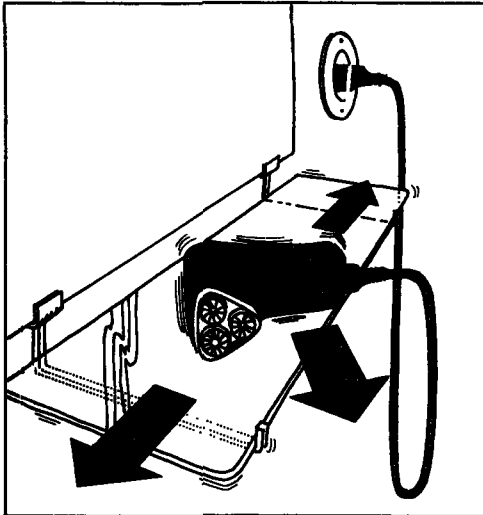
8.2 GELUID VAN TRILLENDE VLAKKEN - AFMETINGEN EN DIKTE

8.2.1 Kleine trillende voorwerpen stralen minder geluid af dan grote voorwerpen

Een klein voorwerp kan trillen zonder een verhoging van het geluidniveau te geven, omdat de kleine oppervlakte trillingen niet goed in geluid kan omzetten. Wordt het voorwerp in contact gebracht met een groter voorwerp, dan kunnen de trillingen beter worden omgezet in geluid.

Omdat de meeste machines in meer of mindere mate trillen, moeten de afmetingen van de beplatingen zo klein mogelijk worden gehouden.

De trilling van het scheerapparaat wordt doorgegeven aan de glasplaat die zelf ook gaat trillen, waardoor het geluid aanzienlijk wordt versterkt. Wordt de bron, in dit geval het scheerapparaat, van de plaat verwijderd, dan wordt de trilling niet langer overgedragen en het lawaai blijft beperkt.

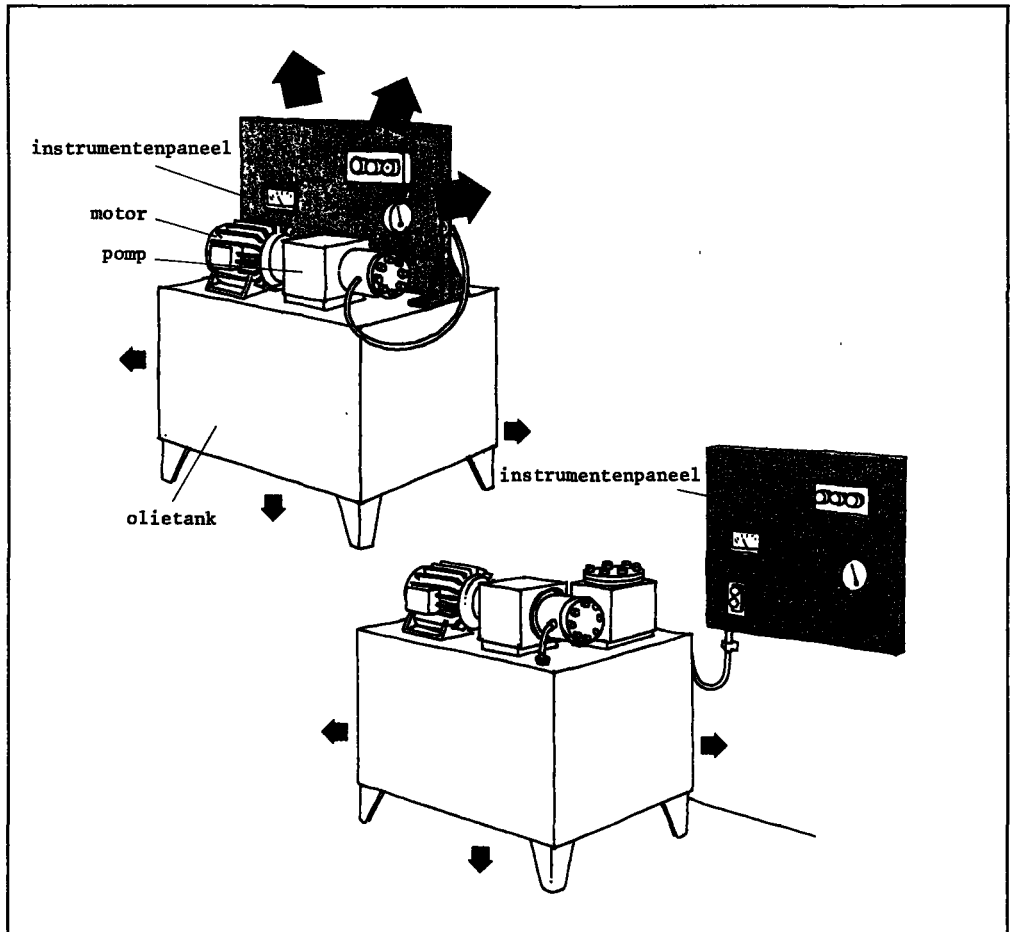


Voorbeeld

Door een hydraulisch toevoersysteem werd veel geluid afgestraald, hoewel de wanden van de tank werden gedempt door de olie. Ontdekt werd dat de belangrijkste bron werd gevormd door een door de motor in trilling gebracht instrumentenpaneel.

Oplossing

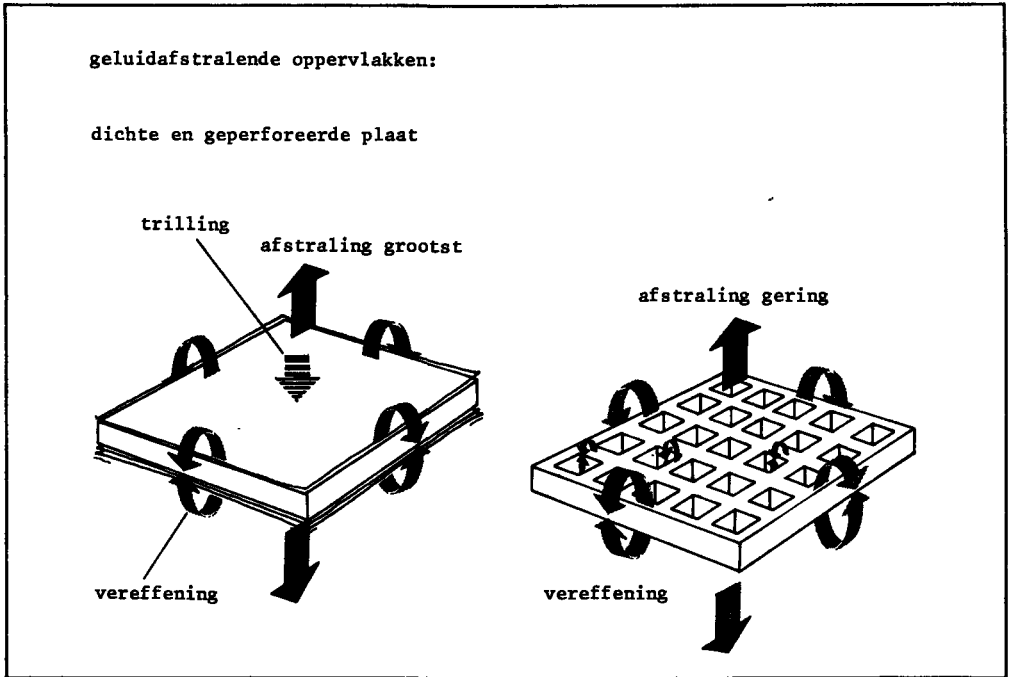
Door het instrumentenpaneel te ontkoppelen van de machine (geluidbron en trillingbron) werd het geluidniveau verlaagd.



GELUID VAN TRILLENDE VLAKKEN - AFMETINGEN EN DIKTE

8.2.2 Geperforeerde platen stralen minder geluid af

Soms kan niet worden vermeden dat grote oppervlakken in trilling komen. De trilling brengt de lucht in beweging, waardoor geluid ontstaat. Het trillende vlak pompt als het ware lucht, zoals een zuiger van een pomp. Alleen langs de randen treedt drukvereffening op waardoor "kortsluiting" ontstaat. Als het oppervlak wordt geperforeerd "lekt" de zuiger, waardoor de pompcapaciteit sterk afneemt. De trilling wordt nu ook in de gaten "kortgesloten" en het geluidniveau vermindert daardoor sterk. Behalve een geperforeerde plaat zou ook gaas of traliewerk kunnen worden gebruikt.

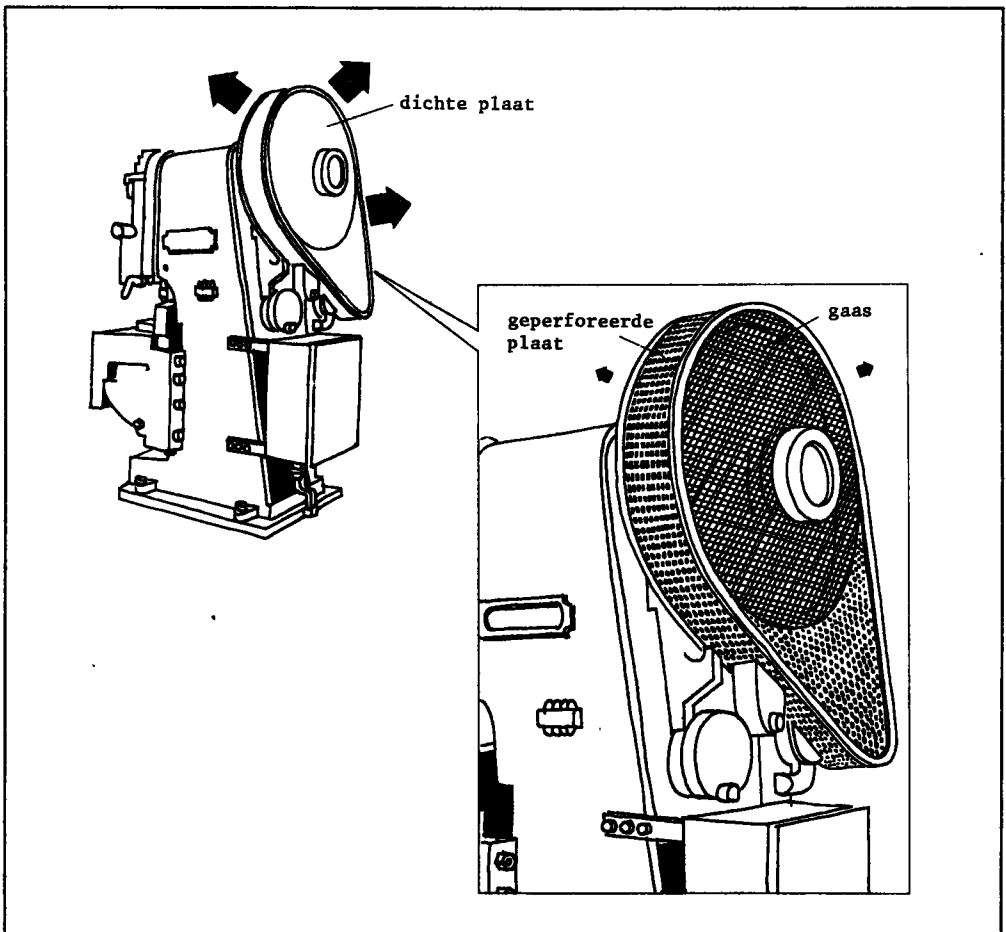


Voorbeeld

De beschermkap van vliegwiel en drijfriem van een ponsmachine straalt veel geluid af.

Oplossing

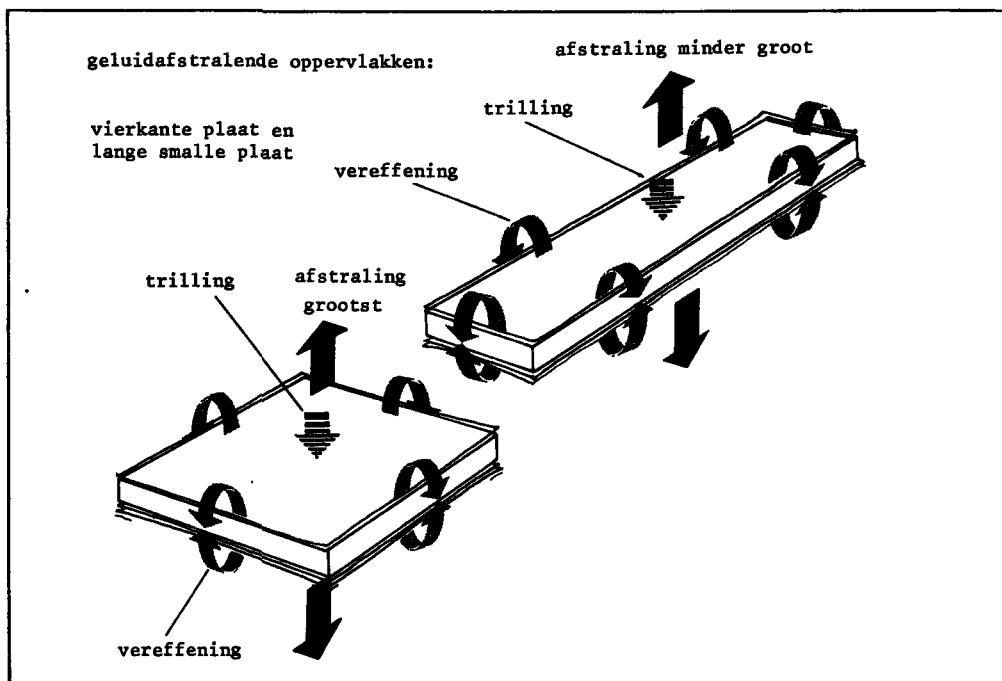
Door de dichte plaat door gaas te vervangen wordt de geluidafstraling beperkt.



GELUID VAN TRILLENDE VLAKKEN - AFMETINGEN EN DIKTE

8.2.3 Een lange, smalle plaat straalt minder geluid af dan een vierkante

Omdat drukverschillen van gesloten platen alleen langs de randen worden vereffend, waardoor op die plaats weinig geluid afstraalt, zal een lange smalle plaat minder geluid opwekken dan een vierkante met dezelfde oppervlakte.

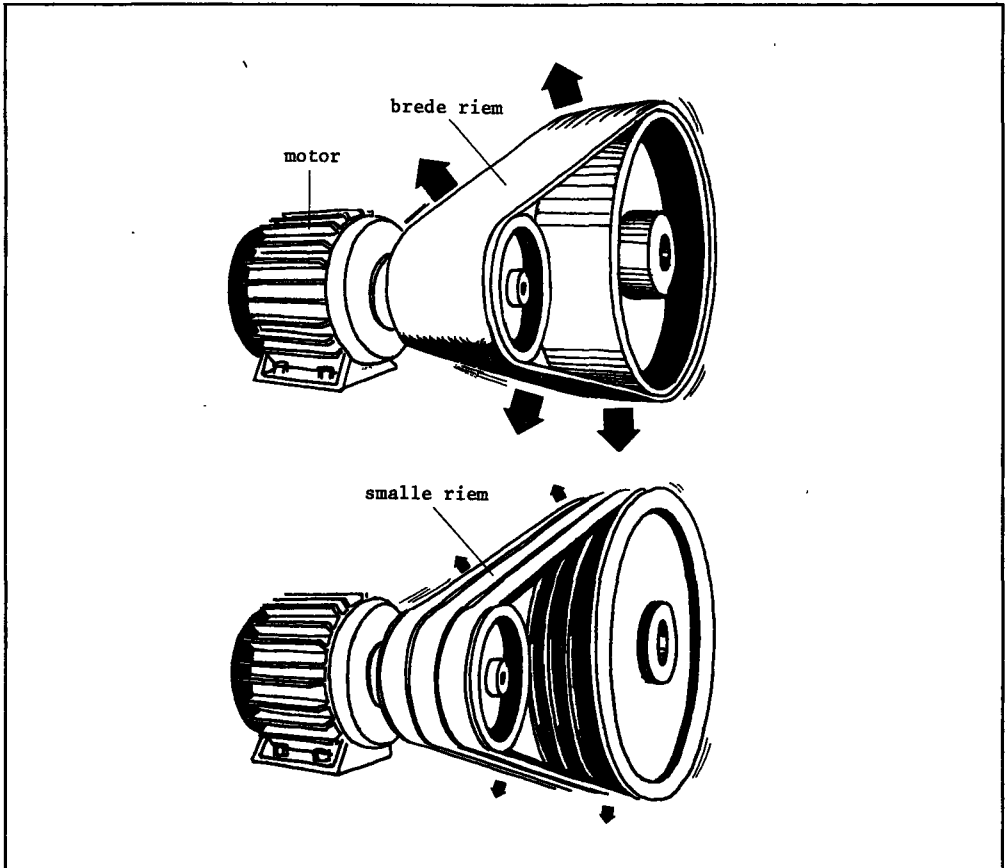


Voorbeeld

Trillingen van brede drijfriemen kunnen tot hoge niveaus bij lage frequenties leiden.

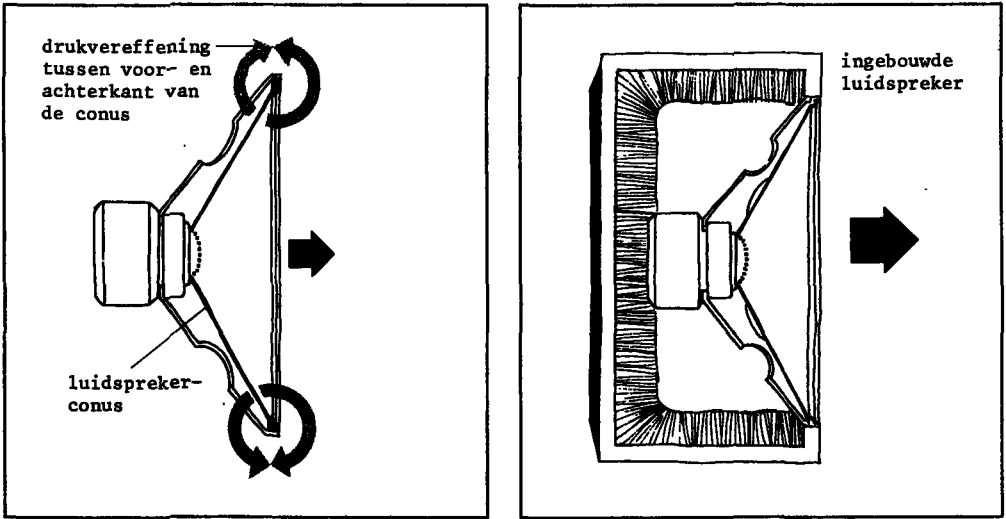
Oplossing

Door gebruik van een aantal smallere drijfriemen (V-snaren) op enige afstand van elkaar wordt het geluidniveau verlaagd.



8.2.4 Vlakken met vrije randen stralen minder laagfrequent geluid af

Een niet op een klankbord of in een kast gemonteerde luidspreker zal geen goede geluidweergave geven, vooral bij lage frequenties, omdat er drukvereffening langs de randen van de conus optreedt. Door de luidspreker op een klankbord of in een gesloten omkasting te monteren zal de weergave van laagfrequent geluid sterk verbeteren.

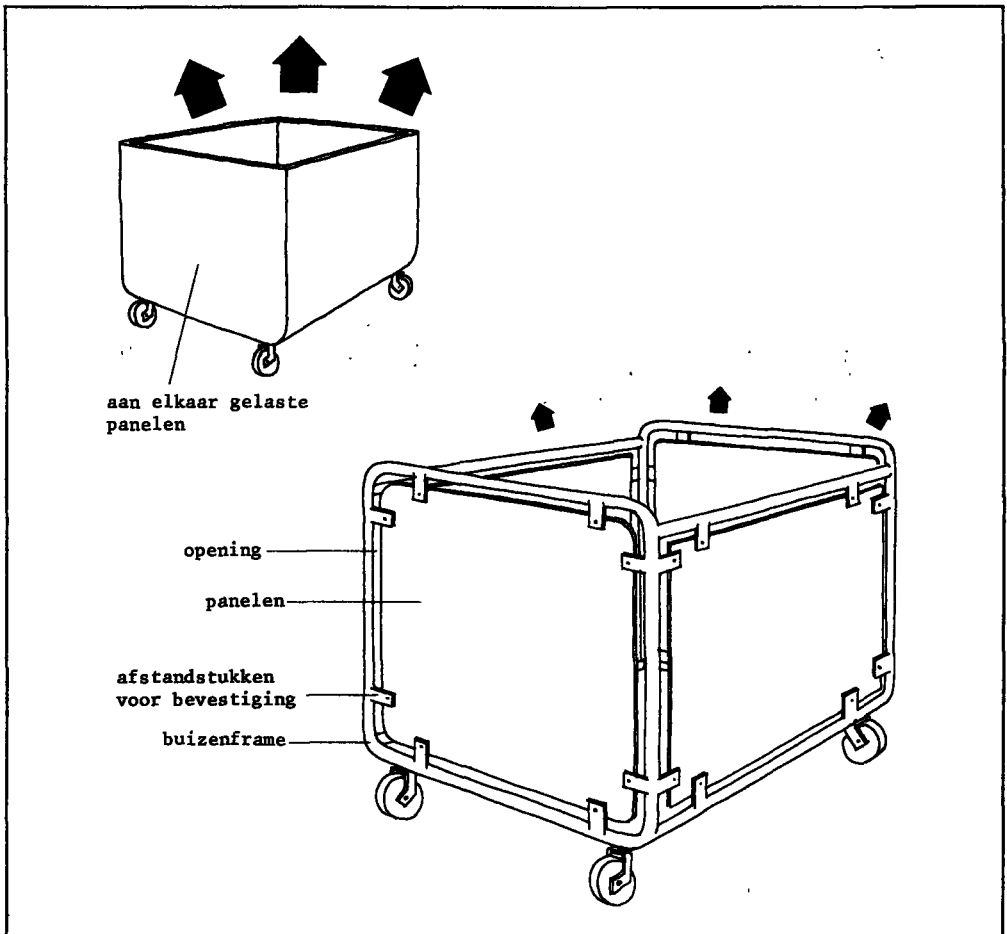


Voorbeeld

Transportkarretjes stralen geluid af bij het laden en lossen en bij het rijden over een oneffen ondergrond.

Oplossing

De wanden kunnen ook worden bevestigd op smalle steunen van een frame, zodat er een veel grotere randlengte ontstaat waarover drukvereffening kan plaatsvinden. Als de aard van het produkt het toelaat, kunnen de wanden van gaas worden gemaakt om afstraling verder te beperken.

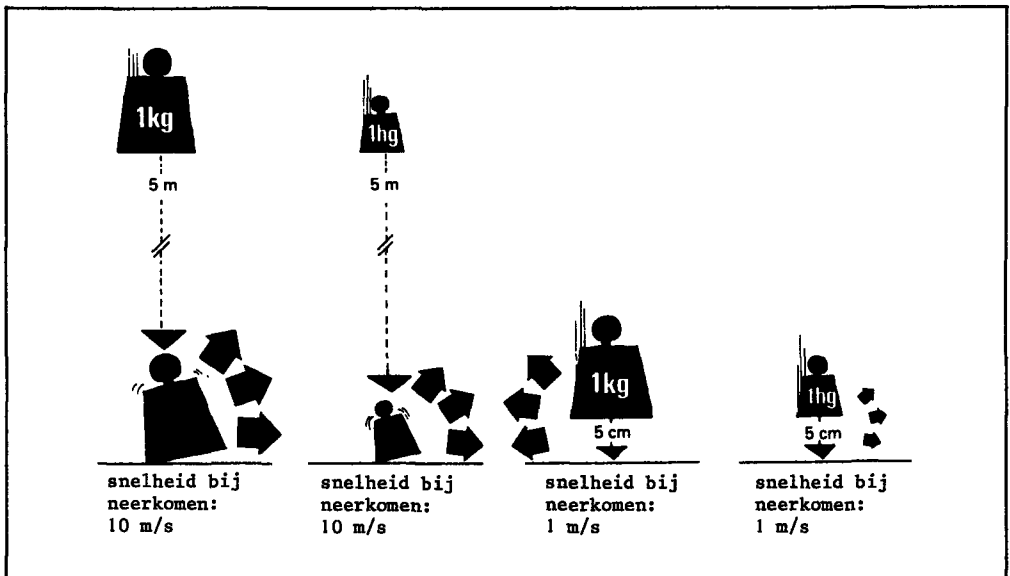


GELUID VAN TRILLENDE VLAKKEN - BOTSING

8.2.5 Lichte voorwerpen met geringe snelheid veroorzaken het minste geluid

Het geluid dat ontstaat als een vallend voorwerp op de grond komt hang af van de grootte van de kinetische energie. Hoe groter de massa en de valhoogte, des te hoger de snelheid bij neerkomen en de kinetische energie en daarmee de geluidproductie.

Een verlaging van de valhoogte of de massa met een factor tien veroorzaakt een geluidniveau dat ca. 10 dB lager is.

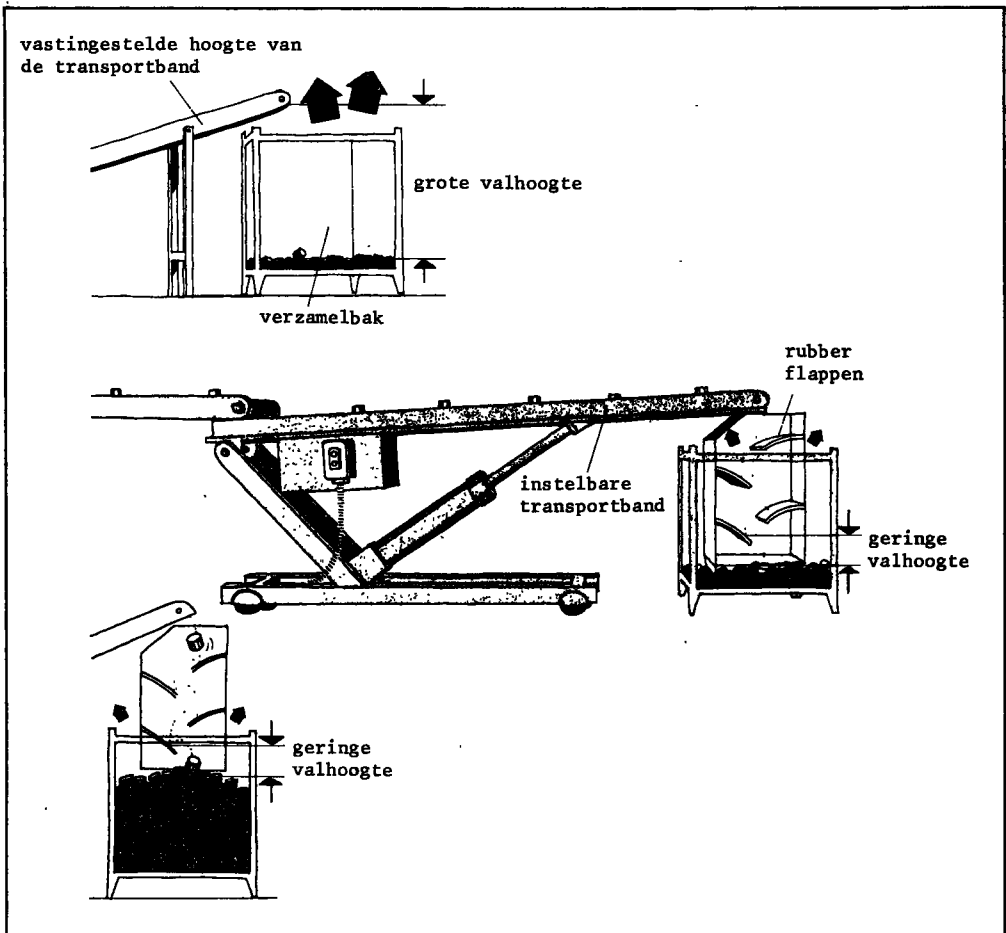


Voorbeeld

Produkten worden van een machine door een lopende band met vast ingestelde hoogte naar een verzamelbak getransporteerd, waar ze in worden gestort. Als de bak leeg is, is de valhoogte en daarmee ook de geluidproduktie hoog. Bovendien is de kans op beschadiging niet denkbeeldig.

Oplissing

De transportband wordt zo gemaakt dat de hoogte kan worden ingesteld en wordt voorzien van een koker met rubberen flappen die de val breken. De valhoogte is niet groter dan de afstand tussen de onderste flap en de bovenkant van het gestorte materiaal.

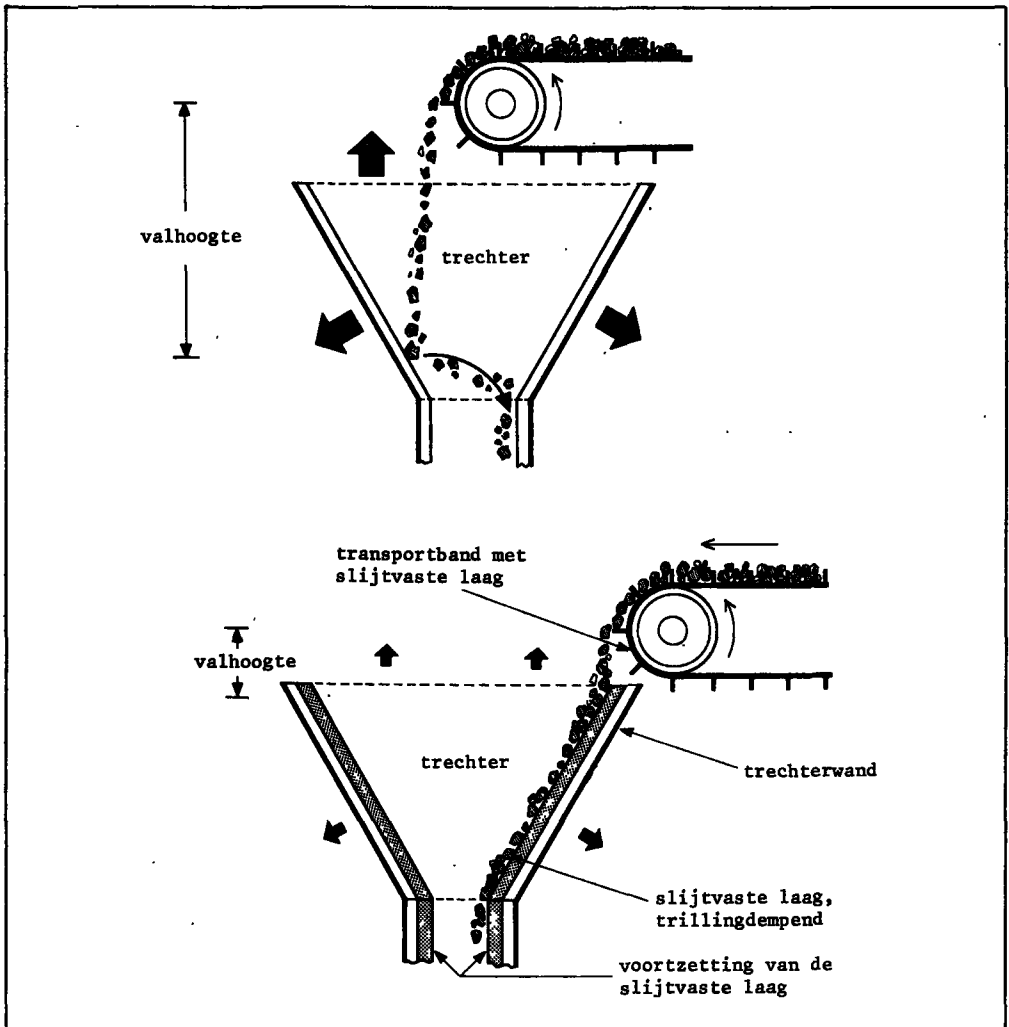


Voorbeeld

Een transportband vult een verzamelbak. Het materiaal wordt in het midden van de bak gestort, de valhoogte is daardoor groot.

Oplossing

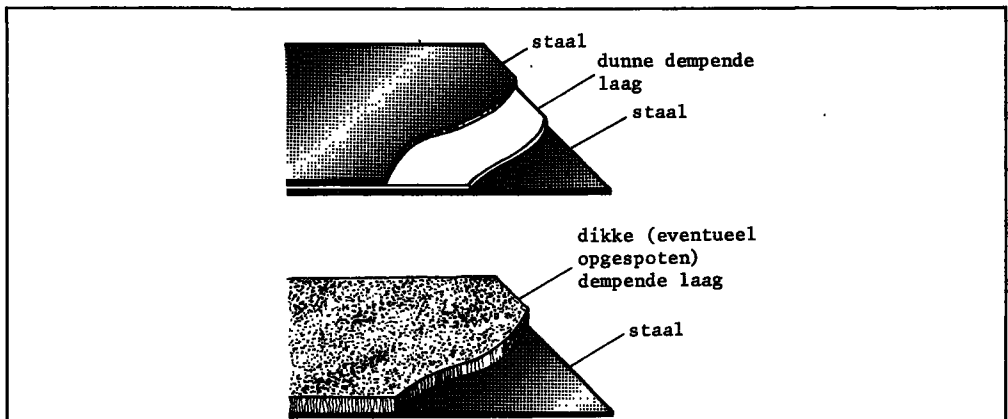
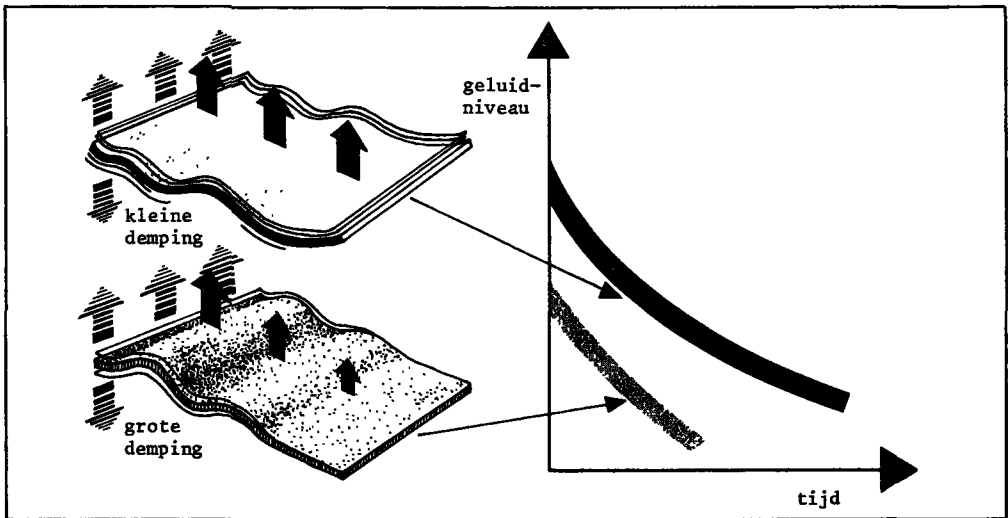
De bak of de band wordt zo verschoven dat de materialen op de schuine rand vallen. De valhoogte wordt nu sterk gereduceerd. De binnenkant van de bak moet worden bekleed met een slijtvast zacht materiaal dat de trillingen dempt. Door de buitenkant van de bak met een trillingdempend materiaal te bekleden wordt de afstraling nog verder beperkt.



GELUID VAN TRILLENDE VLAKKEN - INWENDIGE DEMPING

8.2.6 Gedempte vlakken stralen minder geluid af

Als een trilling zich door een plaat voortplant, wordt de intensiteit met de afstand kleiner, maar in de meeste platen is de vermindering zeer gering. In zulke gevallen spreekt men van geringe inwendige demping. Zo is de inwendige demping van staal zeer klein. Goede demping - ook wel ontbreuning genoemd - kan worden bereikt door het aanbrengen van lagen met een veel hogere inwendige demping. Er bestaat ook plaatmateriaal waarbij de dempende laag zich tussen twee dunne lagen staalplaat bevindt, zogenaamde "sandwich-platen".

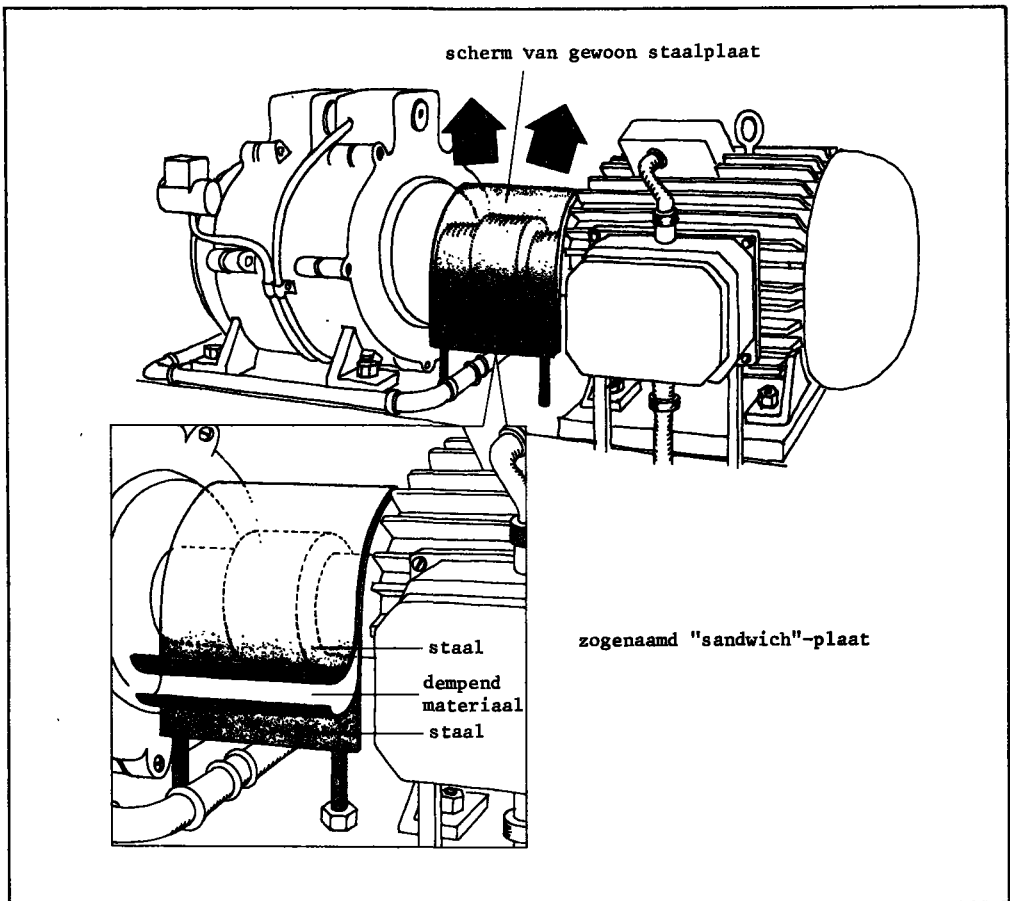


Voorbeeld

Schermen op motoren of pompen worden veelal in trilling gebracht en stralen dan vaak veel geluid af.

Oplissing

Door een scherm van gelaagd staalplaat met een hoge demping kan het lawaai aanzienlijk worden beperkt.



GELUID VAN TRILLENDE VLAKKEN - RESONANTIE

8.2.7 Resonanties vergroten de afstraling van geluid

Resonanties verhogen in grote mate de geluidproductie van trillende panelen en platen.

Met relatief kleine oppervlakken van dempend materiaal kunnen resonantiepieken reeds sterk worden verlaagd. Stukken ontdreuningsmateriaal die tijdelijk op een werkstuk zijn aangebracht werken erg effectief ter vermindering van het afgestraalde geluid tijdens de bewerking.

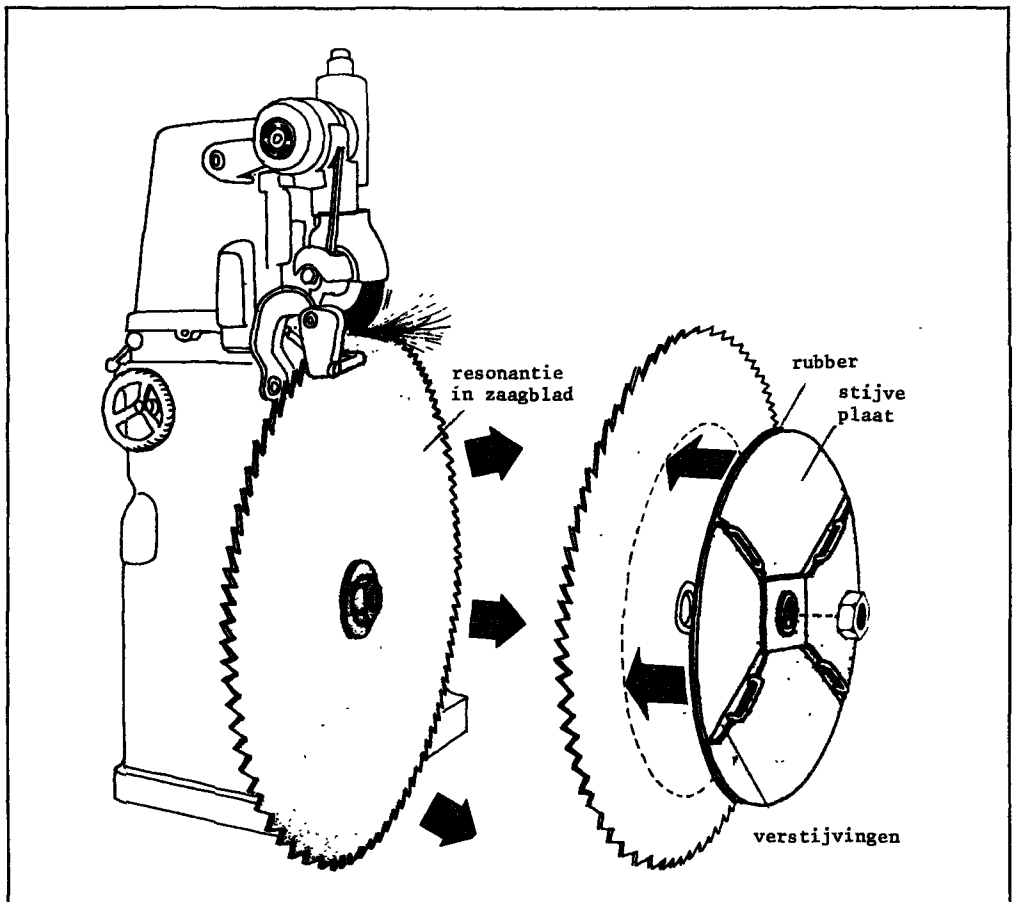


Voorbeeld

Het slijpen van zaagbladen veroorzaakt door resonanties een hoog geluidsniveau.

Oplossing

Door een met rubber beklede stijve metalen plaat met een zo groot mogelijke diameter op het zaagblad te klemmen wordt de resonantie gedempt.



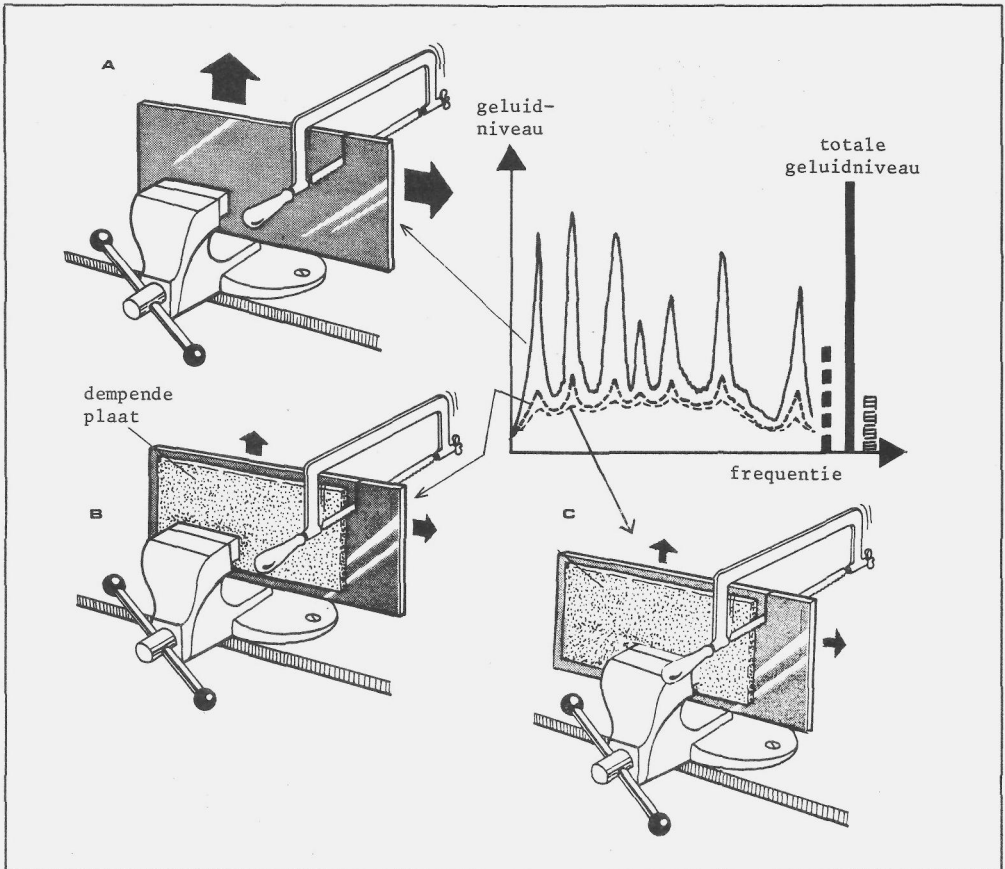
Voorbeeld

Bij het afzagen van een staalplaatje worden sterke trillingen in het werkstuk opgewekt, die als hard en schril kunnen worden omschreven.

Oplissing

Door middel van dempingsmateriaal en goede inklemming kan worden voorkomen dat het werkstuk sterk in trilling wordt gebracht:

- A) zaagsnede ver van de bekken: *hoog geluidniveau, sterke resonanties*
- B) als A, maar met een dempende plaat: *lager geluidniveau, minder resonantie*
- C) als B, zaagsnede dicht bij de bekken: *nog iets lager geluidniveau en nog minder scherpe resonantiepieken*

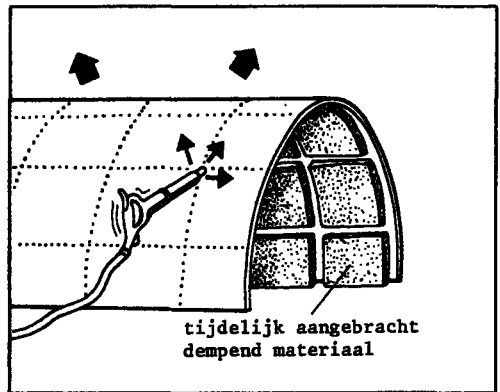
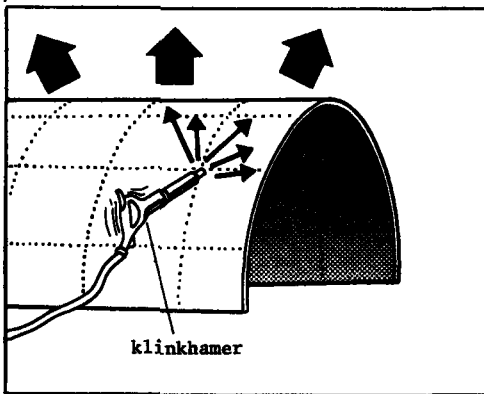


Voorbeeld

Het klinken van grote constructiedelen zoals bij vliegtuigen, schepen of onderdelen voor de installaties voor de procesindustrie, leidt tot hoge geluidniveaus die worden veroorzaakt door de klap zelf en door de grote afmetingen van het werkstuk dat de trillingsenergie in geluid omzet.

Oplossing

Het tijdelijk aanbrengen van dempende elementen op de constructie als er aan wordt geklonken, verlaagt de intensiteit van de resonanties en verzwakt de trillingen die zich verspreiden over de constructie.

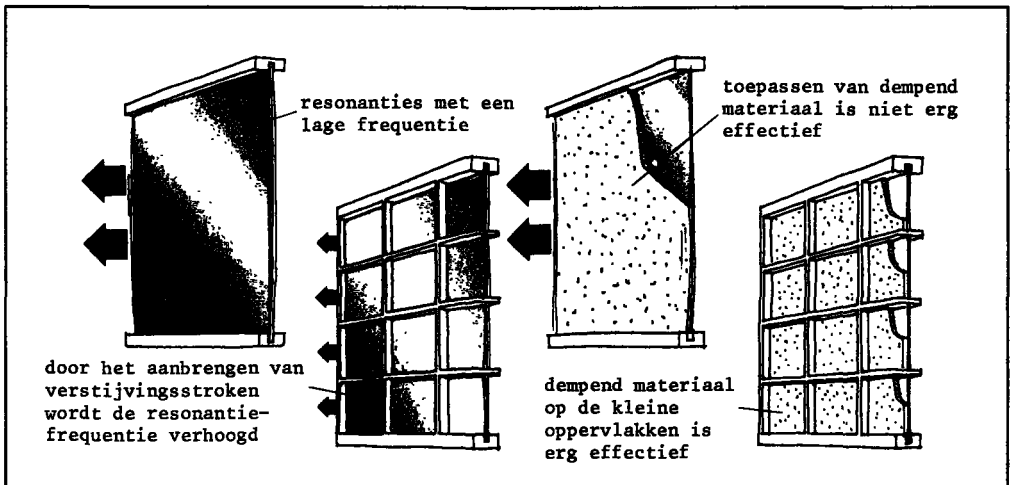


GELUID VAN TRILLENDE VLAKKEN - RESONANTIE

8.2.8 Resonanties bij hogere frequenties zijn gemakkelijk te dempen

Grote vlakken of platen hebben lage resonantiefrequenties die moeilijk te dempen zijn. Als het vlak wordt verstijfd, komt de resonantiefrequentie hoger te liggen. Deze hogere resonantiefrequentie is beter te dempen.

In sommige gevallen kan het moeilijk of kostbaar zijn dempend materiaal op het grote vlak aan te brengen. Bovendien is dat niet erg effectief. Dan is het aantrekkelijker en effectiever een dunne gedempte plaat tegen de verstijvingsstroken aan te brengen.

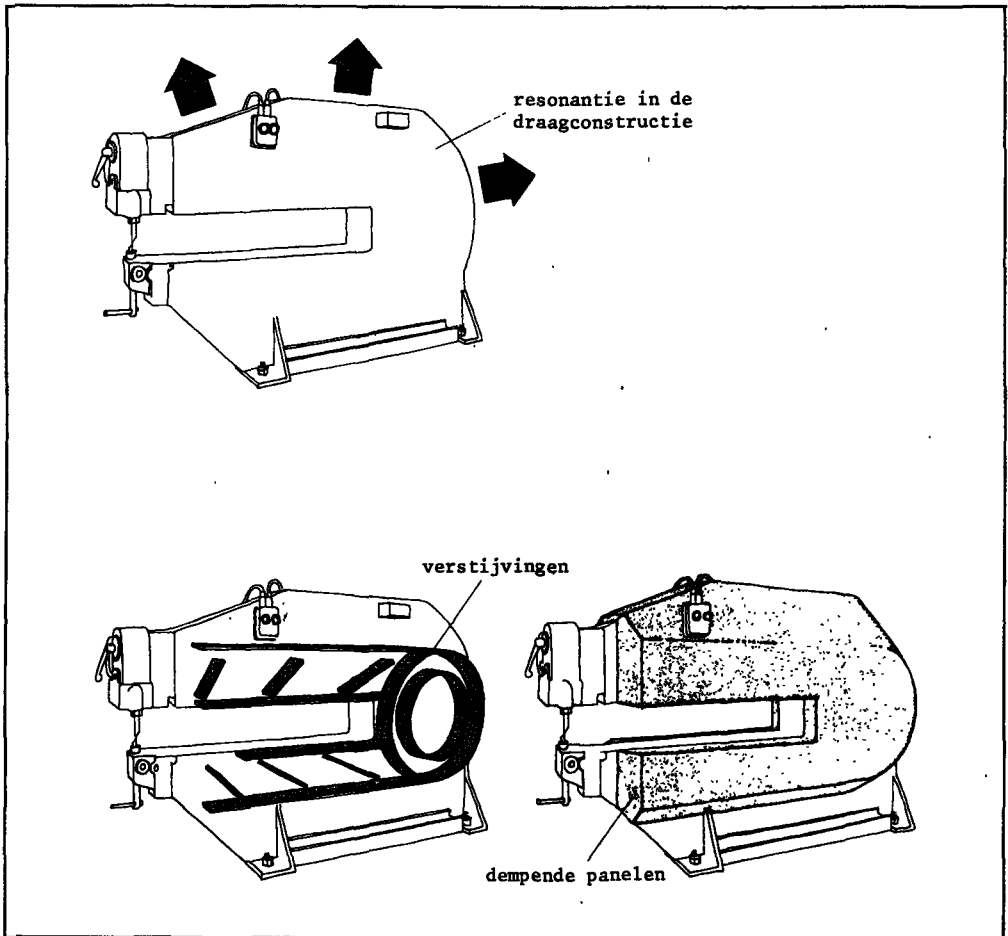


Voorbeeld

De belangrijkste geluidbron van een machine bleek de afstraling te zijn van de draagconstructie en niet van het werkstuk zoals werd verwacht.

Oplissing

Verstijvingen werden aangebracht op de panelen en hierover werden dempende panelen bevestigd.



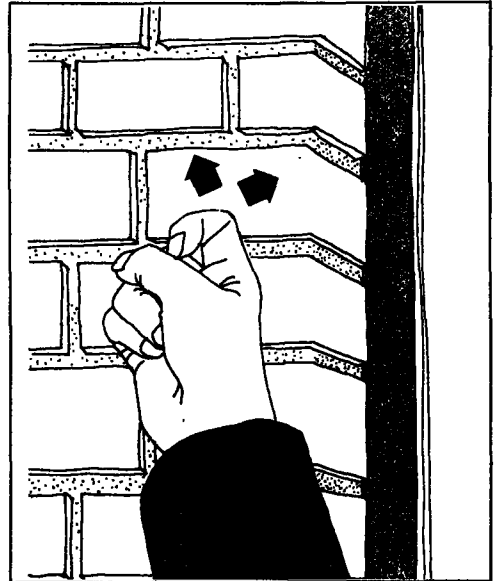
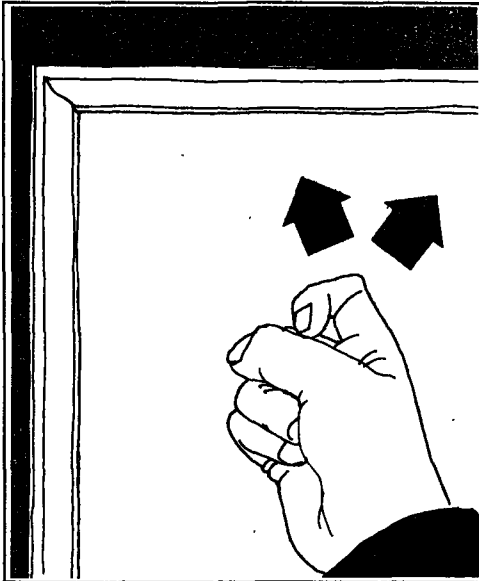
8.3 GELUID VAN TRILLENDE MACHINES - FUNDERING

8.3.1 Trillende machines moeten op een zware fundering worden geplaatst

Door op een lichte scheidingswand te kloppen ontstaat geluid, omdat de wand gemakkelijk in trilling komt en relatief veel afstraalt.

Kloppen op een zware wand van metselwerk veroorzaakt minder geluid, omdat de wand met de uitgeoefende kracht nauwelijks in trilling kan worden gebracht.

Om afstraling door motoren of pompen en dergelijke te voorkomen, moeten ze niet met de verhoudingsgewijs lichte constructie van de machine worden gekoppeld maar waar mogelijk op een aparte zware fundering worden bevestigd.

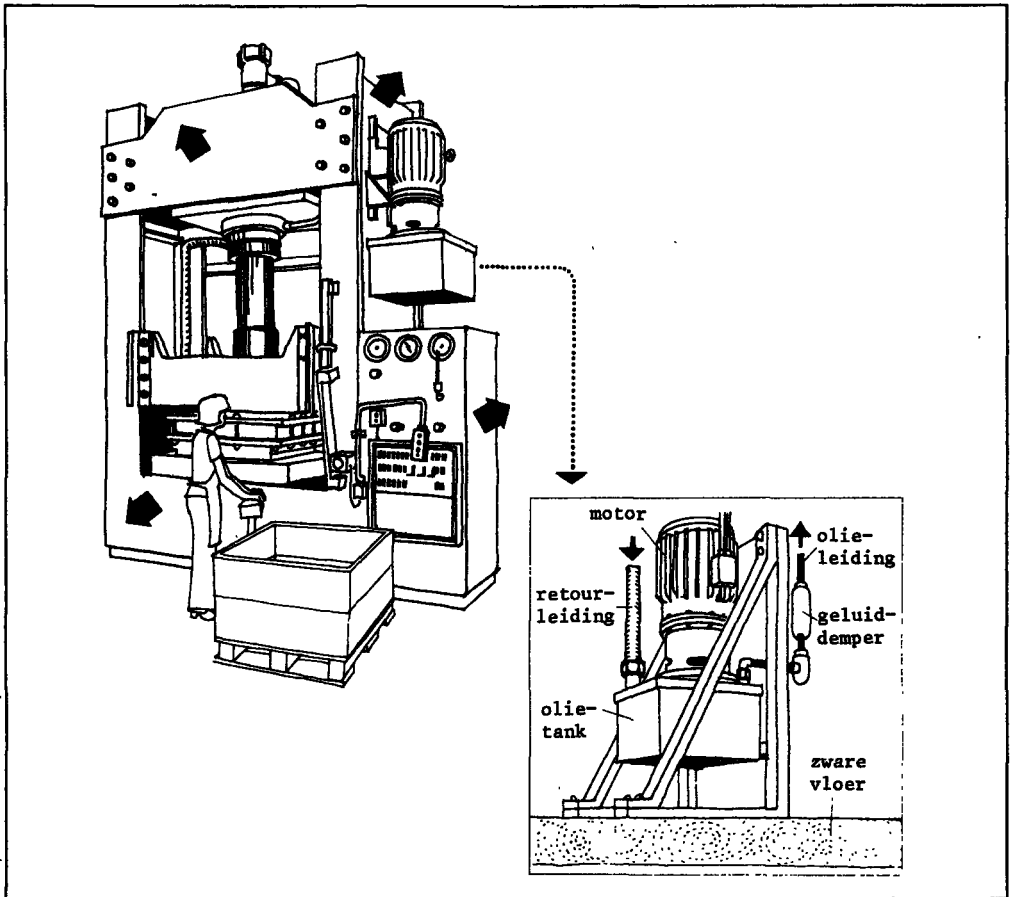


Voorbeeld

Pompen en motoren van grote machines, zoals persen, zijn vaak aan platen van het hoofdframe bevestigd. Deze worden dan in trilling gebracht, waardoor de gehele machine kan gaan afstralen.

Oplissing

De pompen en motoren moeten los van de machine worden gehouden en indien mogelijk worden bevestigd aan een massieve vloer. Hydraulische leidingen moeten van flexibele stukken of dempers worden voorzien om trillingsoverdracht naar de machine via deze leidingen te voorkomen.

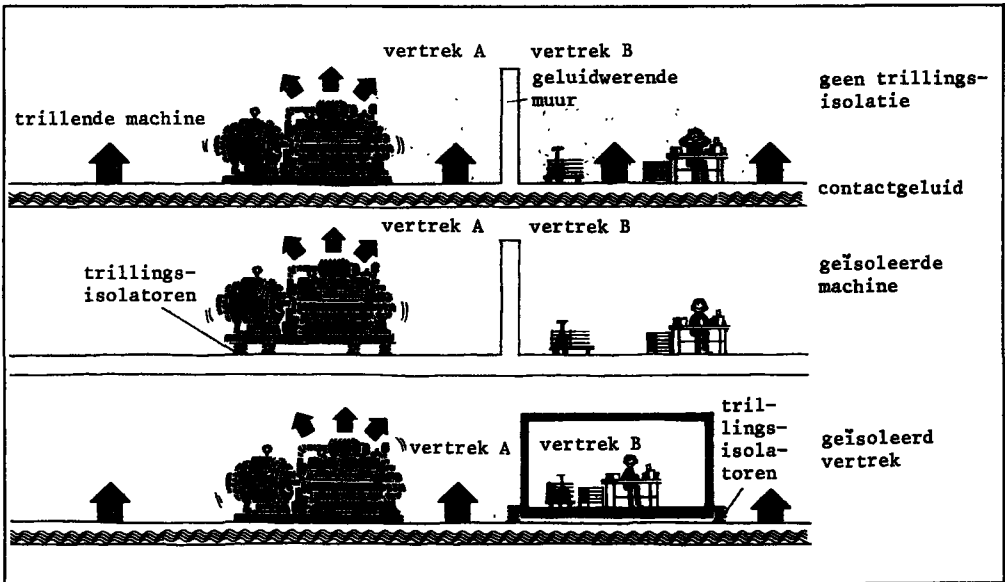


GELUID VAN TRILLENDEN MACHINES - VEREN

8.3.2 Flexibele bevestigingen isoleren trillingen

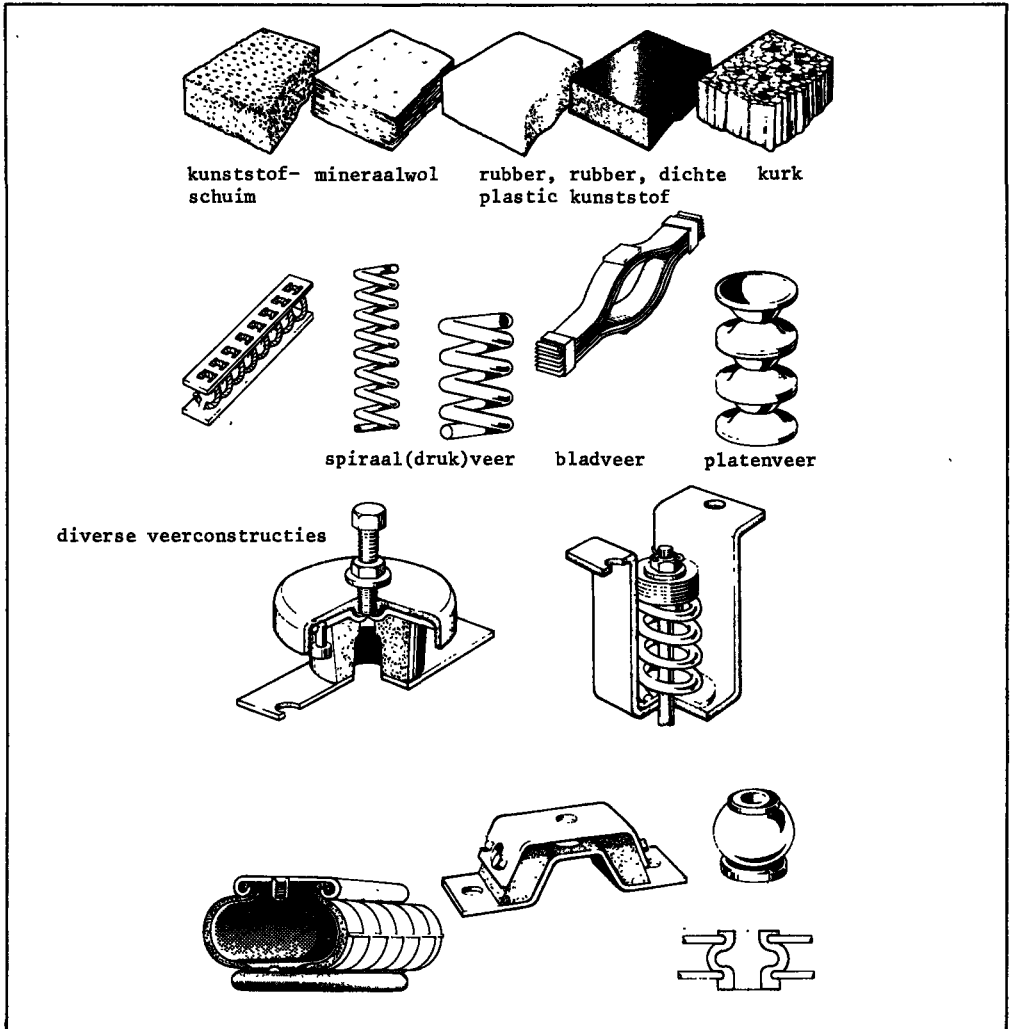
Bijna al het contactgeluid kan voorkómen of ten minste aanmerkelijk worden beperkt door de trillingsbronnen op veren (trillingsisolatoren) op te stellen. In sommige gevallen kan het nodig zijn de controlekamer ook verend op te stellen.

Het is aan te bevelen zo mogelijk de isolatoren zo dicht mogelijk bij de bron aan te brengen.



Voorbeeld

Mechanisch belaste veren (trillingsdempers) zijn van diverse materialen en in verschillende vormen verkrijgbaar.



GELUID VAN TRILLENDE MACHINES - VEREN

8.3.3 Verkeerd gekozen bevestigingen kunnen trillingen versterken

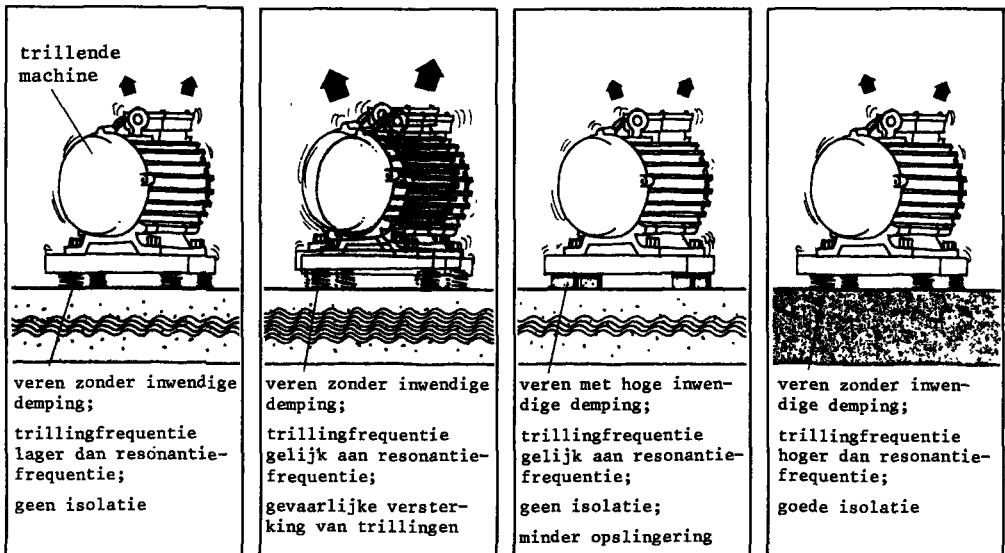
Een flexibel opgestelde machine heeft een bepaalde resonantiefrequentie op de bevestigingspunten, die afhangt van de stijfheid van de veren en de massa van de machine.

Een lichte machine met stijve veren heeft een hoge resonantiefrequentie, een zware machine met slappe veren een lage resonantiefrequentie.

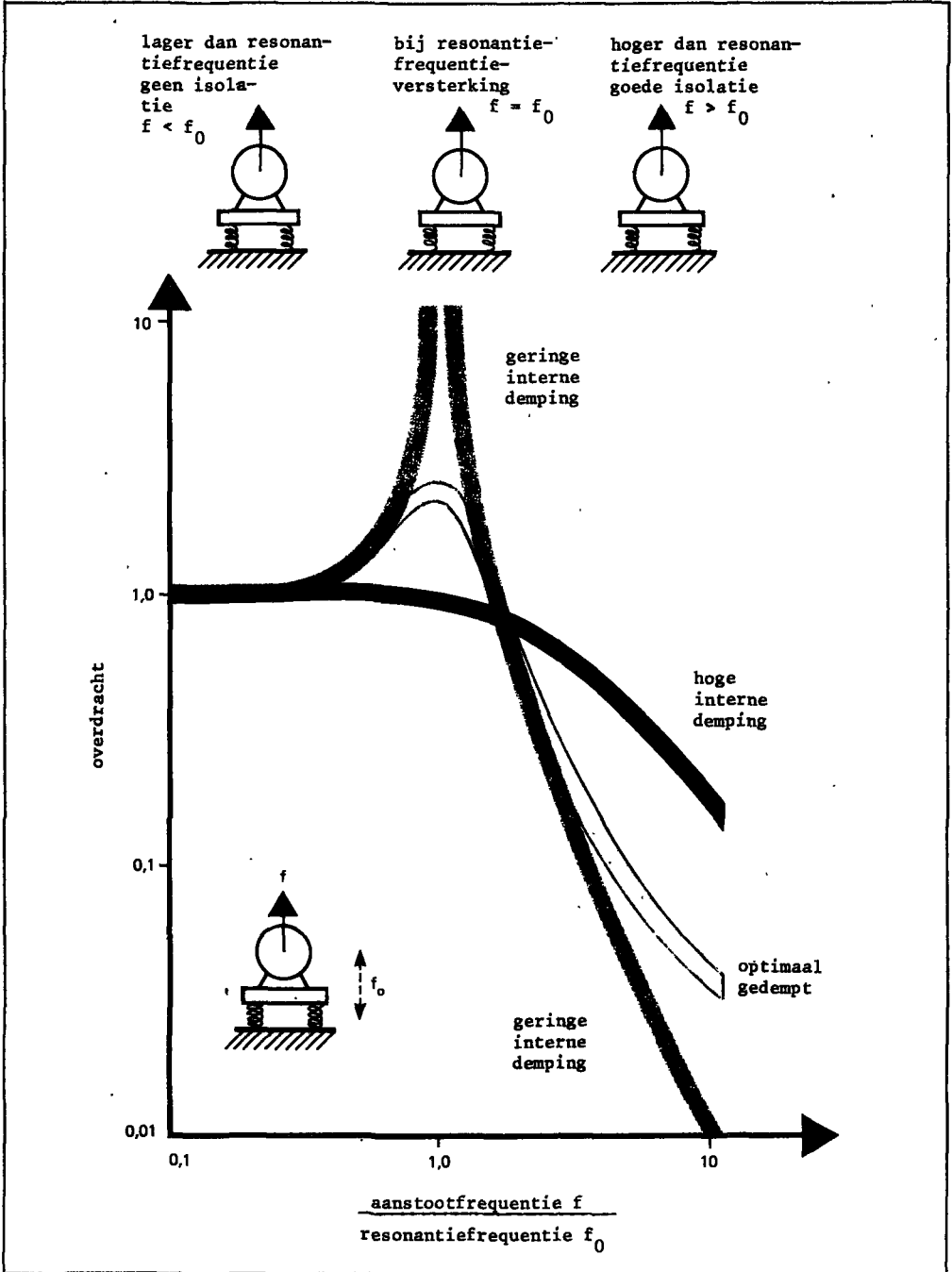
Trillingen van de machine met een lagere frequentie dan de resonantiefrequentie worden niet geïsoleerd. Trillingen met een hogere frequentie worden wel geïsoleerd en des te beter naarmate de frequentie hoger wordt.

Voorals als de interne demping van de bevestigingen laag is, zal de trilling bij resonantie worden versterkt in plaats van verzwakt. De grondfrequentie van de machine op zijn bevestigingen moet in ieder geval lager zijn dan de laagste frequentie die optreedt bij het in bedrijf zijn.

Als de machine langzaam op gang komt en langzaam uitloopt, moet de inwendige demping van de bevestigingen zo groot mogelijk zijn om de opslingering zoveel mogelijk te beperken.



Voorbeeld



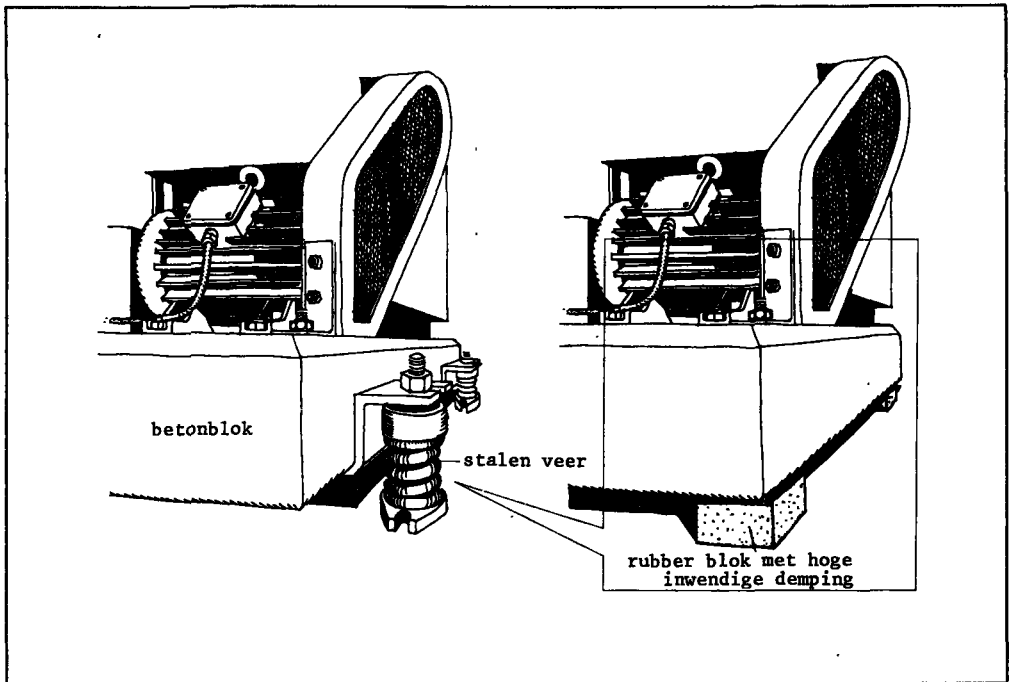
Voorbeeld

Als een machine met een constant toerental draait zonder veel te stoppen en te starten, kunnen de veren zo worden gekozen dat de eigen frequentie lager ligt dan de laagste aanstootfrequentie van de machine. Met een zo hoog mogelijke inwendige demping wordt een goede isolatie verkregen.

Is de opstelling echter vaak in resonantie, bijvoorbeeld door starten en stoppen, dan kunnen de veren al na korte tijd kapot gaan.

Oplossing

Door veren met een hoge inwendige demping te kiezen, zoals blokken van synthetische rubber, wordt de resonantie voor een groot deel gedempt, terwijl de isolatie bij constant toerental maar weinig afneemt.



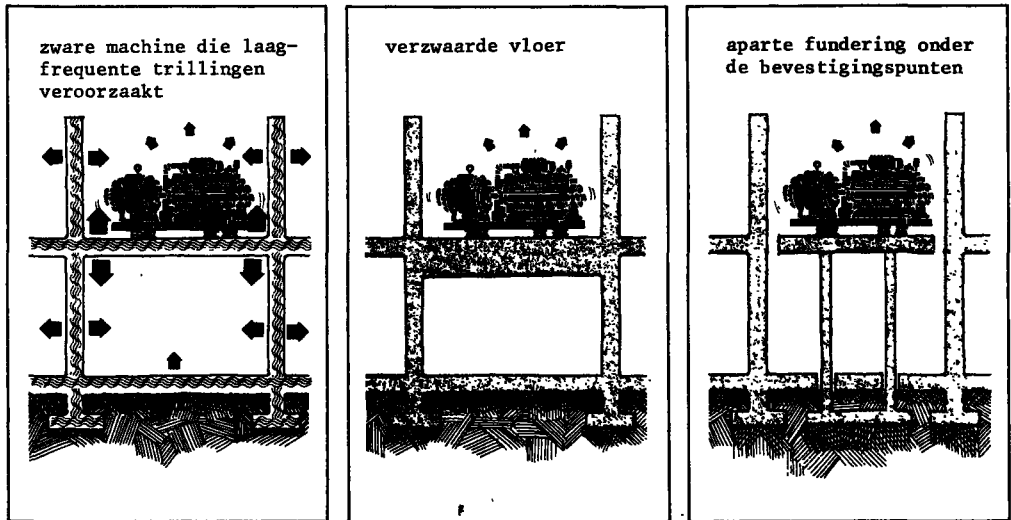
Voorbeeld

Een zware machine die veel laagfrequente trillingen produceert kan ondanks goede veren de vloer in resonantie brengen. Dit probleem doet zich met name voor in gebouwen met lichte betonvloeren. De mechanische impedantie daarvan is gering.

Oplossing

Voor een optimale isolatie moet de eigenfrequentie van de machine op de veren niet alleen onder die van de aanstootfrequentie van de machine liggen, maar ook onder de eigenfrequentie van de vloer.

In de praktijk kan dit worden gerealiseerd door een vloer te verzwaren of de machine apart te funderen.

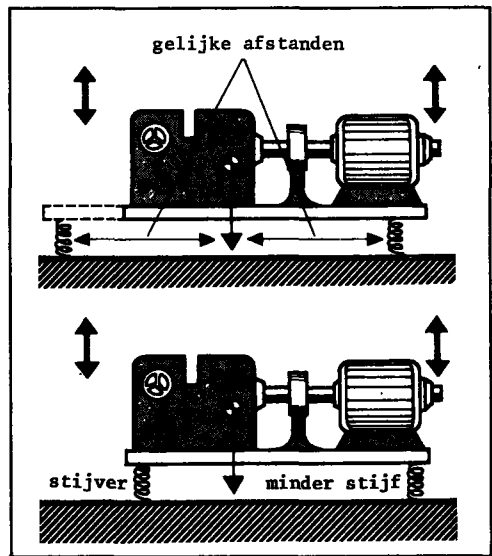
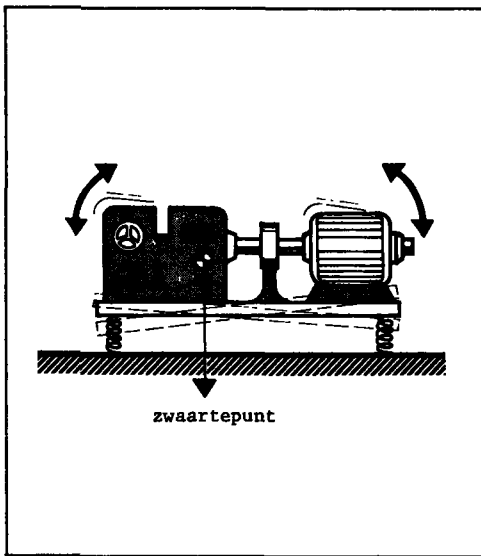


GELUID VAN TRILLENDE MACHINES - VEREN

8.3.4 Gelijke belasting van de steunpunten is nodig om schommelende bewegingen te voorkomen

De dimensionering van veren onder de machine moet zo worden gekozen dat de kracht per oplegpunt gelijk is; dan is ook de statische inverting gelijk. Verschillen ze onderling, dan kan de machine gaan schommelen met een hogere frequentie die niet goed wordt geïsoleerd.

Bij machines waar de kracht per oplegpunt verschilt door ongelijke gewichtverdeling, moeten de bevestigingen met een grote belasting stijver zijn dan die met een kleinere belasting. Het meest effectief zijn veren op oplegpunten die alle even ver van het zwaartepunt van de machine afliggen.

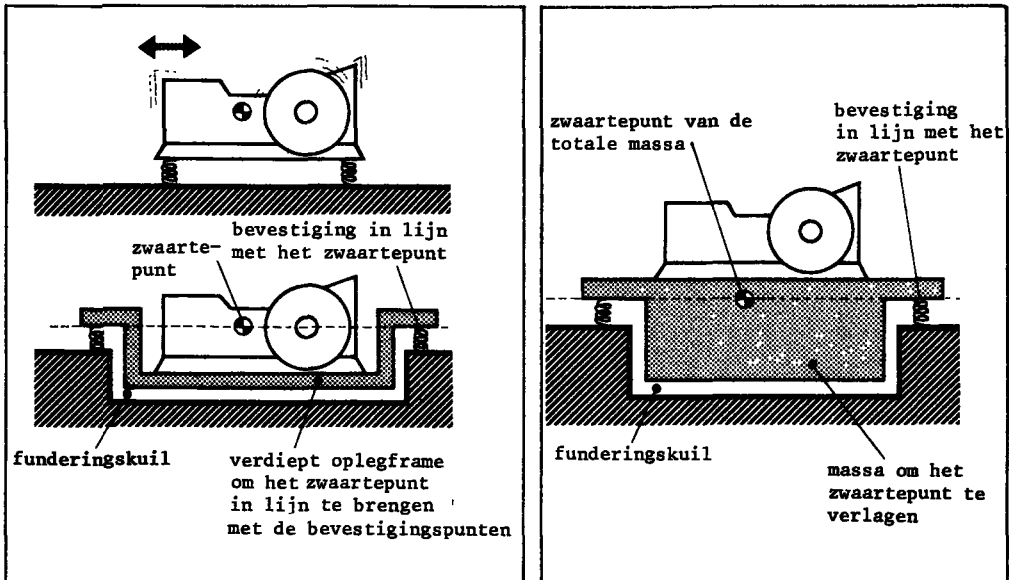


Voorbeeld

Wanneer het zwaartepunt van een machine boven de werklijn van de horizontale krachten ligt, kan de machine schommelende bewegingen gaan maken. Dit probleem doet zich vooral voor bij machines waarvan draaiende delen in onbalans zijn en de zijwaarts gerichte kracht groot is.

Oplossing

Door het zwaartepunt te verlagen door vermeerdering van de massa onder de machine of met een verdiept frame vallen de bevestigingspunten in hetzelfde vlak als het zwaartepunt.

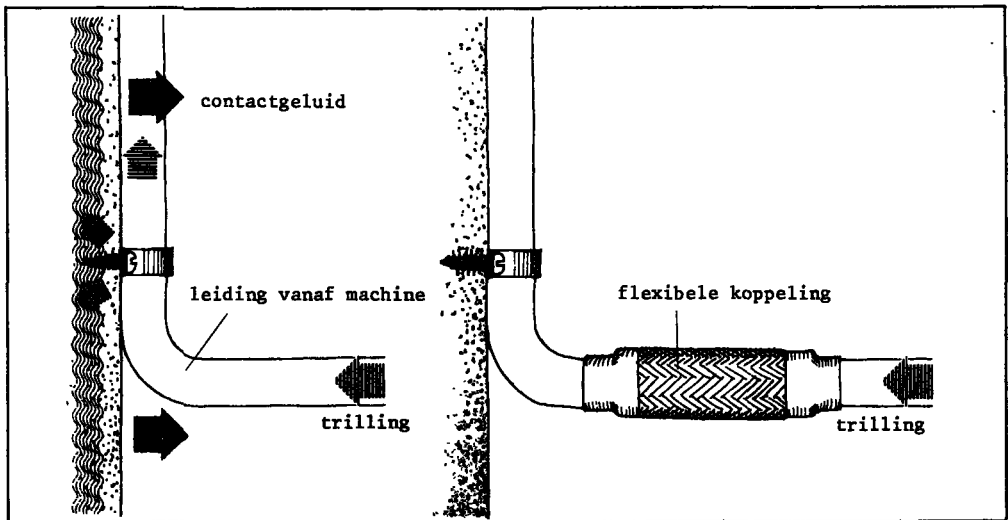


GELUID VAN TRILLENDE MACHINES - BEVESTIGING

8.3.5 Voorkom overdracht van contactgeluid via bevestigingen

Zelfs het effect van de meest effectieve trillingsisolatie kan tot nul worden gereduceerd, als de trillingen door aansluitingen zoals leidingen en kanalen worden overgedragen.

Deze moeten flexibel zijn of in ieder geval flexibele stukken hebben om trillingsoverdracht te voorkomen.

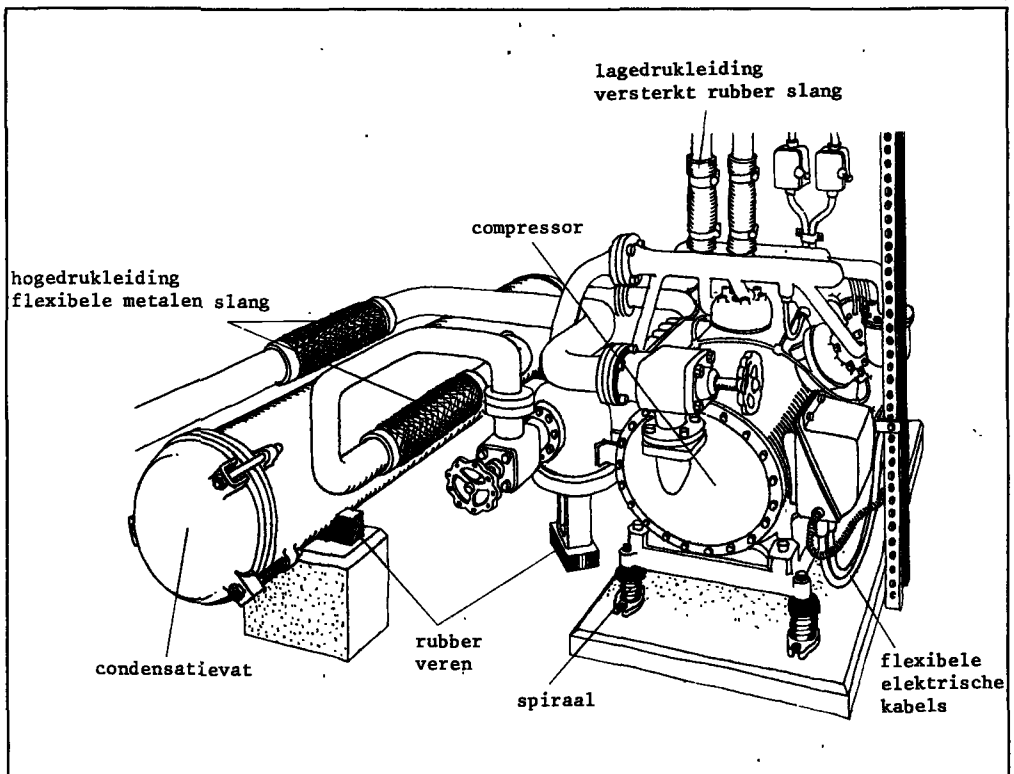


Voorbeeld

Koelmachines kunnen sterke geluidbronnen zijn door de grote drukveranderingen van de vloeistof in de compressor en de leidingen.

Oplossing

Het is noodzakelijk de gehele machine van trillingsdempers te voorzien en alle toe- en afvoerleidingen te isoleren met behulp van flexibele koppelingen.



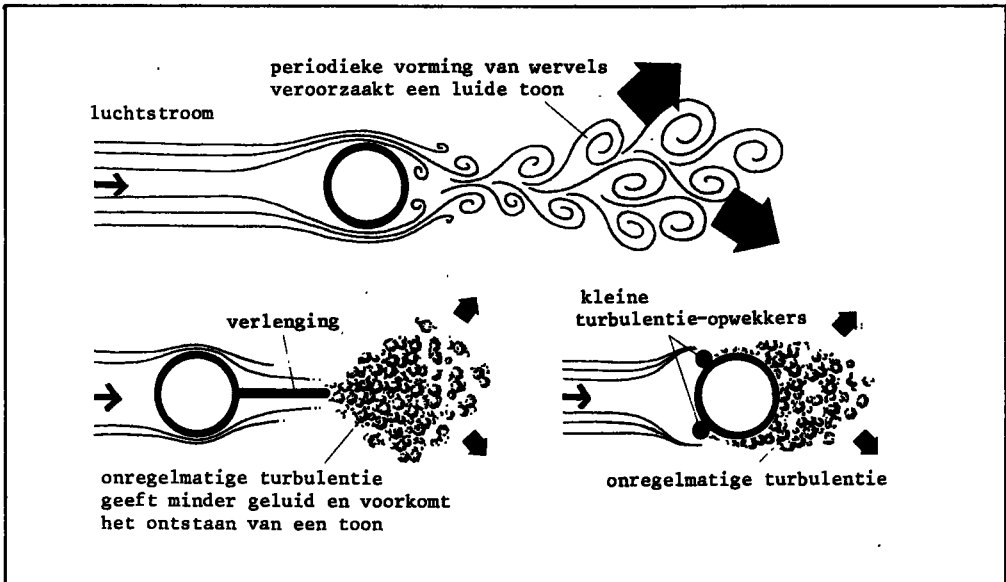
8.4 GELUIDPRODUKTIE IN LUCHT EN GASSEN - LUCHTSTROMING

8.4.1 Door luchtstroming opgewekte tonen kunnen worden vermeden door profielveranderingen of spoilers

Wanneer lucht langs een voorwerp stroomt kan bij bepaalde luchtsnelheden een krachtige zuivere toon, een zogenaamde aeolische toon, worden opgewekt. De toon wordt veroorzaakt door de periodieke vorming van afwisselende wervels stroomafwaarts aan de achterzijde van het voorwerp.

Behalve de luide toon kan dit fenomeen ook leiden tot bepaalde trillingen in de constructie en zelfs schade veroorzaken als een eigenfrequentie van het voorwerp samenvalt met de frequentie van de toon. Door vormverandering van het voorwerp in de richting van de luchtstroom, bijvoorbeeld door stroomlijning, is het mogelijk de grenslaag rond het voorwerp te laten stromen zonder vorming van wervels, waardoor het geluidniveau van de toon sterk wordt gereduceerd.

Wanneer de luchtstroom uit alle richtingen kan komen is deze methode niet geschikt, bijvoorbeeld bij schoorstenen. Spiraalvormig verlopende spoilers kunnen dan worden aangebracht, zodat ongeacht de stroomrichting toonvorming door wervels wordt voorkomen.

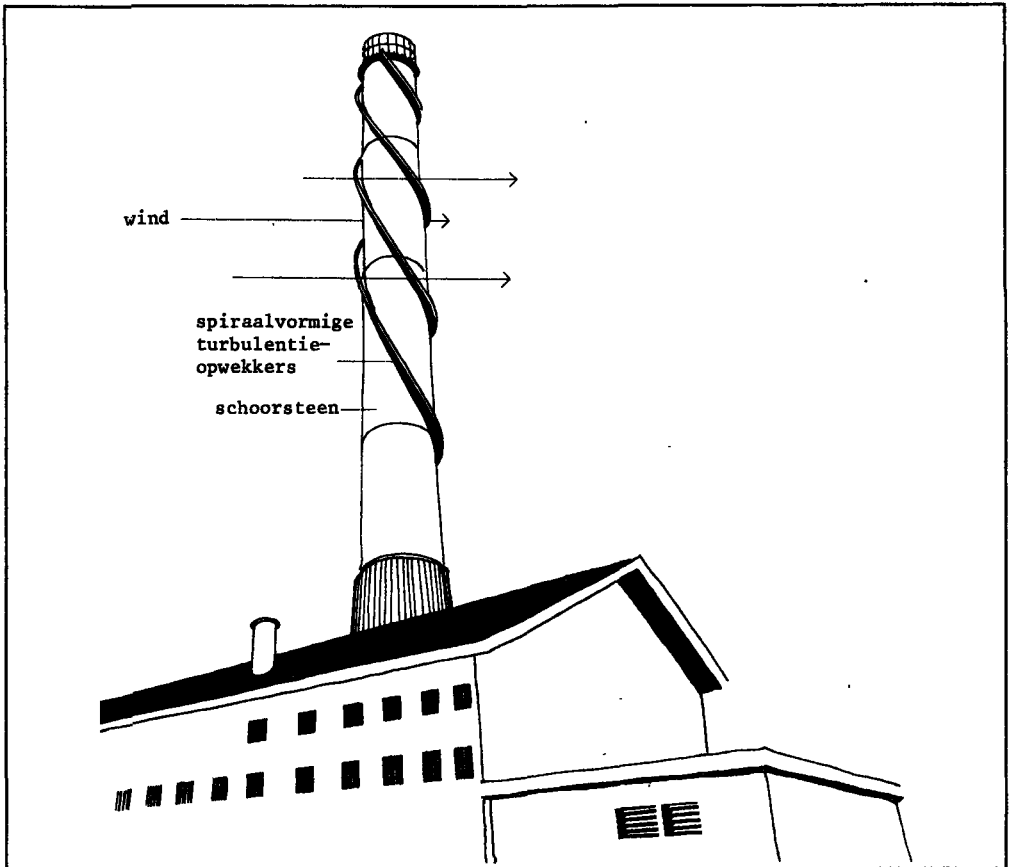


Voorbeeld

Bij bepaalde windsnelheden wordt er door de schoorsteen een sterke toon opgewekt.

Oplossing

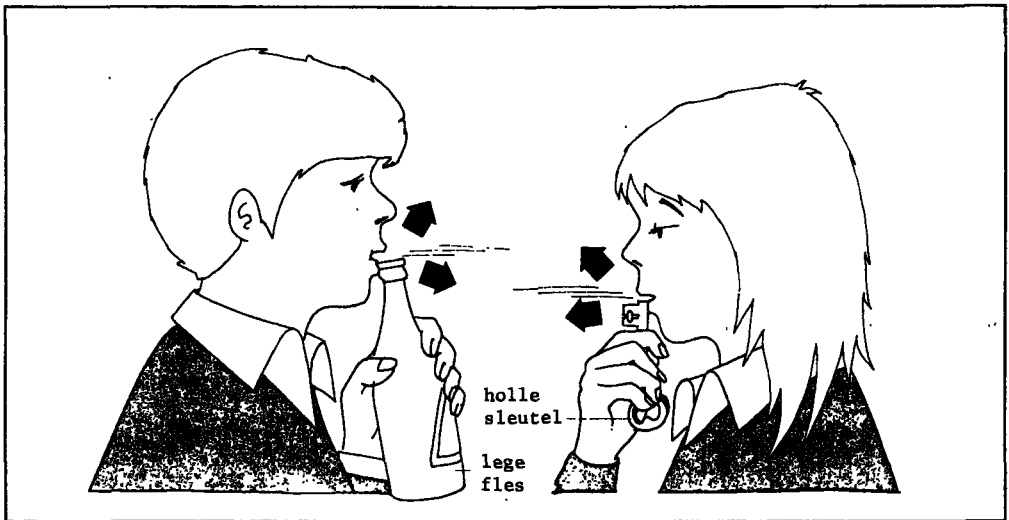
Een spiraalvormige spoiler van metaal, gemonteerd op de schoorsteen, veroorzaakt plaatselijke turbulentie onafhankelijk van de windrichting, waardoor de vorming van wervels en de toon die hierdoor ontstaat wordt voorkomen. De spoed van de windingen van de spiraal mag niet over de hele schoorsteen dezelfde zijn. De spiraal doet ook de sterkte en de stijfheid van de schoorsteen toenemen.



8.4.2 Voorkom luchtstroming over holten

Als er lucht wordt geblazen over een opening waarachter zich een holte bevindt, ontstaat een luide zuivere toon. Dit verschijnsel wordt Helmholtz-resonantie genoemd.

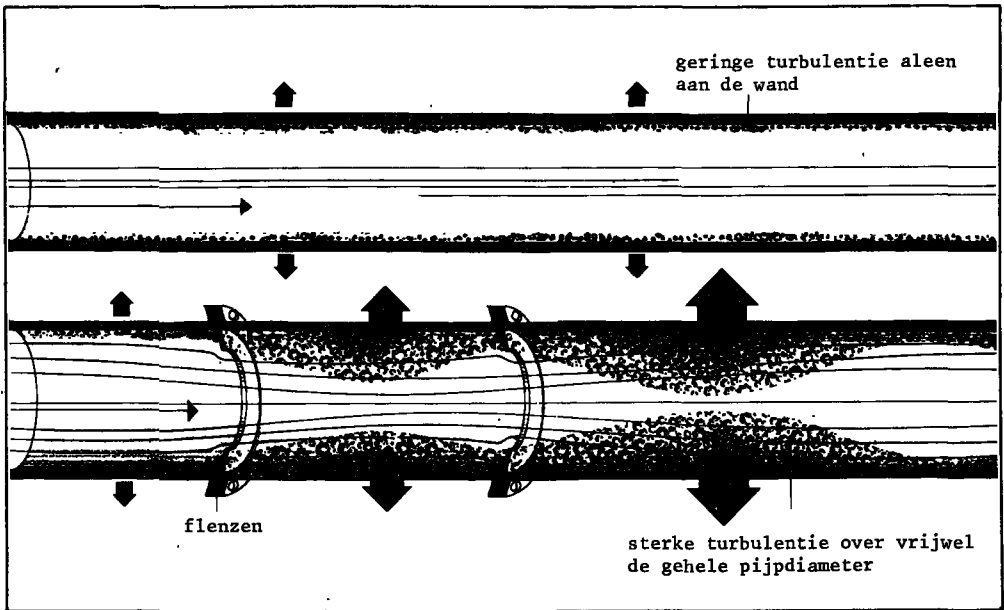
Muziekinstrumenten zoals een orgel en een fluit werken volgens ditzelfde principe. De frequentie van de opgewekte toon hangt primair af van het volume van de holte. Hoe groter het volume, des te lager de frequentie.



8.4.3 Gladde kanalen veroorzaken minder turbulentiegeluid

Stroming door kanalen en pijpen gaat altijd gepaard met de opwekking van turbulentie bij de wanden, hetgeen geluid veroorzaakt.

Als de stroom plotseling van richting verandert door obstakels in de leiding of door bochten, treedt sterke turbulentie op en wordt er veel geluid geproduceerd, waarvan de sterkte toeneemt naarmate de stroomsnelheid groter wordt. Als er zich op korte afstand van elkaar obstakels bevinden, heeft de stroming geen kans om zich weer gelijkmatig te verdelen en wordt de turbulentie door het tweede obstakel vergroot.

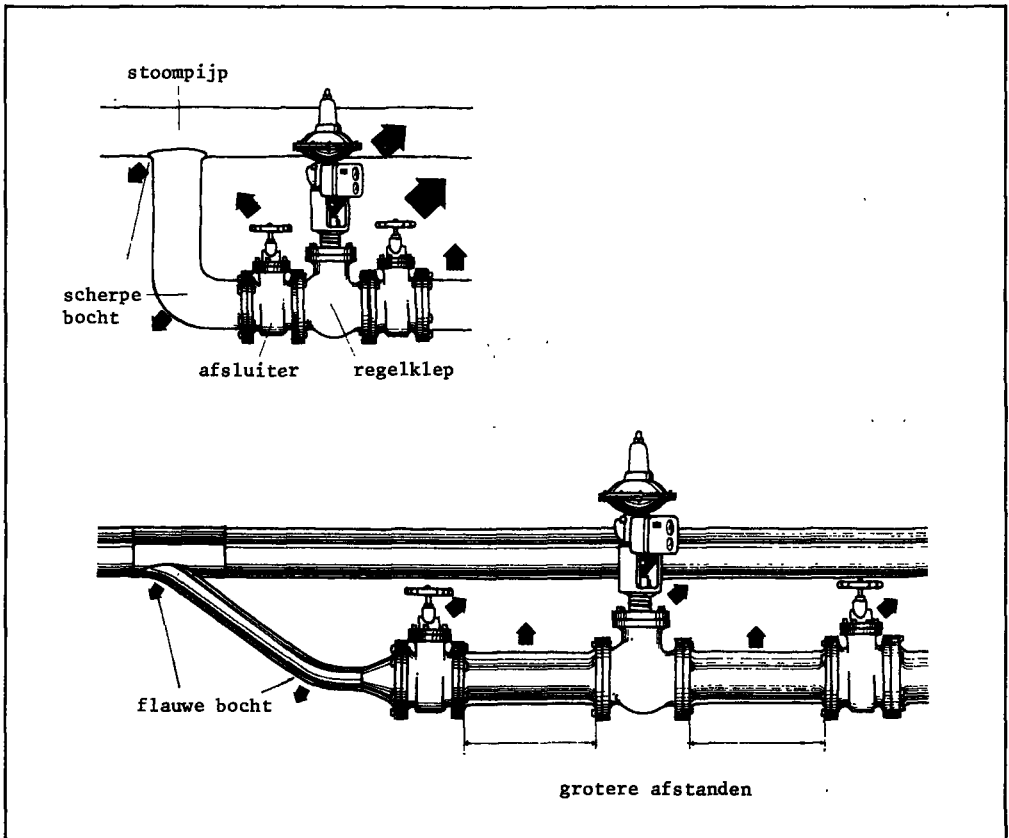


Voorbeeld

Drie kleppen in een sectie van een stoomleiding produceren een onaanvaardbaar hoog geluidniveau. De sectie heeft enkele scherpe bochten en de kleppen staan zo dicht bij elkaar dat er veel turbulentie optreedt.

Oplossing

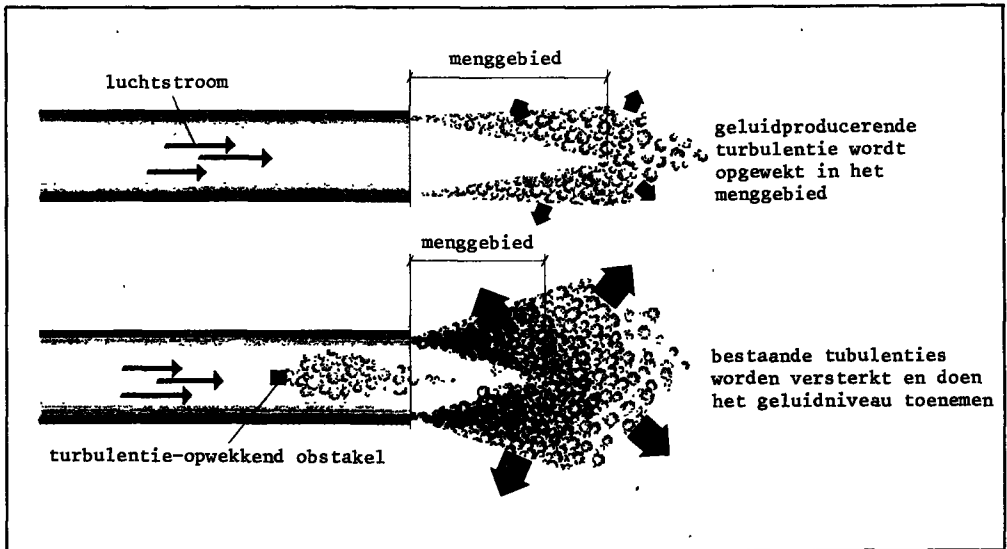
De bochten kunnen flauwer worden gemaakt om het opwekken van turbulentie te vermijden. De kleppen en afsluiters worden verder uit elkaar geplaatst, zodat het door de opgewekte turbulentie verstoorte stromingsprofiel zich kan herstellen, voordat de volgende klep wordt bereikt.



8.4.4 Ongestoorde stroming veroorzaakt minder uitlaatgeluid

Als snelstromend gas of lucht zich vermengt met stilstaande lucht, ontstaat turbulentie, hetgeen geluid veroorzaakt.

Is er al sprake van turbulentie in de hoofdstroom, dan wordt het kegelvormige oppervlak waarlangs de hoofdstroom zich vermengt met de stilstaande lucht kleiner en wordt meer turbulentie en daarmee meer geluid opgewekt. In sommige gevallen kan daardoor het geluiddrukkniveau wel 20 dB hoger worden. Verlaging van de snelheid geeft ook een niveauperlaging; bij halvering van de snelheid daalt het niveau met ongeveer 15 dB.

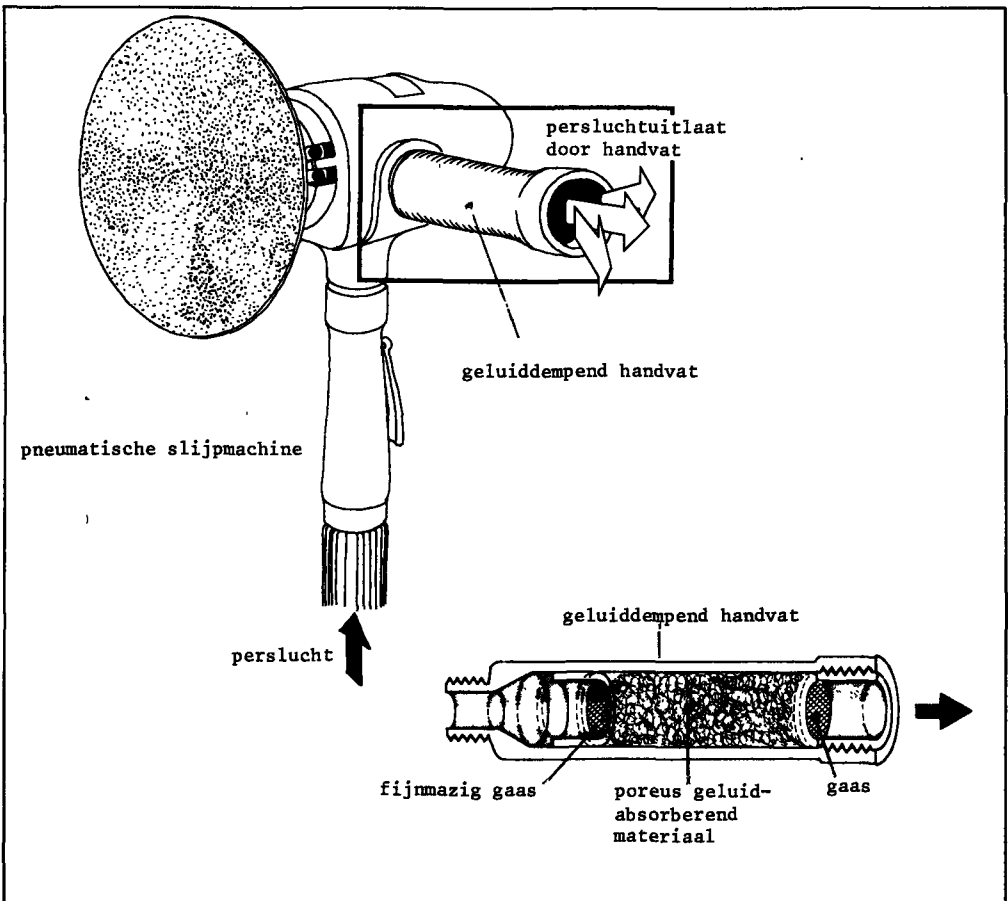


Voorbeeld

De uitlaatlucht van een door perslucht aangedreven schuurtoel veroorzaakt een hoog geluidniveau. De lucht die bij het verlaten van de "motor" al erg turbulent is, wordt door het handvat dat als uitlaat dienst doet afgevoerd. Het turbulentiegeluid wordt nog versterkt bij het vermengen van de uitstromende lucht met de buitenlucht.

Oplossing

Het handvat kan worden vervangen door een ander type, waarin een stuk staalwol is aangebracht dat door gaasringen op z'n plaats wordt gehouden. Door de lucht door het poreuze materiaal te voeren wordt de turbulentie en daarmee de geluidproduktie sterk verminderd.

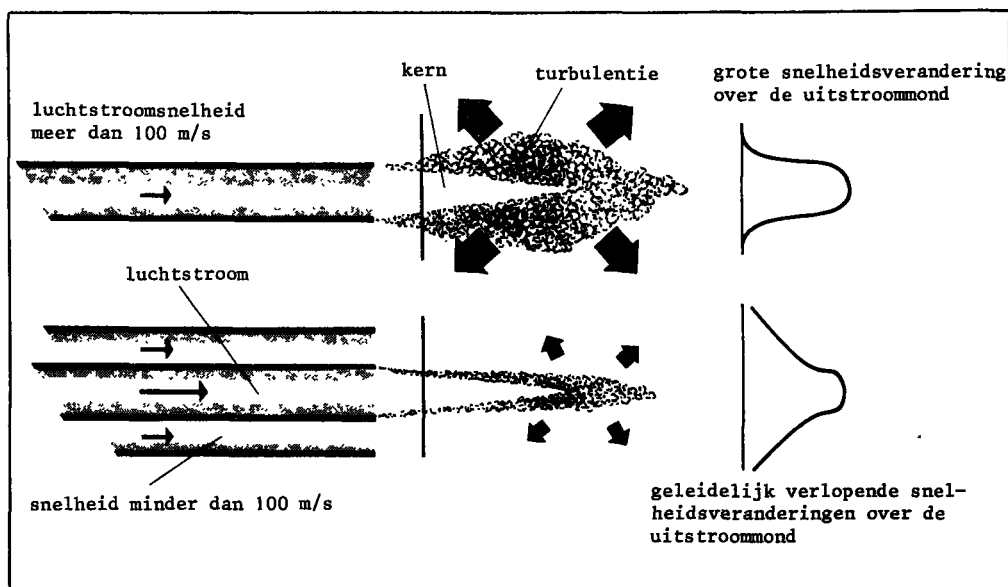


8.4.5 Turbulentiegeluid kan worden beperkt door extra luchtstroom

Bij luchtsnelheden boven ongeveer 100 m/s ontstaat turbulentiegeluid. De turbulentie voor de uitlaat is hevig.

In deze omstandigheden geeft een halvering van de uitstroomsnelheid een vermindering van het geluiddrukkniveau van ca. 20 dB. De sterkte van de turbulentie wordt bepaald door de uitstroomsnelheid ten opzichte van de snelheid van de omringende lucht.

Daardoor kan het geluidniveau vaak belangrijk worden verlaagd door een extra luchtstroom rondom de jet met een lagere snelheid te creëren, zodat het snelheidsprofiel minder steil verloopt.

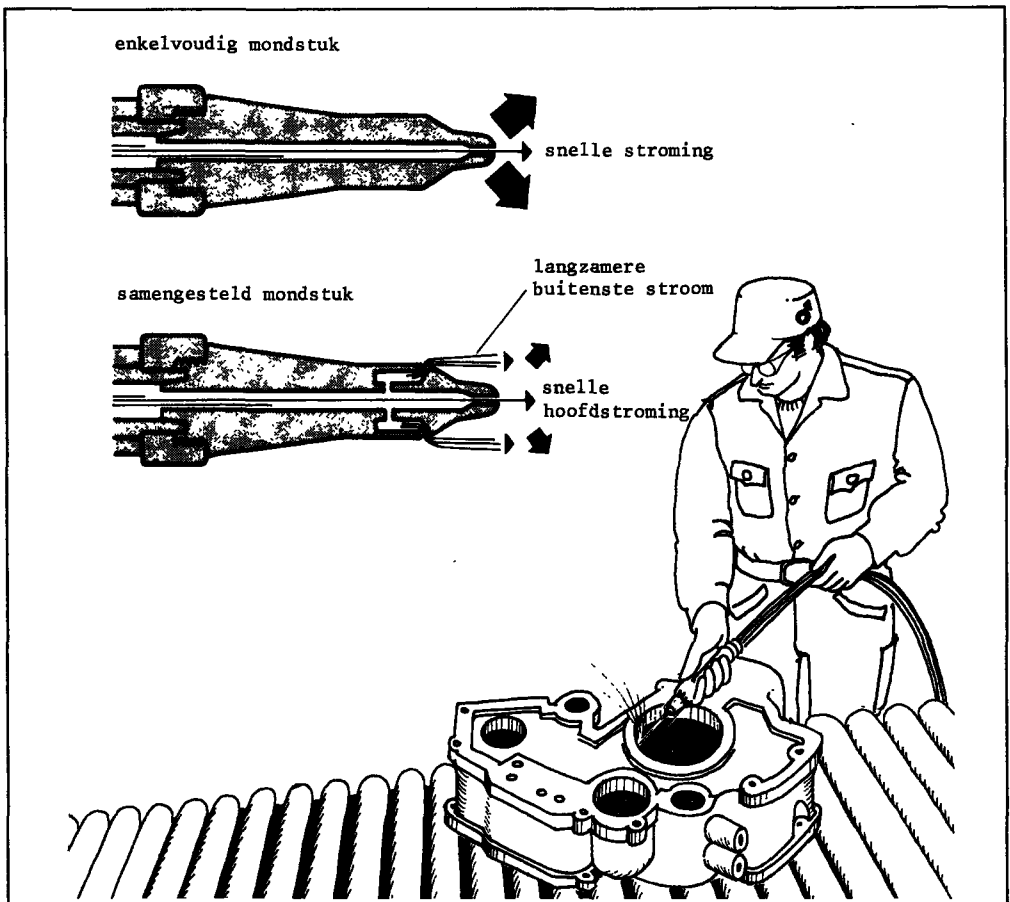


Voorbeeld

Voor het schoonblazen van werkstukken wordt vaak perslucht gebruikt. Het mondstuk van de spuit is veelal voorzien van één opening. De hoge luchtsnelheid die voor deze werkzaamheden nodig is veroorzaakt vaak hoogfrequent geluid van hoog niveau.

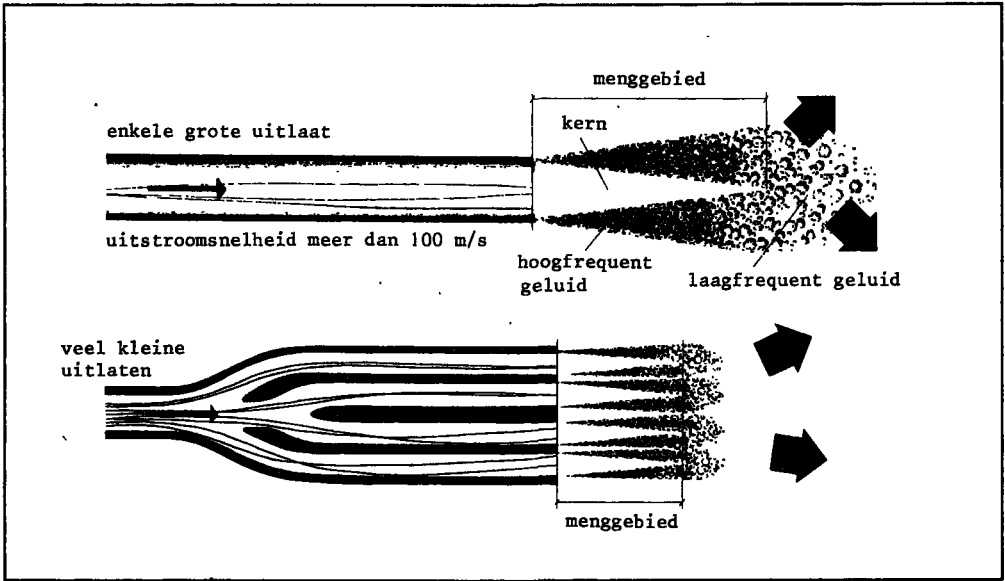
Oplissing

Het mondstuk kan worden vervangen door een mondstuk waarin enkele kleinere gaten zijn gemaakt waardoor om de hoofdstroom heen enkele stralen met een lagere snelheid worden uitgeblazen. De overgang van de snelle hoofdstroom naar de stilstaande omringende lucht verloopt nu geleidelijker en het geluidniveau is aanzienlijk verlaagd.



8.4.6 Laagfrequent uitlaatgeluid is gemakkelijker te dempen als het in een hogere frequentie wordt omgezet

Als een diameter van een uitlaat groot is, is het geluid hoofdzakelijk laagfrequent; bij een kleine uitlaat zijn de hogere frequenties bepalend. Door een grote uitlaat te vervangen door een aantal kleinere met dezelfde capaciteit is het mogelijk om het aandeel van de lage frequenties te verlagen. Het niveau van de hogere frequenties loopt dan uiteraard op, maar is eenvoudiger te dempen. De frequentieverschuiving kan zelfs zo groot zijn, dat het meeste geluid wordt geproduceerd bij frequenties die buiten het hoorbare gebied liggen.



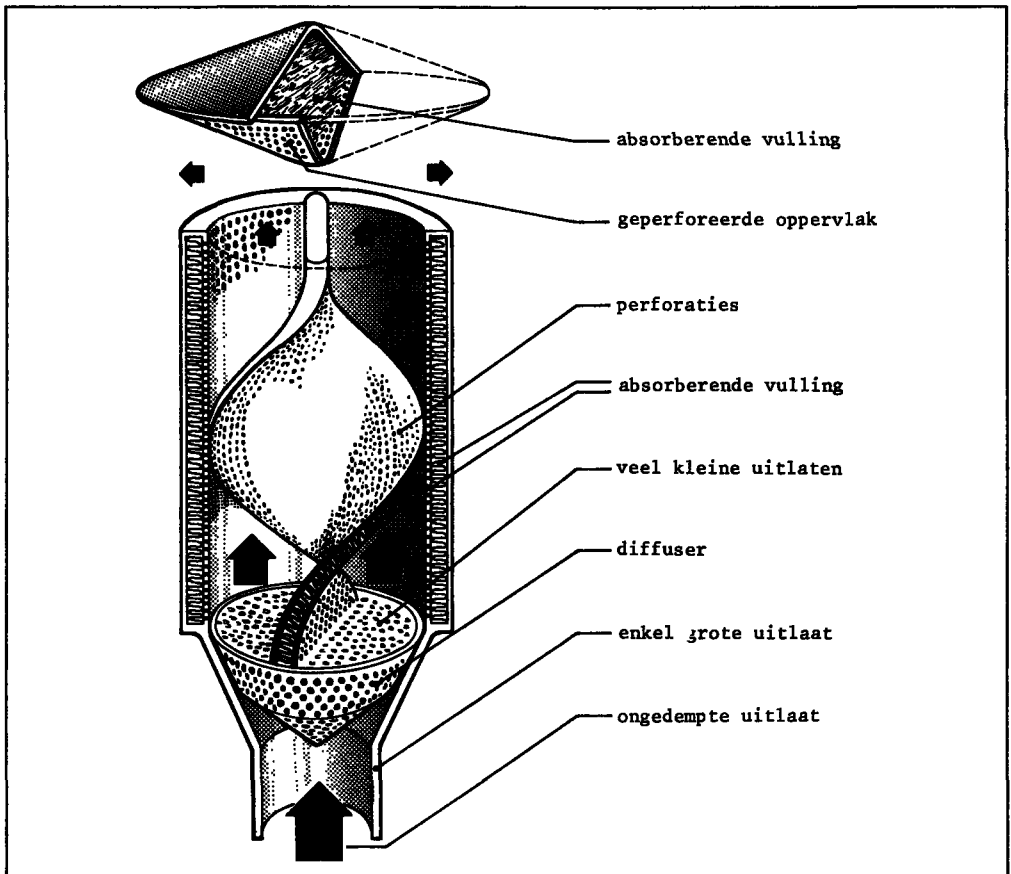
Voorbeeld

In energiecentrales en industrieën waar veel met stoom wordt gewerkt, zal zo nodig een grote hoeveelheid stoom worden afgeblazen, bijvoorbeeld door veiligheidsskleppen. Dit afblazen gaat vaak gepaard met een hoog geluidsniveau, voornamelijk bij lage frequenties.

Oplossing

Op een bestaande pijp kan een diffusor, gevolgd door een demper voor de hogere frequenties, worden gemonteerd.

Door de diffusor, die de uitstroomsnelheid verlaagt, uit te voeren als een geperforeerde plaat, waardoor in plaats van één grote stroom meer kleine stromen ontstaan en de frequentie hoger wordt, kan met een spiraalvormige demper en absorberend materiaal tegen de wanden een aanzienlijke niveauverlaging worden bereikt.

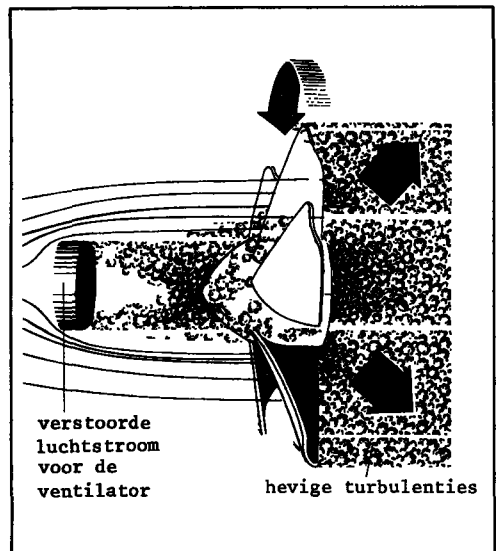
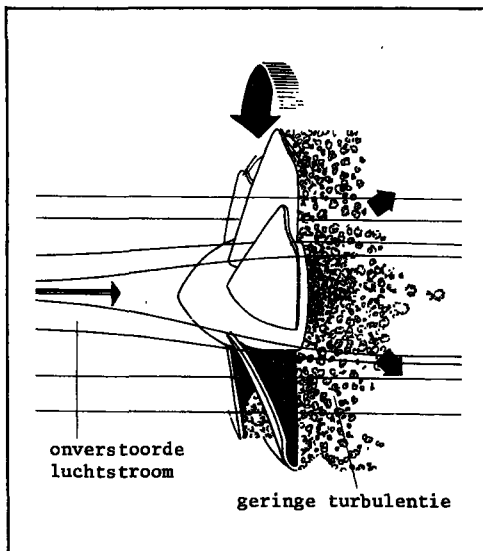


GELUIDPRODUKTIE IN LUCHT EN GASSEN - VENTILATOREN

8.4.7 Plaats ventilatoren in een regelmatige onverstoorde stroom

Ventilatoren veroorzaken turbulentie. Aanwezige turbulentie in de aangezogen lucht wordt vergroot en het geluid versterkt. Als de afstand tussen het voorwerp dat de turbulentie veroorzaakt en de ventilator groot genoeg is, kan het stromingsprofiel zich herstellen en wordt er minder geluid geproduceerd.

Bij voorkeur moeten ventilatoren daarom vóór of niet te dicht achter obstakels, kleppen, hoeken en doorsnedeanderingen worden geplaatst.



Voorbeeld

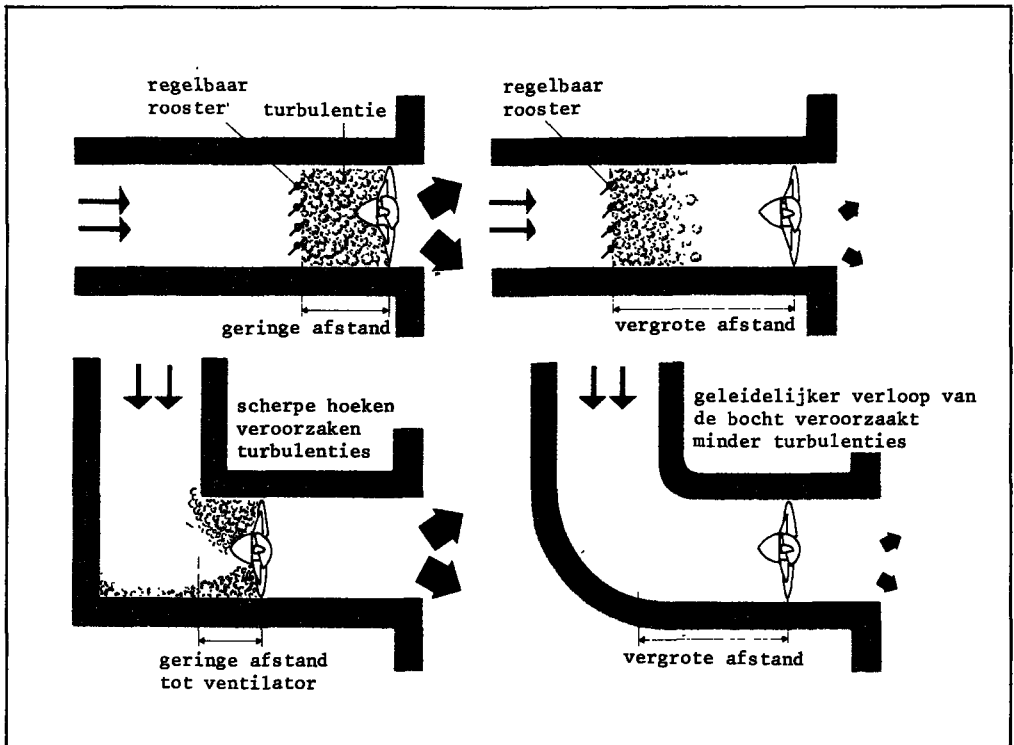
In het eerste geval staat de ventilator te dicht bij het regelbare rooster, in het tweede geval te dicht bij de bocht.

In beide voorbeelden treden extra turbulenties op, waardoor het geluid-niveau achter de ventilator wordt verhoogd.

Oplossing

Het regelbare rooster wordt verder van de ventilator geplaatst, zodat het stromingsprofiel zich beter kan herstellen.

De scherpe bocht wordt vervangen door een afgerond bochtstuk, waardoor minder turbulentie optreedt. Door bovendien de ventilator naar achteren te verplaatsen krijgt het stromingsprofiel weer beter de kans zich te herstellen.

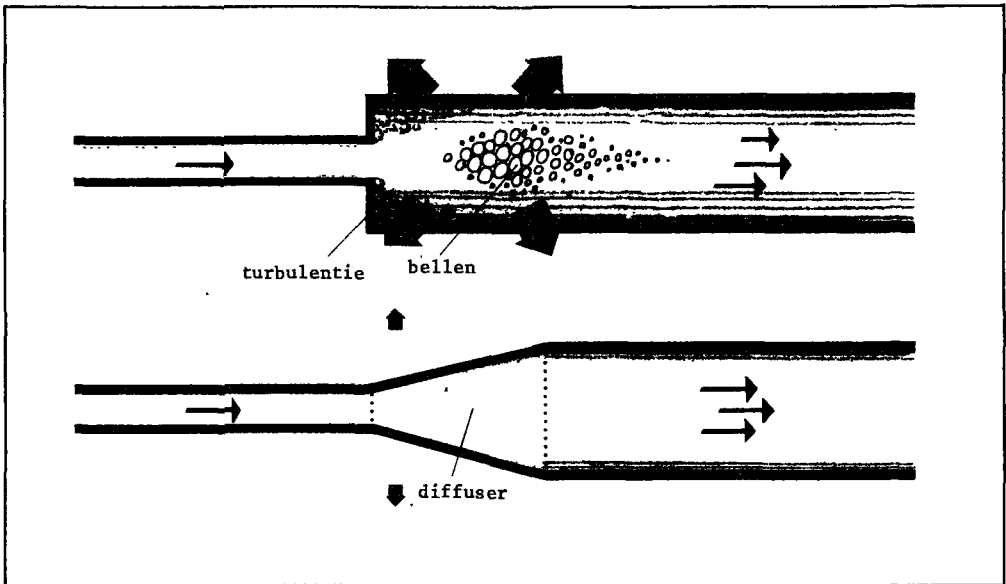


8.5 GELUIDPRODUKTIE IN STROMENDE VLOEISTOFFEN - LEIDINGEN

8.5.1 Stromingsgeluid in leidingen ontstaat door plotselinge drukveranderingen

Net zoals in lucht, veroorzaken plotselinge drukveranderingen in vloeistof geluid. Bij plotselinge drukverlaging kunnen dampbelletjes ontstaan doordat de vloeistof plaatselijk gaat koken. Deze dampbelletjes imploderen spoedig daarna, waardoor geluid wordt opgewekt.

Het drukverschil wordt meestal veroorzaakt door een plotselinge verandering van doorsnede. Het kan worden voorkomen door te zorgen voor een gladde en gelijkmatige en geleidelijke overgang.



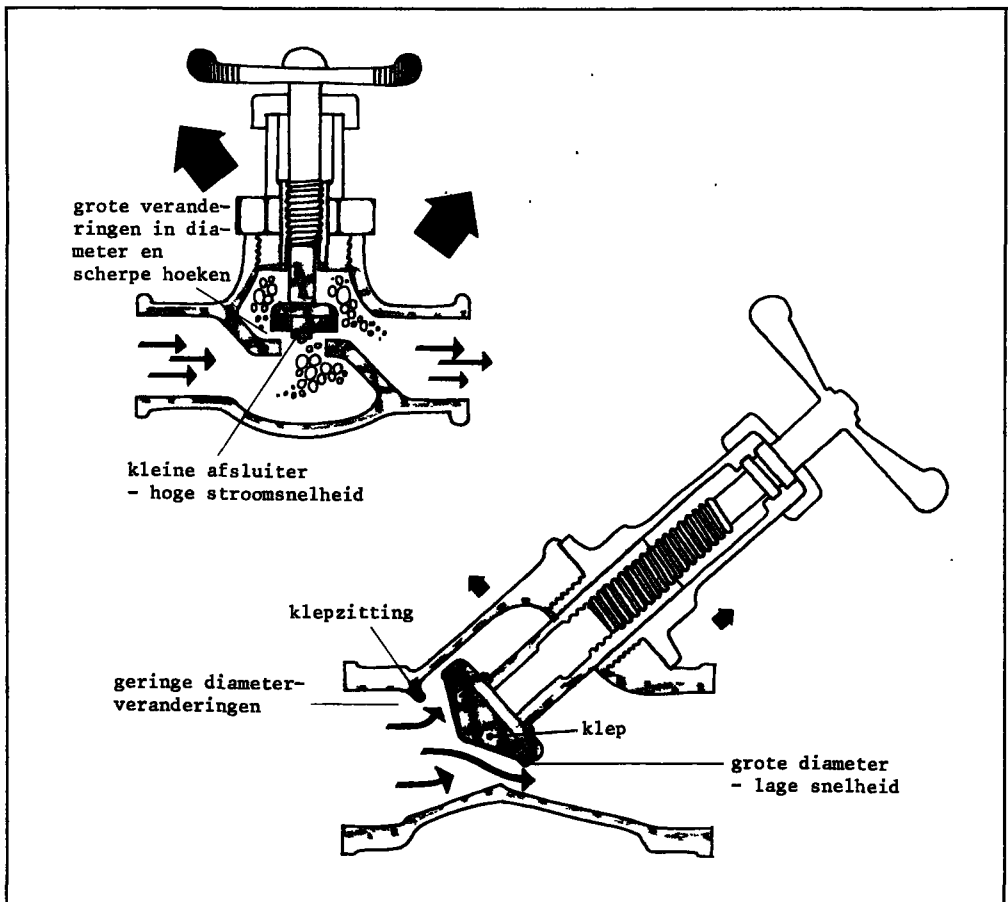
Voorbeeld

Afsluiters in vloeistofleidingen hebben vaak een kleine zittingdiameter, waardoor de stroomsnelheid langs de klep erg hoog wordt.

De gedwongen omweg en de scherpe bochten veroorzaken sterke turbulentie. Er wordt direct van de afsluiter geluid afgestraald en ook wordt de leiding zelf in trilling gebracht. Deze trillingen manifesteren zich verderop als contactgeluid.

Oplossing

Door toepassing van een ander type afsluiter kunnen geluidproblemen worden voorkomen.

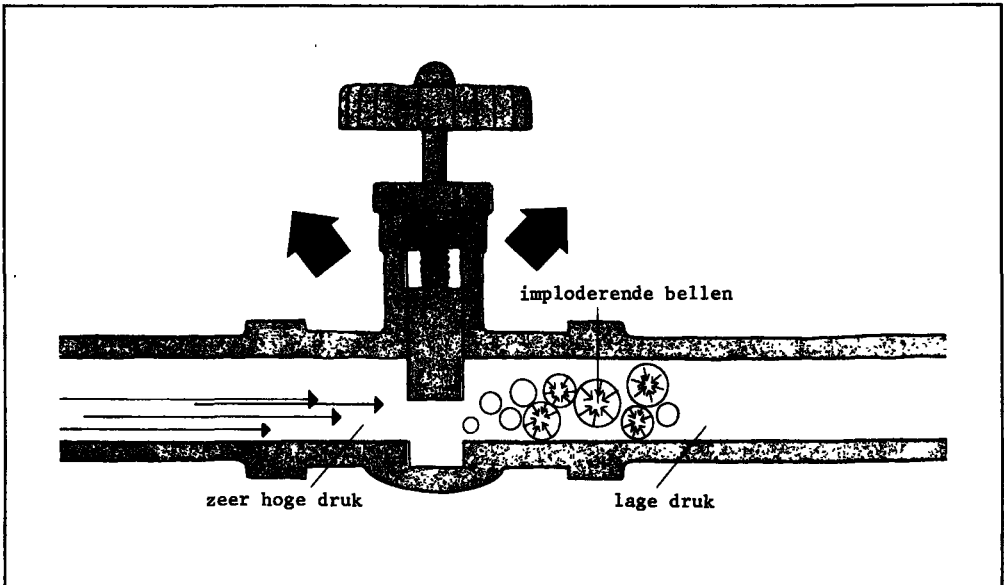


8.5.2 Plotselinge grote drukveranderingen veroorzaken cavitatie

Als een drukverandering groot genoeg is en snel plaatsvindt, ontstaan belletjes die bijna ogenblikkelijk weer imploderen.

Dit gaat gepaard met een enorme geluidproduktie en een hoog trillingsniveau. Cavitatie, zoals dit verschijnsel wordt genoemd, kan onder andere optreden bij afsluiters en pompen in hydraulische systemen, waarin met een hoge druk wordt gewerkt.

Door de druk stapsgewijs terug te brengen is het mogelijk cavitatie te vermijden.

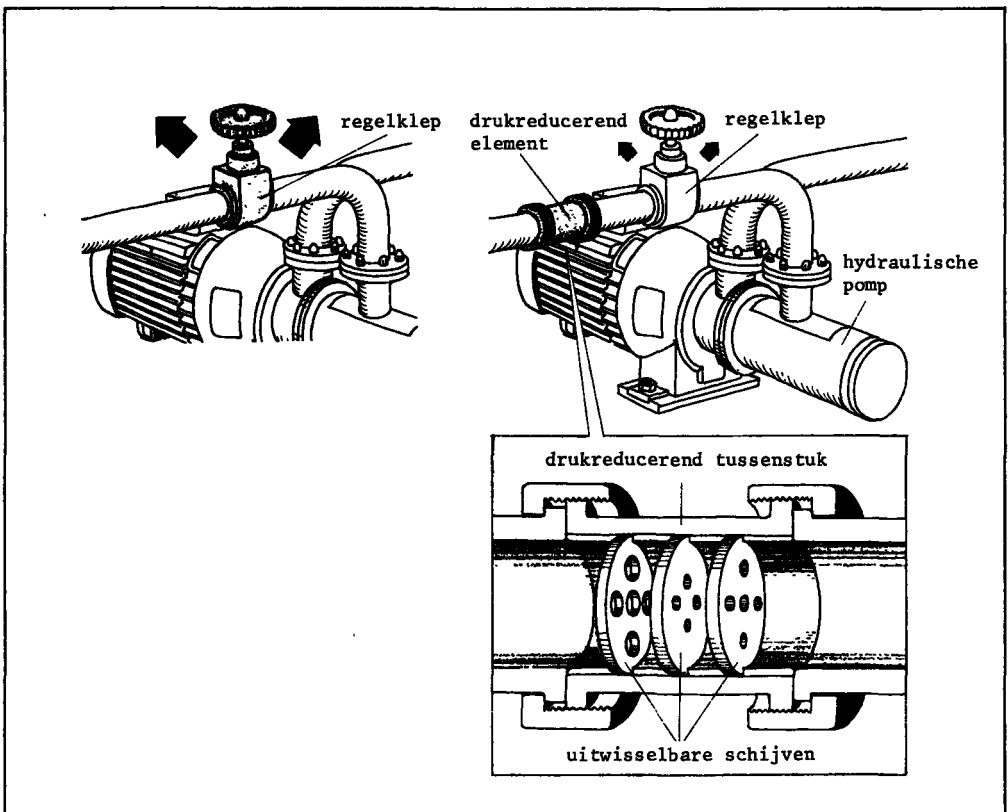


Voorbeeld

Slechts bij uitzondering wordt de capaciteit van een pomp in een hydraulisch systeem volledig benut, zodat de druk door een ventiel moet worden geregeld. De sterke drukverandering bij de klep kan de oorzaak zijn van onnodig sterke afstraling door het ventiel, die zich als contactgeluid kan uitbreiden door het hele gebouw.

Oplossing

Naast de regelklep kan een drukreducerend element worden ingebracht. Dit element bevat een aantal uitwisselbare schijven met verschillende perforaties. Ze worden zo gekozen dat de reductie voldoende klein is om cavitatie te voorkomen.



8.6 GELUIDREDUCTIE DOOR OMKASTINGEN - ISOLATIE

8.6.1 Isolatie van enkelvoudige wanden is afhankelijk van de massa

Als geluid op een wand valt, wordt de wand in trilling gebracht en wordt aan de andere kant geluid afgestraald. De sterkte van de afstraling is afhankelijk van de isolatie van de wand; deze wordt onder andere bepaald door de massa per m^2 en de frequentie.

In het algemeen wordt de isolatie hoger naarmate frequentie en massa toenemen, totdat het punt wordt bereikt waar coïncidentie optreedt.

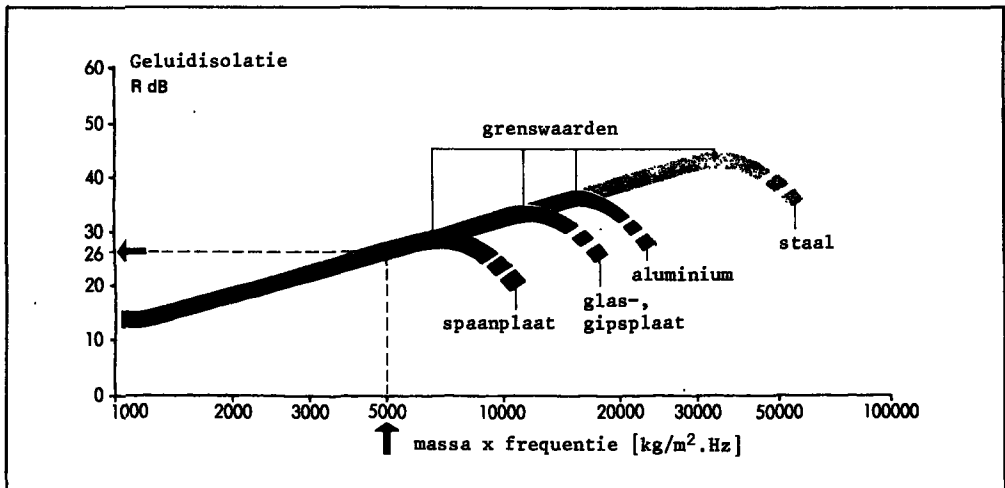
Voorbeeld

De isolatie van sommige materialen kan globaal worden berekend met behulp van de onderstaande grafiek.

Gevraagd: Isolatie van spaanplaat van 15 mm dik bij 500 Hz.

De massa van de plaat bedraagt 10 kg/m^2

Oplissing: $10 \times 500 = 5000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{Hz} \rightarrow \text{Isolatie} = 26 \text{ dB}$

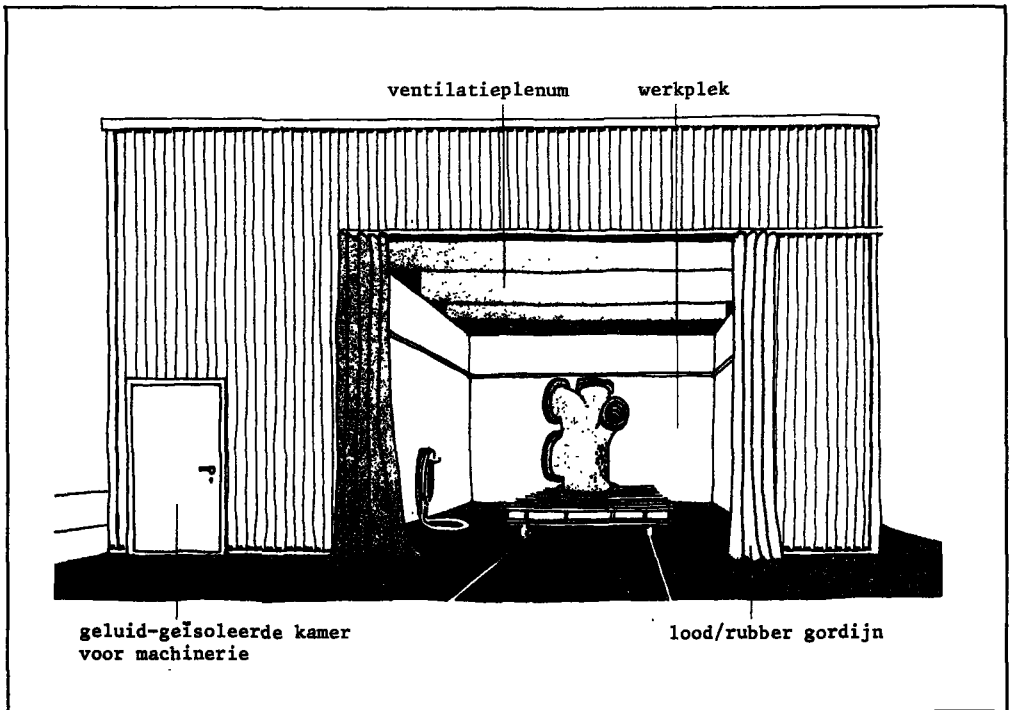


Voorbeeld

Een gritstraalsysteem is de belangrijkste geluidbron in een werkplaats; deze wordt alleen door middel van dunne gordijnen van de rest van de werkplaats gescheiden.

Oplossing

Er kan een geluidgeïsoleerde machinekamer worden gebouwd en een gedeelte rond de werkplek kan worden afgescheiden. Toegang tot deze werkplek gaat via zware lood/rubber gordijnen die een hoge isolatie hebben, terwijl ze toch flexibel zijn en gemakkelijk te vouwen.



GELUIDREDUCTIE DOOR OMKASTINGEN - ISOLATIE

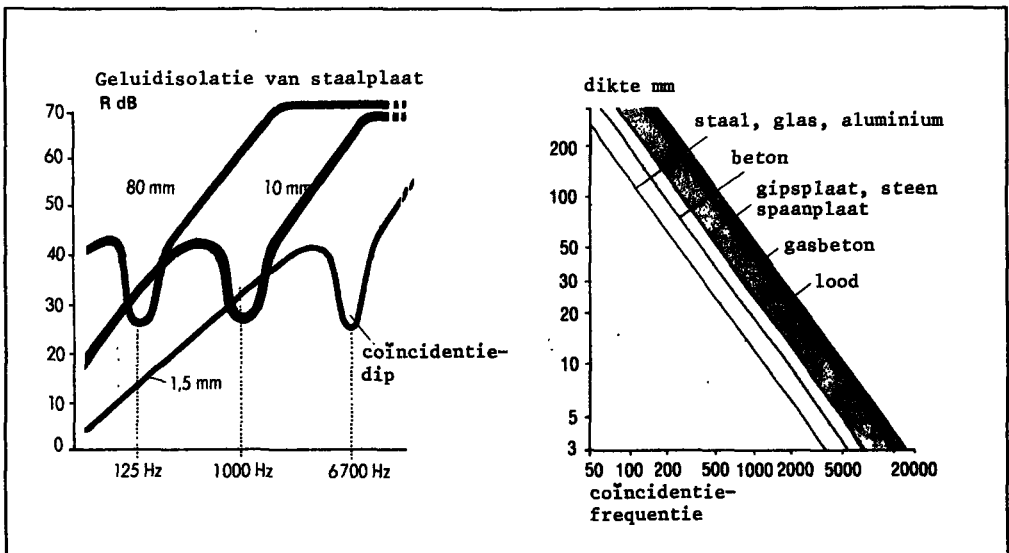
8.6.2 Enkelvoudige wanden hebben een gebied met matige isolatie (= coïncidentie)

Als er op een wand een geluidsgolf valt, gaat de wand trillen. Bij een bepaalde frequentie, de resonantiefrequentie of coïncidentie-frequentie, die afhangt van de stijfheid en de dikte geraakt de wand sterker in trilling en straalt ook meer af.

Bij deze frequentie is de isolatie dus minder dan op grond van de massa per m² verwacht zou worden.

De vermindering in isolatie - coïncidentiedip - is groter (dieper) naarmate de inwendige demping kleiner is.

Als een wand of paneel dikker wordt gemaakt, verschuift de coïncidentiedip naar een lagere frequentie. Soms wordt met een dunne wand bij bepaalde frequenties een hogere isolatie gehaald dan met een dikkere wand van hetzelfde materiaal.

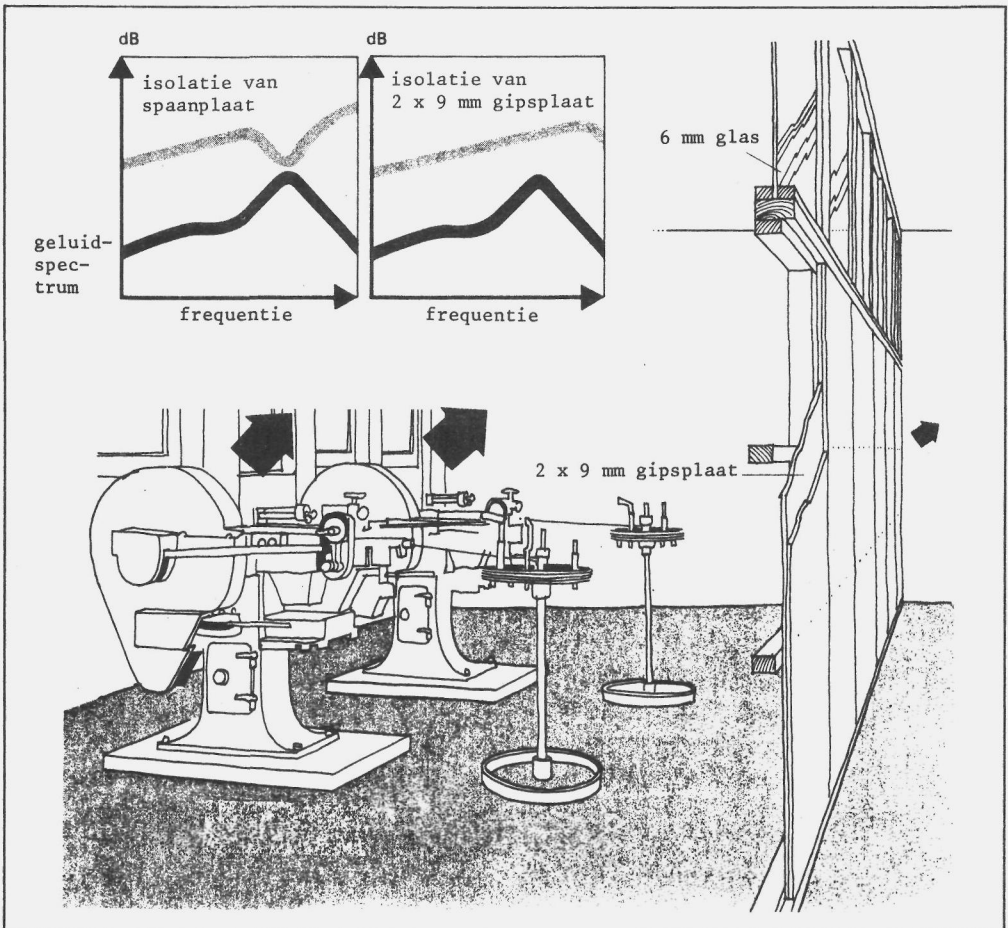


Voorbeeld

In een bepaald gedeelte van een werkplaats stonden machines die veel geluid produceerden bij 1000 Hz. De machines waren afgeschermd door een wand van 25 mm spaanplaat met 6 mm glas. De isolatie bleef ver achter bij wat men verwachtte, omdat de spaanplaat juist bij 1000 Hz een coïncidentiedip had.

Oplossing

Door de spaanplaat te vervangen door twee lagen gipsplaat werd de isolatie 10 dB verhoogd, hoewel de massa nagenoeg dezelfde bleef. Maar omdat de stijfheid tot eenvierde werd teruggebracht, verschoof de coïncidentiedip naar een veel hogere frequentie.



GELUIDREDUCTIE DOOR OMKASTINGEN - ISOLATIE

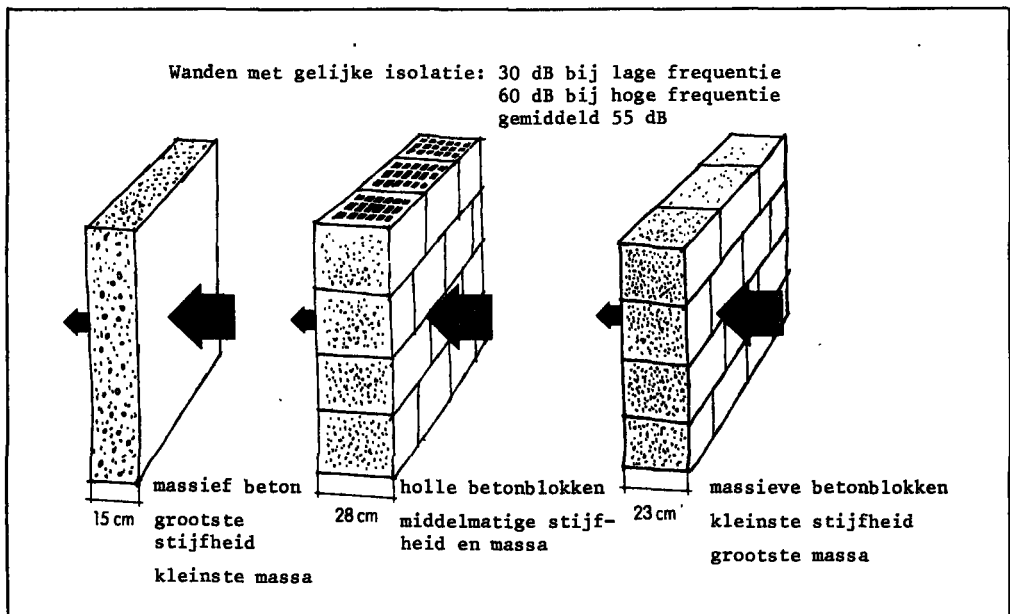
8.6.3 Grote stijfheid en grote massa zijn beide gunstig voor de isolatie van dikke wanden

De meeste enkelvoudige steenachtige wanden (metselwerk, beton) hebben een coïncidentiedip rond 100 Hz. Boven deze frequenties neemt de isolatie toe met grotere massa en stijfheid.

Een massieve betonwand is stijver dan een blokkenwand en zal bij een geringere dikte dezelfde isolatie geven.

Over het algemeen geldt dat metselwerk, beton en dergelijke een grote massa hebben, dik zijn en dus stijf en daardoor een lage coïncidentiefrequentie. Voor isolatiedoeleinden zijn deze wanden daarom geschikt voor vrijwel alle geluid.

Lichte panelen daarentegen zijn meestal dun, slap en hebben een hogere coïncidentiefrequentie die vaak midden in het te isoleren gebied ligt. Met deze constructies moet men dus oppassen voor wat betreft de isolatie.

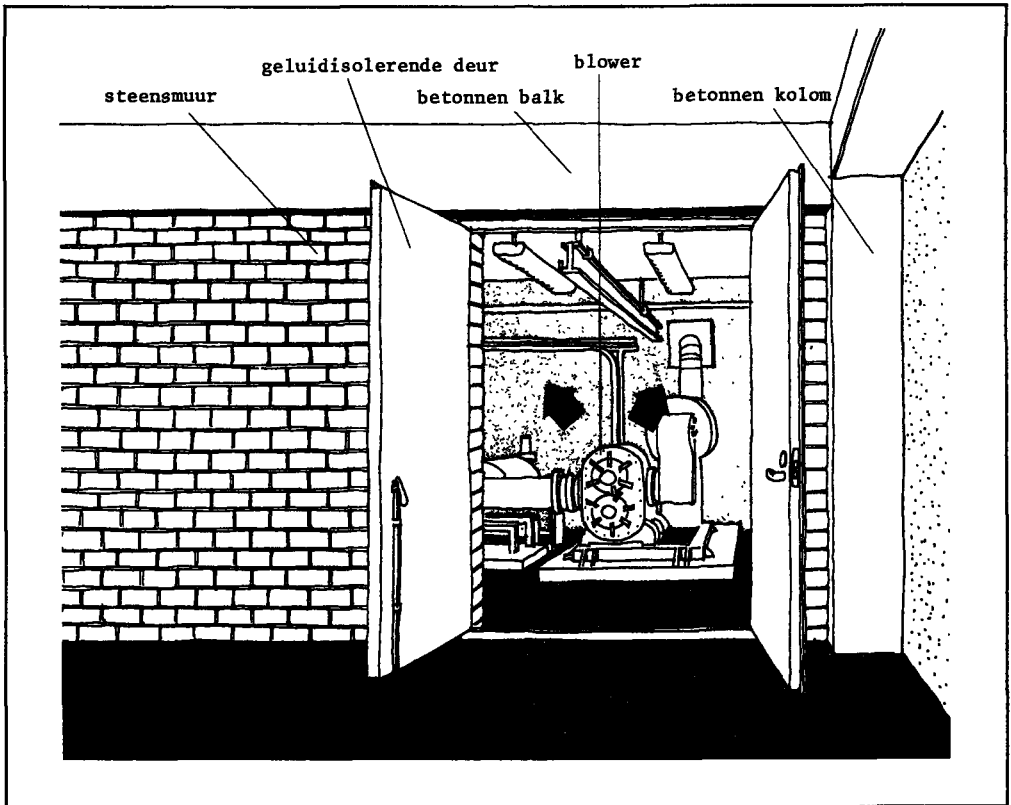


Voorbeeld

De belangrijkste geluidbron in een fabrieksgebouw bleek een "blower".

Oplossing

Rond de machinerie werd een steensmuur gebouwd met geluidisolerende deuren. Dit type constructie werd gekozen omdat het bestand moest zijn tegen schade door transportkarretjes e.d. en tevens om de zwaar belaste vloer erboven te helpen dragen.



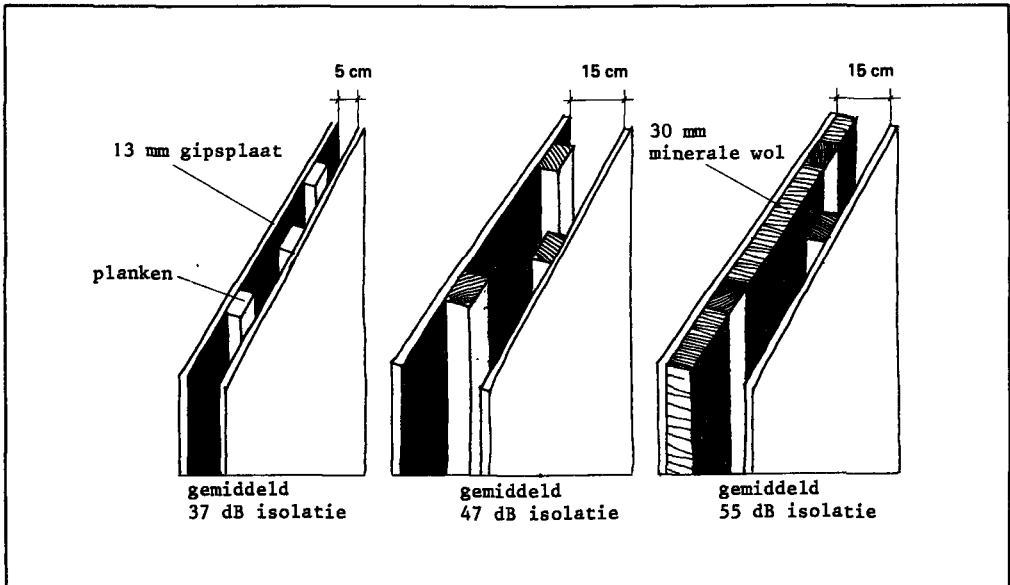
GELUIDREDUCTIE DOOR OMKASTINGEN - ISOLATIE

8.6.4 Dubbele lichte scheidingswanden hebben een hoge isolatie

Twee lichte wanden die los van elkaar worden neergezet hebben een hogere isolatie dan wanneer de wanden worden gekoppeld. Door het vergroten van de spouw of door het inbrengen van absorberend materiaal kan de isolatie nog aanzienlijk worden verhoogd.

Koppelingen geven een isolatieverlaging. Daarom moeten er zo min mogelijk worden aangebracht en liefst nog alleen zeer elastische.

Er kunnen isolaties worden gehaald die met een enkelvoudige wand slechts te bereiken zijn als de massa 5- of 10-maal zo groot is.



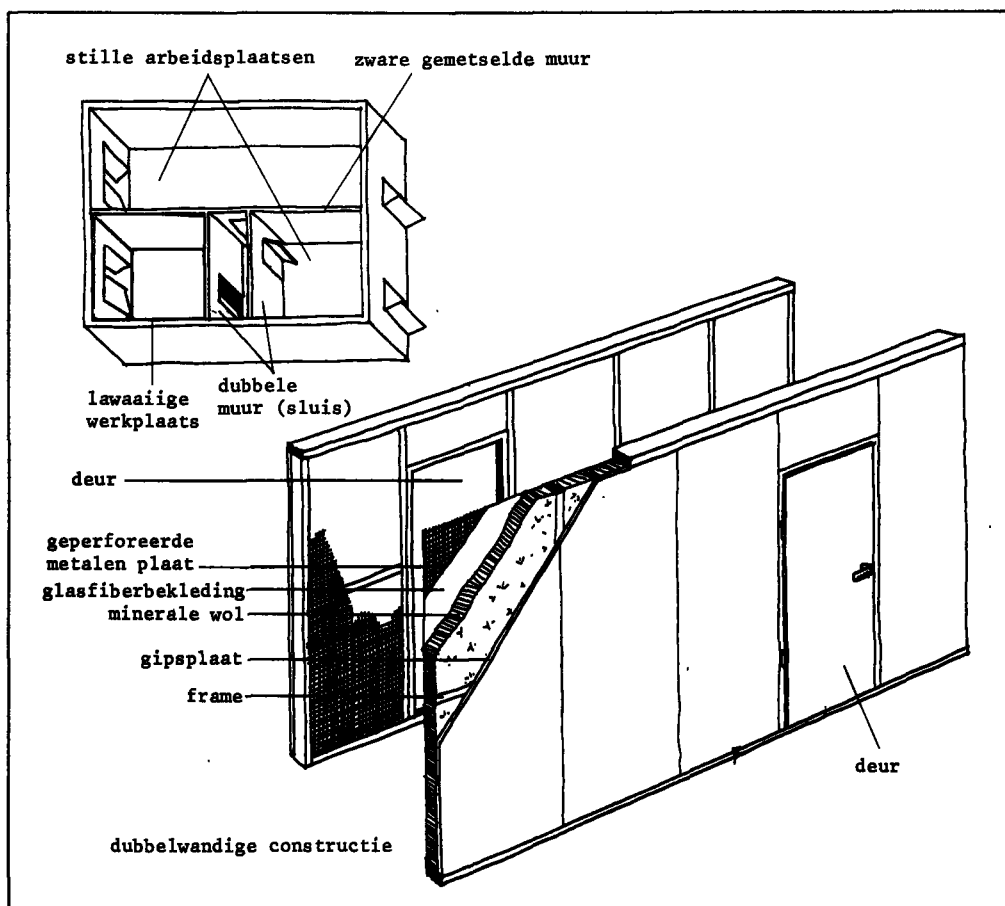
Voorbeeld

In twee naast elkaar gelegen werkplaatsen bevinden zich machines die in beide ruimten een te hoog geluidniveau veroorzaken.

Oplossing

De machines worden bij elkaar opgesteld in één ruimte en afgeschermd door twee wanden die een geluidabsorberend beklede sluis vormen. De deuren worden schuin tegenover elkaar geplaatst om de sluis goed tot z'n recht te laten komen, ook als één van de deuren wordt geopend.

Om met een enkelvoudige wand dezelfde isolatie te halen, zou deze als een zware metselwand of betonwand moeten worden uitgevoerd en zou een speciale, goed sluitende deur moeten worden aangebracht.

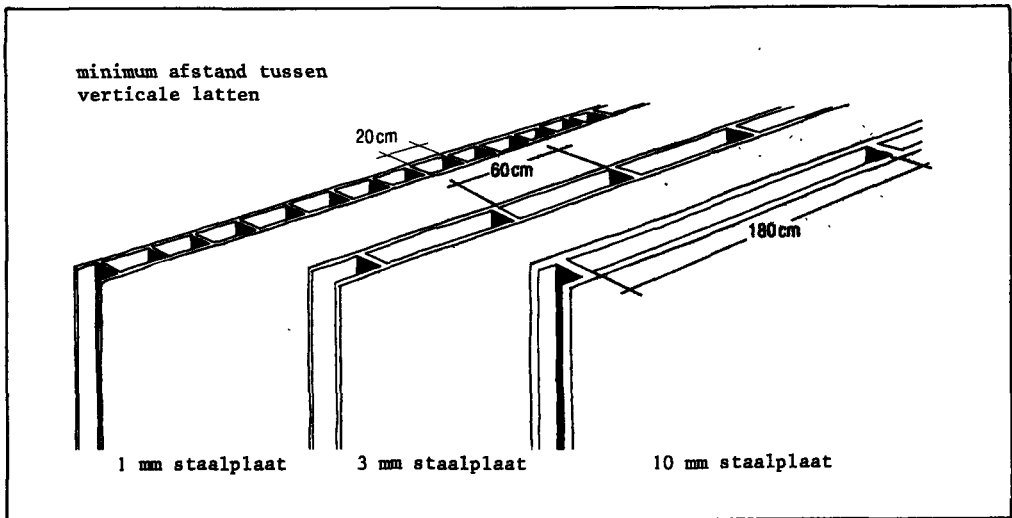


GELUIDREDUCTIE DOOR OMKASTINGEN - ISOLATIE

8.6.5 Dubbele wanden dienen zo min mogelijk onderlinge verbindingen te hebben

Een dubbele wand heeft de hoogste isolatie als beide wanden apart verbonden zijn met een zware muur of wanneer de beide wanden aan de uiteinden niet met elkaar in verbinding staan.

Wanneer de wanden aan gemeenschappelijke balken zijn bevestigd of anderszins onderling verbonden zijn wordt de isolatie beduidend minder als de verbindingen op korte afstand van elkaar liggen. Hoe dikker de wanden zijn, des te verder dienen de verbindingen uit elkaar te liggen om isolatievermindering te voorkomen.

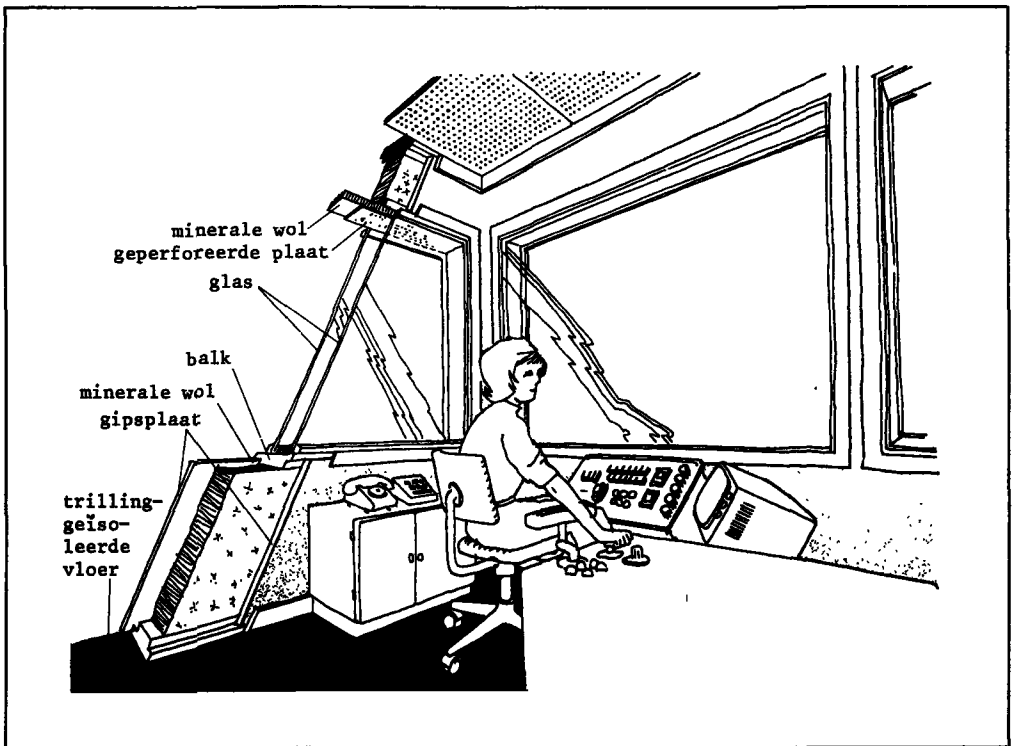


Voorbeeld

De controlekamer van een machine in een papierfabriek is bijzonder lawaaiig, waardoor telefoonconversatie vrijwel onmogelijk is.

Oplossing

Er is een goed isolerende kamer gemaakt van dunne panelen op gemeenschappelijke balken. De vloer van de kamer is geïsoleerd voor trillingen van de fabrieksvloer.

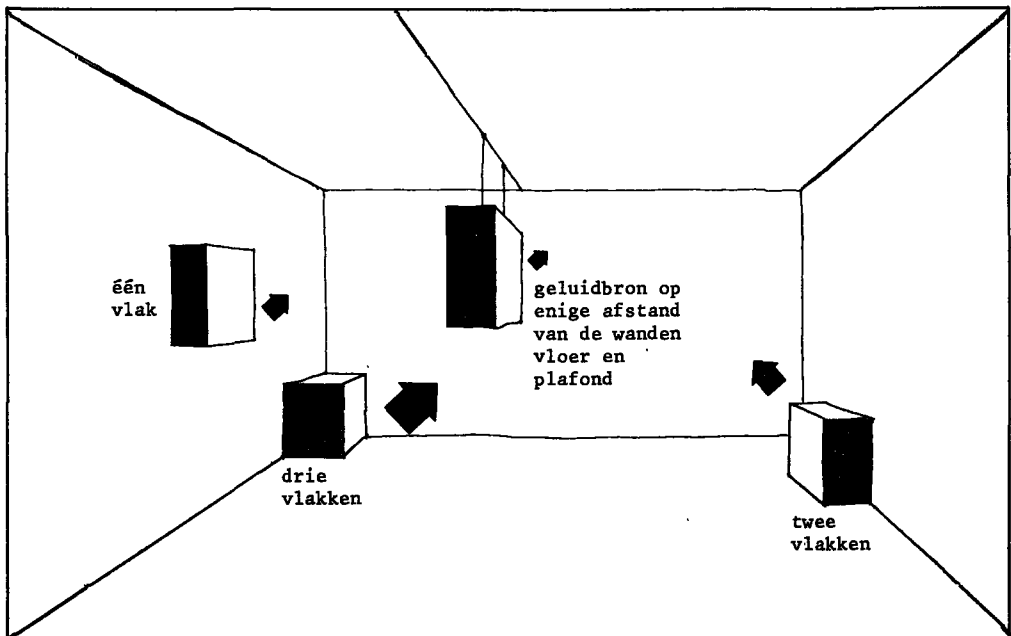


8.7 GELUIDVOORTPLANTING IN EEN RUIMTE - PLAATS VAN DE GELUIDBRON

8.7.1 Geluidbronnen mogen niet te dicht bij wanden, vloer of plafond worden geplaatst

Hoe dicht een geluidbron bij een reflecterend oppervlak staat, des te meer geluid er direct in de ruimte wordt teruggekaatst. De ongunstigste plaats is tegen drie vlakken, dus in een hoek, de beste situering is vrijhangend.

Als de totale geluidproduktie (bronsterkte) gelijk is speelt de positie slechts een rol in het directe geluidveld, dus op relatief geringe afstand. Voor het indirecte geluidveld maakt de positie niet veel uit.

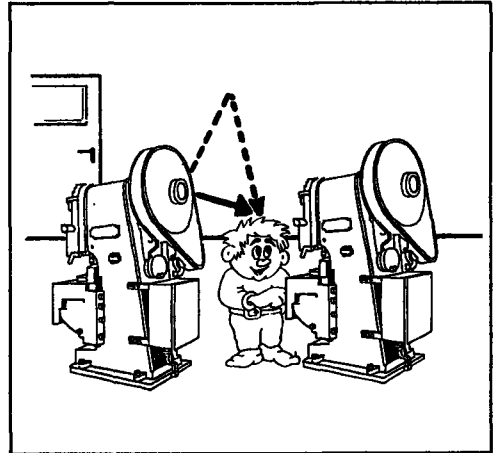
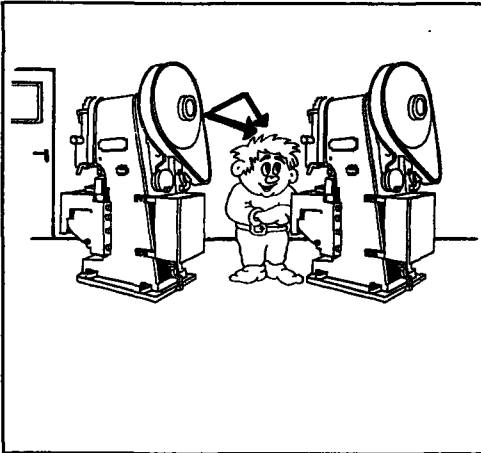


Voorbeeld

In een machinehal staan vier rijen machines, waarvan twee langs de muur. Hierdoor wordt het geluidniveau op de bedieningsplaats bij de machines die langs de wanden staan hoger.

Oplossing

De machines langs de wanden worden verplaatst en wel zo dat het gereflecteerde geluid van de muur geen invloed meer heeft op het geluidniveau op de bedieningsplaats van de machine. De ruimte tussen muur en machines kan als looppad worden gebruikt.



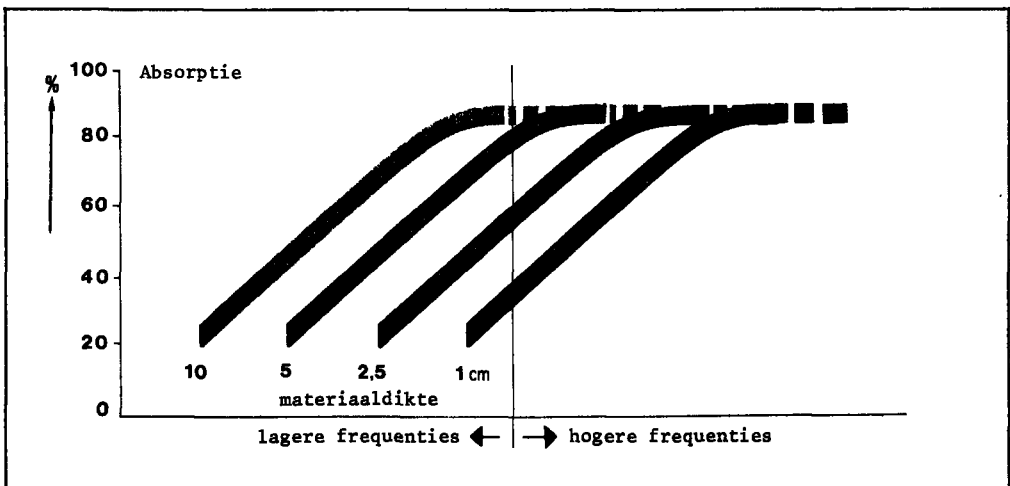
GELUIDVOORTPLANTING IN EEN RUIMTE - ABSORPTIE

8.7.2 Dikke poreuze lagen absorberen hoge en lage tonen goed

Dunne poreuze lagen kunnen alleen geluid van hoge frequentie absorberen, terwijl dikke lagen in een breed frequentiegebied met zowel hoge als lage tonen goed absorberen.

Om frequenties onder 100 Hz goed te absorberen is een zeer dikke laag nodig. Een alternatief is een dunne laag van het materiaal op een luchtsponw aan te brengen, bijvoorbeeld in de vorm van een verlaagd plafond.

Geschikte poreuze materialen zijn onder andere glaswol, steenwol, polyurethaanschuim (met open poriën), houtwolcementplaat en gesinterde metalen.



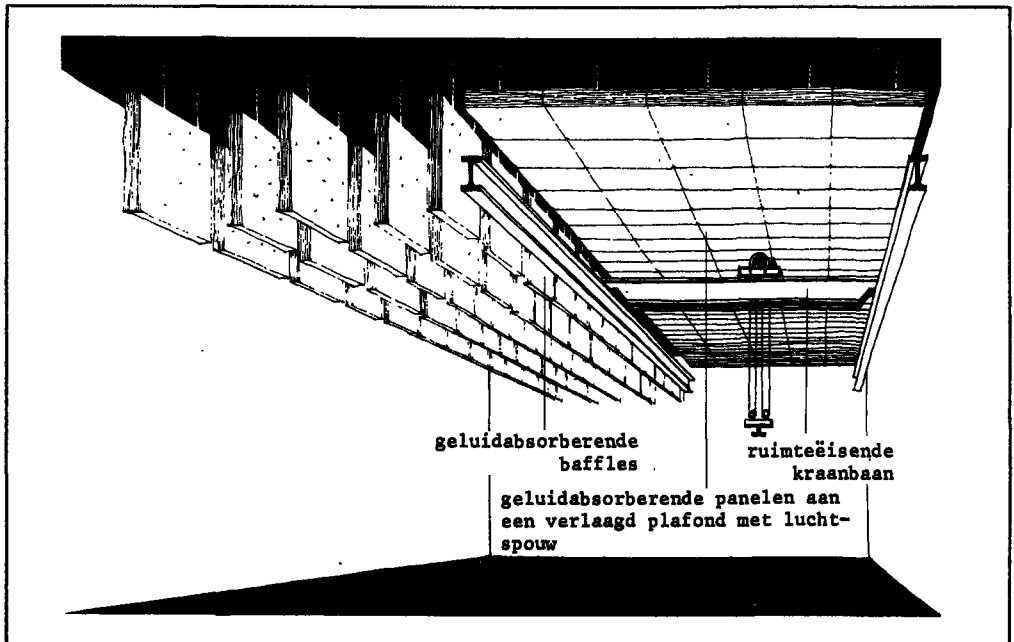
Voorbeeld

In een werkplaats wordt het geluidniveau bepaald door lage frequenties, maar over het gehele frequentiegebied moet het niveau worden verlaagd. Waar dit mogelijk is, kunnen absorberende platen, zogenaamde baffles worden opgehangen.

Baffles zijn erg effectief, omdat ze aan twee kanten het geluid absorberen.

Op plaatsen waar in verband met het gebruik van de ruimte - zoals bij kraanbanen - baffles niet kunnen worden gebruikt, kan een verlaagd plafond worden aangebracht dat een goede absorptie in de lage frequenties geeft. Enigszins afhankelijk van de situatie kan een niveaupercentage van 3 à 5 dB(A) worden bereikt.

Een arbeidsplaats die zich dichtbij een geluidbron bevindt heeft echter nauwelijks profijt van dit soort voorzieningen, omdat daar het geluid dat rechtstreeks van de bron komt, het gereflecteerde geluid veruit overstemt.

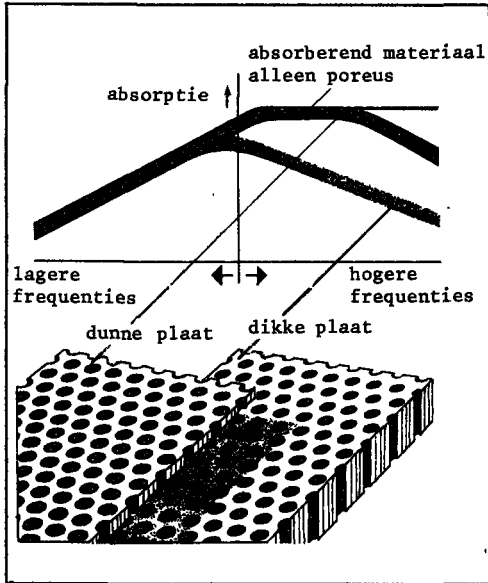


8.7.3 Een geperforeerde afdekking hoeft de absorptie niet te verlagen

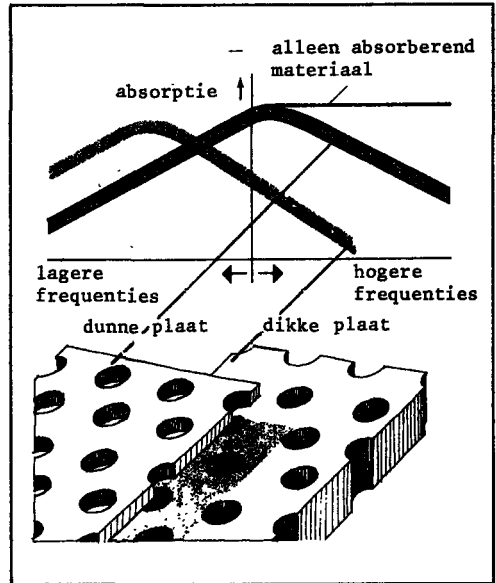
Om verschillende redenen kan het nodig zijn absorberend materiaal te beschermen. Dit kan met een geperforeerde afdekking zonder de werking van het materiaal te verminderen. Voorwaarde is dat het beschermende materiaal voldoende openingen heeft, dat wil zeggen minstens 15%. Bij een dikkere beschermelaag zijn grotere openingen nodig, de diameter dient liefst minstens driemaal de plaatdikte te zijn.

In de regel is het beter een groot aantal kleine perforaties te gebruiken dan minder, maar grotere perforaties.

kleine gaten/kleine hartafstand

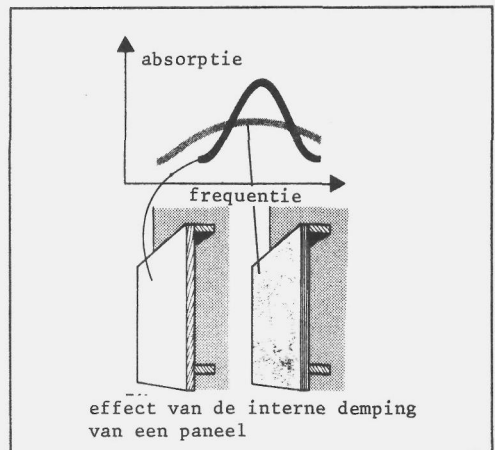
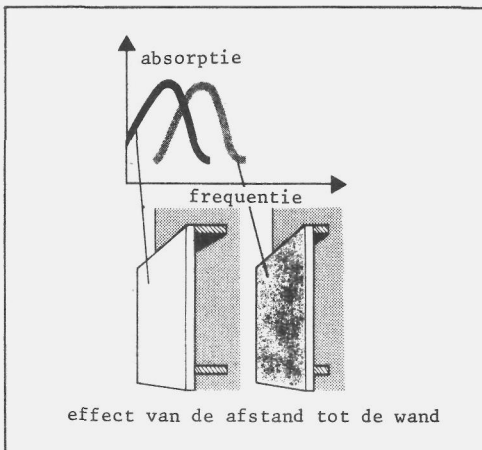
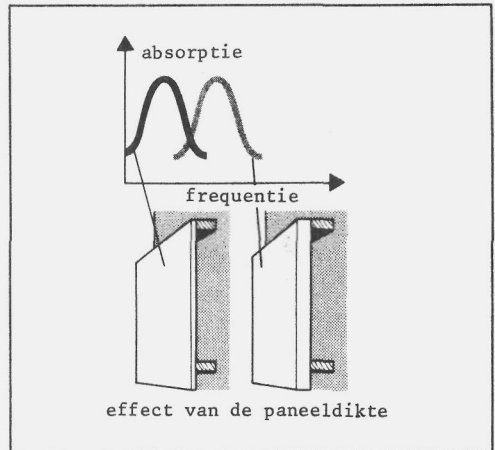
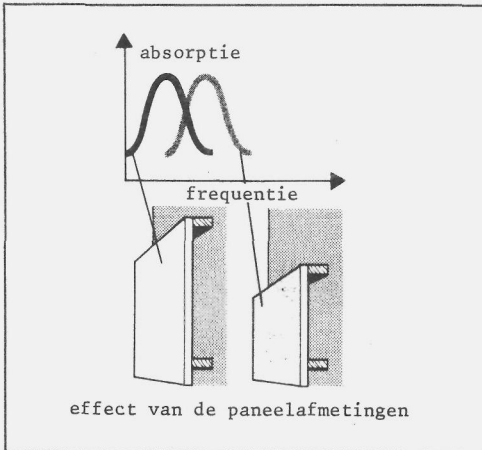


grote gaten/grote hartafstand



8.7.4 Paneelabsorptie treedt op bij laagfrequent geluid

Dunne platen, gemonteerd op een luchtspouw op stijl- of regelwerk, absorberen lage frequenties in een smal frequentiegebied. De afmeting, dikte en spouwdiepte bepalen de frequentie waarbij de absorptie het grootst is. Het frequentiegebied waarin wordt geabsorbeerd hangt af van de inwendige demping van de plaat; enige inwendige demping geeft een bredere resonantiecurve met een lagere top. Om met een poreus materiaal dezelfde absorptie te halen, moet het extreem dik worden gemaakt. Vooral waar eisen worden gesteld aan de mechanische sterkte of hygiënische aspecten verdient dit principe de voorkeur boven de "zachte" absorberende materialen.

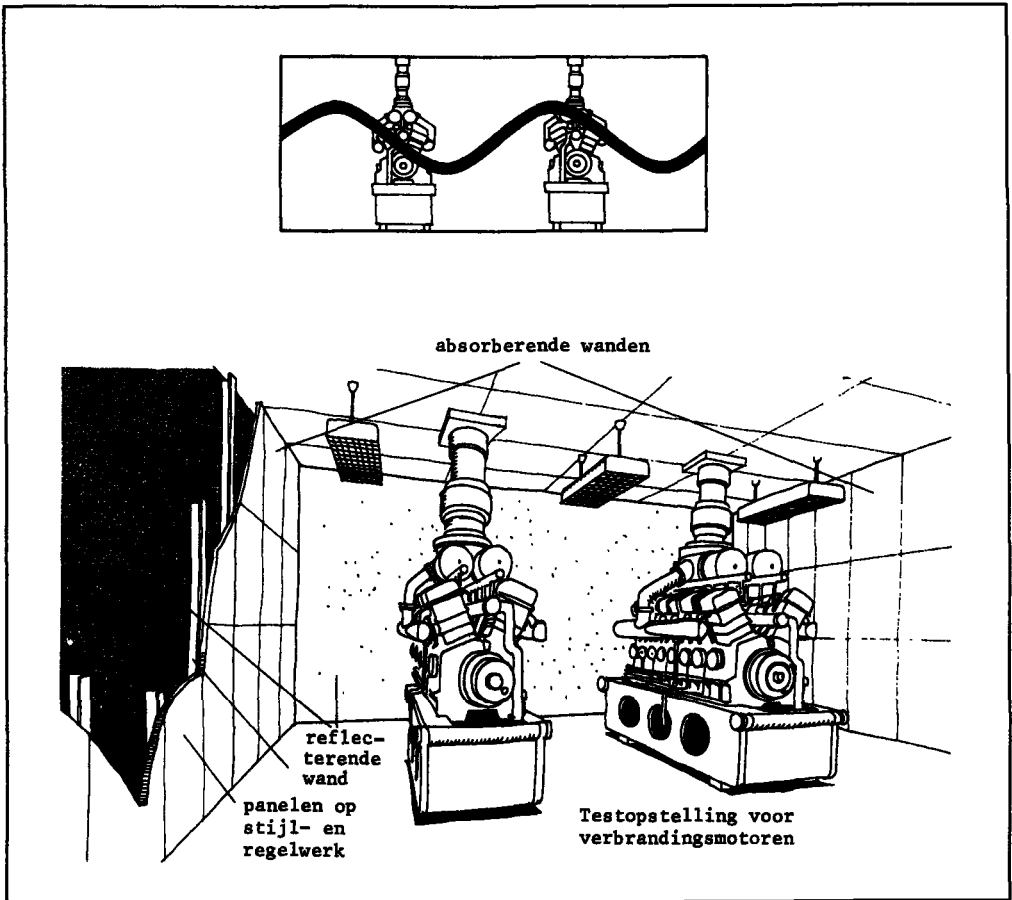


Voorbeeld

In een motortestruimte wordt het geluidniveau hoofdzakelijk bepaald door resonantie die optreedt bij een toerental dat bij een duurttest wordt ingesteld. Bij lagere of hogere toerentallen verdwijnt deze resonantie.

Oplissing

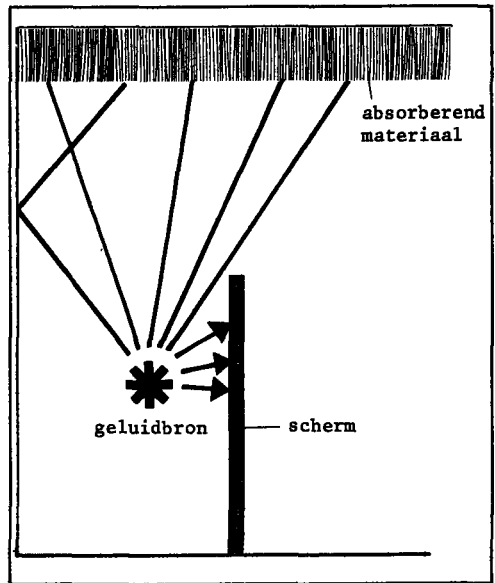
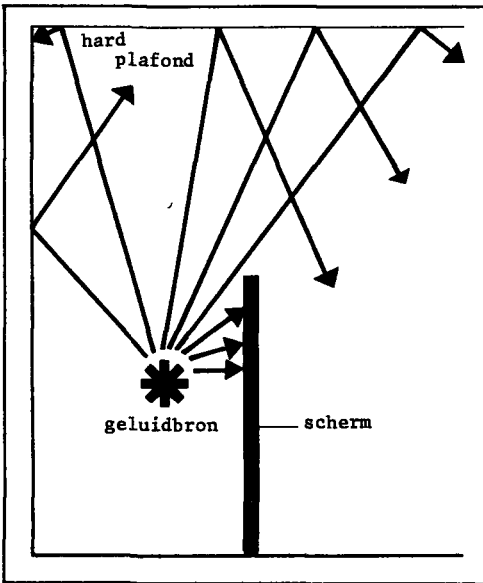
De muren kunnen worden bekleed met panelen op stijl of regelwerk. De afmetingen worden zo gekozen dat de voor het geluidniveau bepalende resonantiefrequentie zo goed mogelijk wordt geabsorbeerd. Door de afmetingen iets te variëren en de panelen van een materiaal met enige inwendige demping te maken kunnen de panelen in een breder frequentiegebied werkzaam worden gemaakt.



GELUIDVOORTPLANTING IN EEN RUIMTE - ABSORPTIE

8.7.5 Schermen moeten worden gecombineerd met absorberende plafonds

Als het geluidniveau wordt bepaald door hoge frequenties, kan een scherm erg effectief zijn. De werking ervan wordt verhoogd naarmate het scherm hoger is en dichter bij de bron is geplaatst. Door reflecties tegen een hard plafond kan het geluid zich toch door de ruimte verspreiden. Een absorberend plafond verhindert deze reflecties, waardoor het scherm beter wordt benut.



Voorbeeld

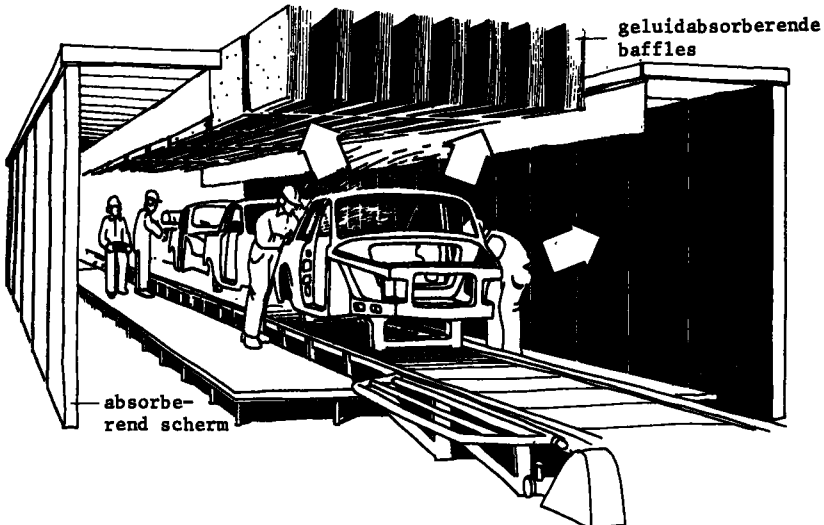
In een produktiehal lopen enige produktielijnen parallel; van één ervan is het geluidniveau aanzienlijk hoger dan van de overige. Iedereen in de hal wordt blootgesteld aan hoogfrequent geluid dat ontstaat door werkzaamheden aan de carrosserieën.

Oplissing

Door een lichtgewicht, aan de binnenzijde absorberend scherm aan beide zijden van de lawaaiige lijn en baffles erboven aan te brengen, wordt het geluidniveau bij de stillere lijnen verlaagd, terwijl de situatie voor diegenen die aan de lawaaiige lijn werkzaam zijn niet verslechtert. Wanneer geen geluidabsorptie zou zijn gebruikt zou door reflecties tegen de schermen het geluidniveau bij de lawaaiige lijn plaatselijk zijn toegenomen.



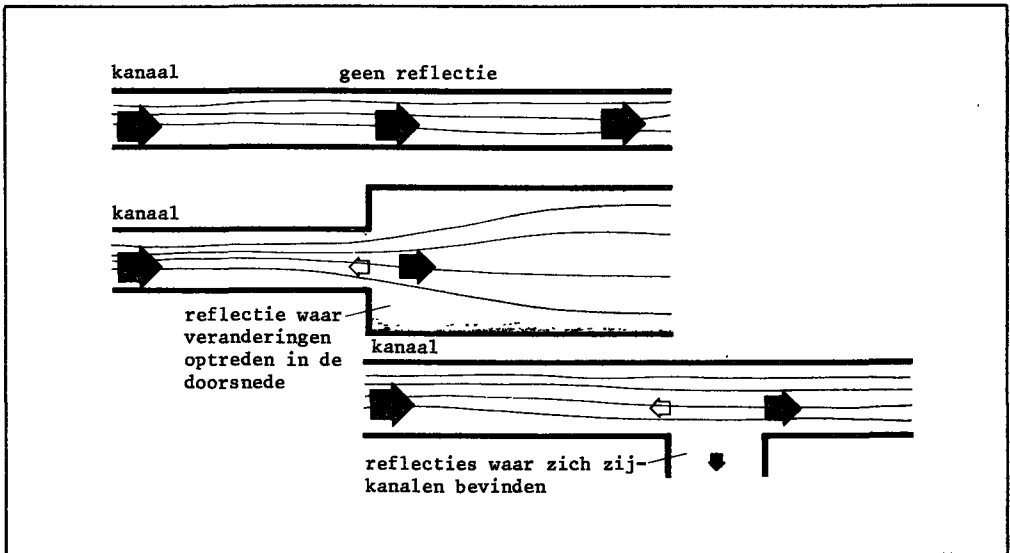
relatief stille lijn lawaaiige lijn



8.8 GELUIDVOORTPLANTING DOOR KANALEN - REFLECTIEDEMPERS

8.8.1 Doorsnedevaranderingen in kanalen beperken geluidoverdracht

Ter plaatse van elke vormverandering wordt een gedeelte van het geluid gereflecteerd naar de bron. In kanalen kan de vormverandering zich voordoen als bocht, verwijding of aftakking. Met dit verschijnsel kan rekening worden gehouden bij het ontwerpen van een kanaalsysteem. Het effect is echter beperkt en sterk frequentie-afhankelijk.



Voorbeeld

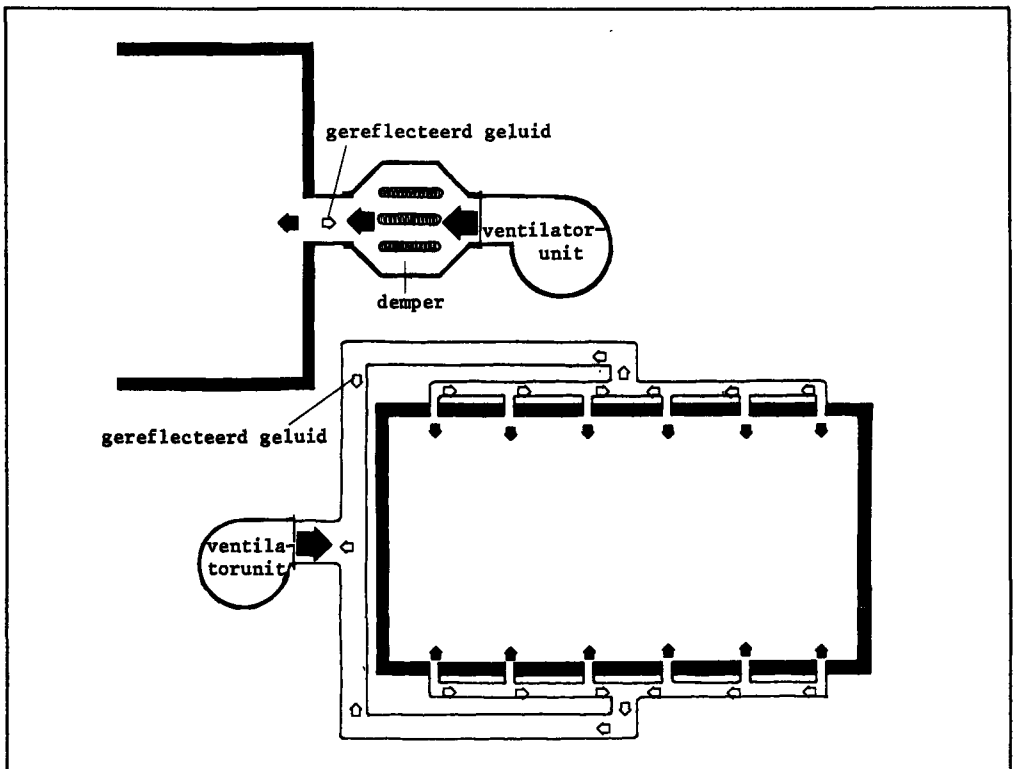
Een grote kantoortuin wordt voorzien van mechanische ventilatie. Door ruimtegebrek kan geen demper worden geplaatst die een voldoende verlaging van het geluidniveau geeft.

Oplossing

In plaats van één inlaat in het vertrek worden diverse kleinere inlaten toegepast. Door gebruik te maken van het feit dat verzwakking optreedt bij verandering van de doorsnede, bochten en aftakkingen is het mogelijk het geluidniveau bij de inblaasopeningen binnen de perken te houden. Absorberende bekleding en geleidelijk verlopende bochten voorkómen een hoge geluidproductie en geven een betere verdeling van de lucht.

Opmerking:

Een kanalenontwerp is in de eerste plaats gebaseerd op de gewenste luchtverdeling in de ruimte en de inblaassnelheid. Het in dit voorbeeld toegepaste ingewikkelde kanalenstelsel vergt een hogere voordruk van de ventilator hetgeen gepaard kan gaan met een hogere geluidproductie.

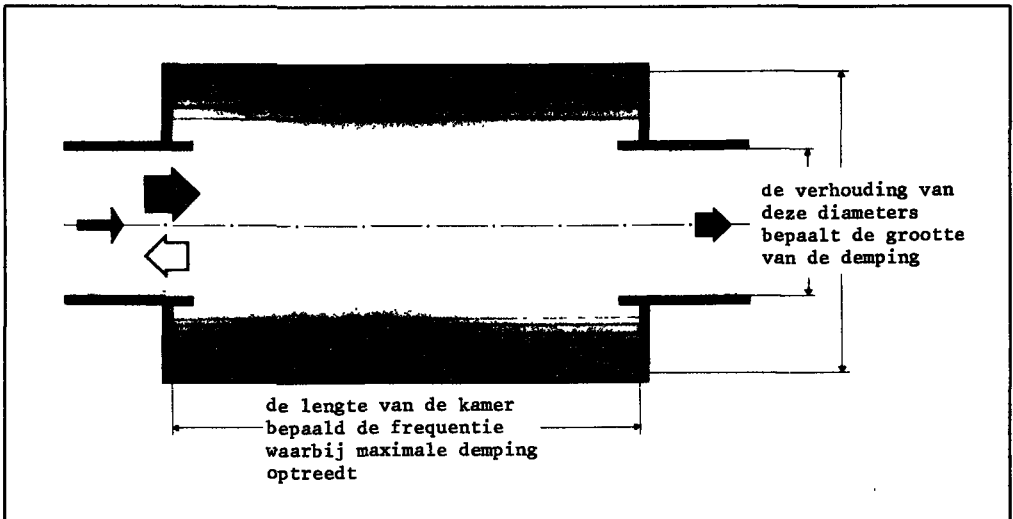


GELUIDVOORTPLANTING DOOR KANALEN - REFLECTIEDEMPERS

8.8.2 Reflectiedempers zijn bruikbaar in een smal frequentiegebied

Met een reflectiedemper (of resonantiedemper) kan laagfrequent geluid over een smal frequentiegebied doeltreffend worden gedempt. Door koppeling van een aantal van deze dempers van verschillende afmetingen kan een breder frequentiegebied worden bestreken.

Vaak worden geperforeerde pijpen in de demper gebruikt om een betere gasstroom en een hogere demping te verkrijgen.

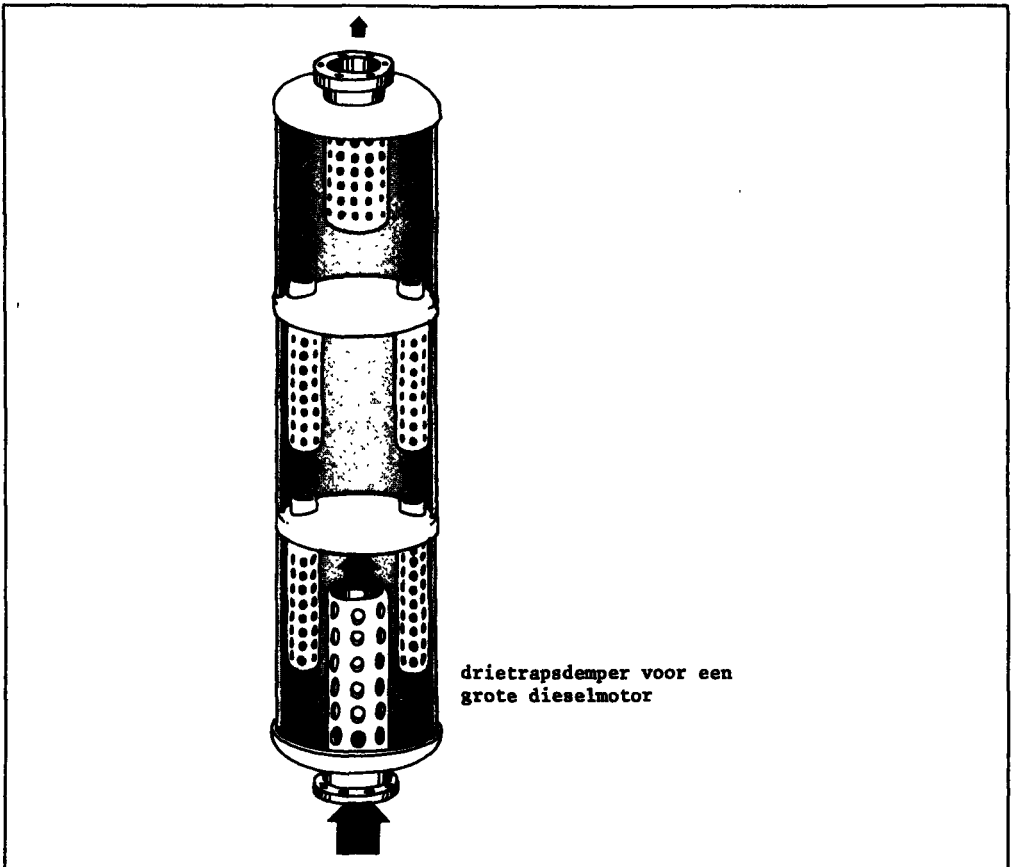


Voorbeeld

Absorptiedempers zijn eenvoudig te ontwerpen en te fabriceren en geven een goede demping in een breed frequentiegebied. Nadeel is echter dat het absorberend materiaal bij bepaalde toepassingen verstopt kan raken door vuil- en koolafzetting, waardoor de werking na verloop van tijd sterk achteruit gaat.

Oplossing

In dit geval kan een meertrapsreflectiedemper worden gebruikt, die ook over een breed frequentiegebied dempt en minder gevoelig is voor vervuiling. Op de schets hieronder is een reflectiedemper aangegeven die bij grote verbrandingsmotoren - waarvan het toerental maar weinig varieert - kan worden toegepast.



8.8.3 Expansiekamers zijn bruikbaar als demper in gevallen waar lage frequenties overheersen

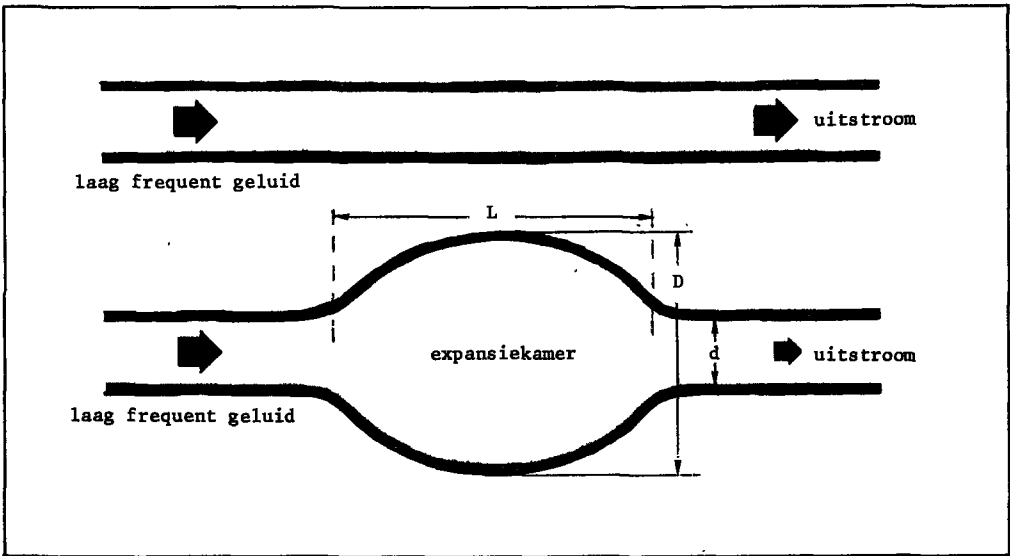
Als kanalen of pijpen worden voorzien van een verwijding of een kamer, kunnen laagfrequente drukwisselingen zich vereffenen.

Vooraf in gevallen waar regelmatig drukpulsen optreden, zoals bij verbrandingsmotoren en compressoren, geeft dit principe goede resultaten.

Hoe lager de frequenties, des te groter de lengte L moet zijn.

De verhouding D/d bepaalt de grootte van de demping. Voor een optimale werking moet de expansiekamer een vorm hebben als die in paragraaf 8.8.2.

In feite is het dan een "gewone" reflectiedemper.



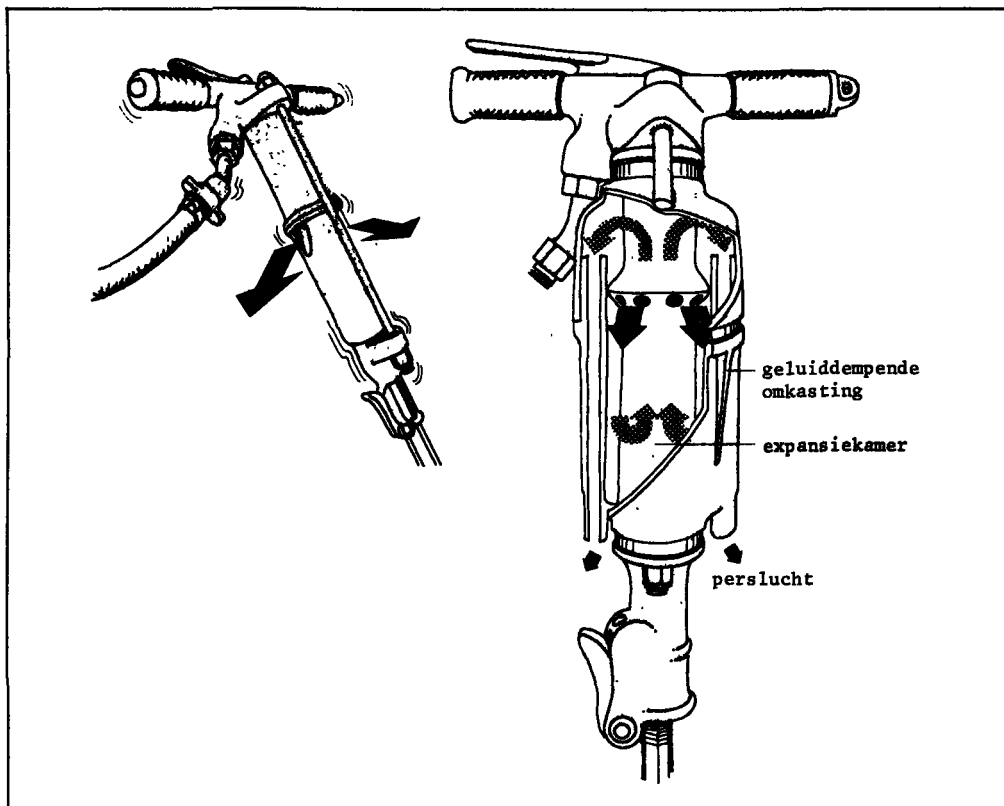
Voorbeeld

Uit de uitlaat van een drillboor komt zowel hoogfrequent geluid dat afkomstig is van de uitgeblazen lucht, als laagfrequent geluid door de opeenvolging van pulsen.

Oplossing

Door om het huis een mantel aan te brengen, wordt een expansiekamer gevormd voor de lage tonen en worden de hoge tonen afgeschermd. Dit levert op zichzelf al een aanzienlijke niveauperlaging op. Daarbij komt nog dat de energie die bij de puls vrijkomt gelijkmatiger en over een langere periode wordt verdeeld, waardoor ook een niveauperlaging wordt bereikt.

Omdat het door een drillboor gemaakte geluidniveau ook voor een groot deel afhangt van het geluid dat bij het boren zelf ontstaat, is het totale effect van de geluiddemper beperkt.



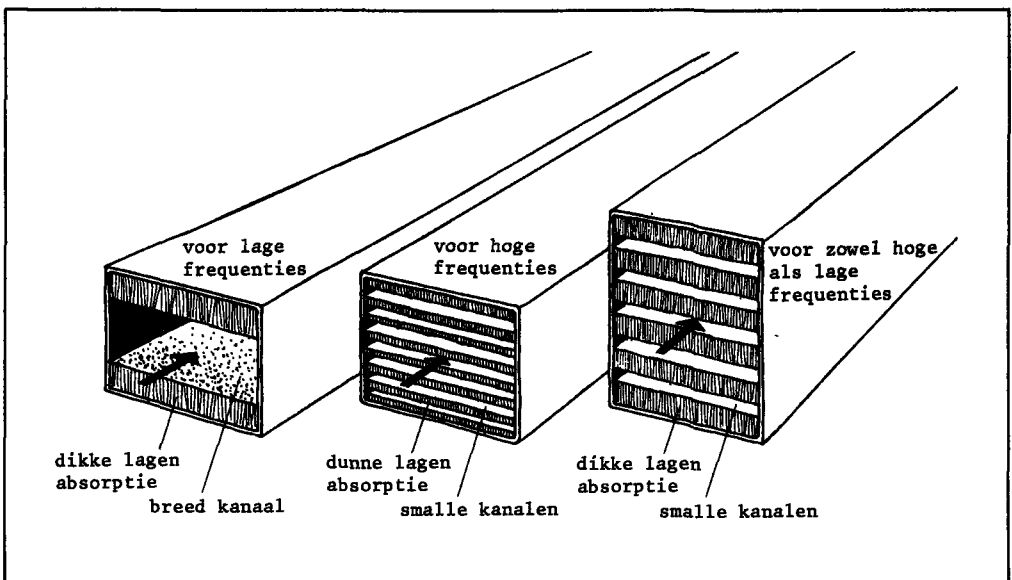
8.8.4 Absorptiedempers zijn in een breed frequentiegebied effectief

De eenvoudigste vorm van een absorptiedemper is een kanaal met absorberend materiaal tegen de wanden. Hoe dikker het materiaal, hoe beter lage frequenties worden geabsorbeerd.

Hoge tonen worden al goed gedempt door een dunne laag, maar met een breed kanaal is het effect gering. Door meer dunne lagen op enige afstand van elkaar worden de hoge tonen beter gedempt, dit zijn de zogenaamde splittergeluiddempers.

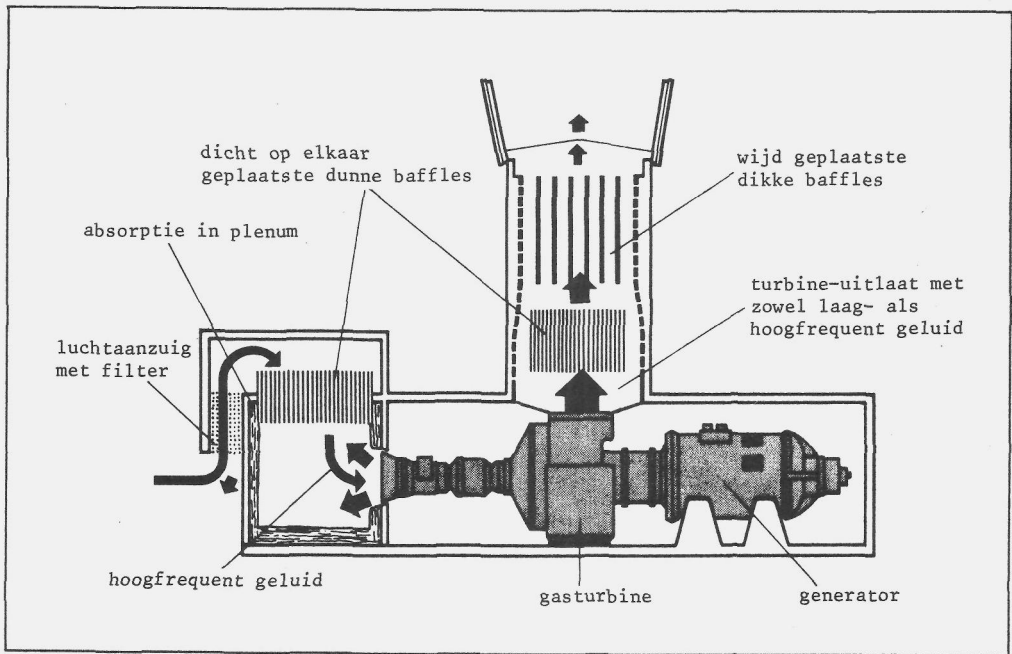
Voor een goede absorptie over een breed frequentiegebied zijn dikke lagen absorptiemateriaal en smalle openingen het beste. Bij het aanbrengen van absorberend materiaal moet rekening worden gehouden met het feit dat de netto doorsnede kleiner wordt; bij een gelijkblijvende volumestroom wordt de snelheid groter, hetgeen meer turbulentie en geluidproduktie tot gevolg heeft. Het is daarom beter een grote buitenafmeting te kiezen, die met een verloopstuk aansluit op de kleinere kanaalsecties.

De dwarsdoorsnede mag vierkant of rechthoekig zijn als de beschikbare ruimte dit nodig maakt. De demping is evenredig met de lengte. Het is gunstig een lange demper op te delen in twee helften en deze zo mogelijk vóór en achter een bocht in het kanaal te plaatsen.



Voorbeeld

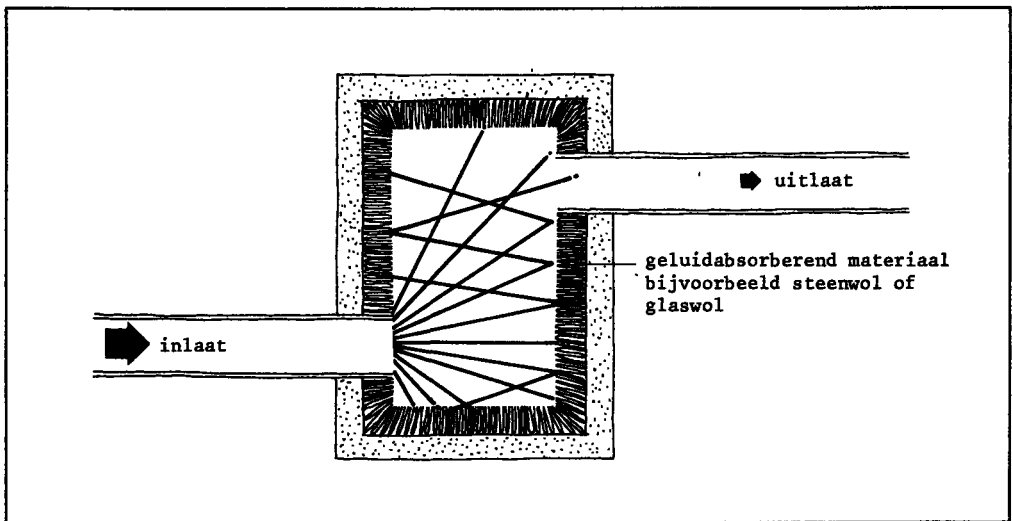
De door een gasturbine aangedreven standby-generatorsets worden vaak gebruikt voor zowel noodstroomvoorzieningen als om de normale energievoorziening aan te vullen in piekperiodes. Het kan noodzakelijk zijn om de set stiller te maken over een breed frequentiegebied. Vaak wordt hiervoor gebruik gemaakt van splitter-geluiddempers en bekleding op de wanden van het plenum aan de aan- en afvoerzijde.



GELUIDVOORTPLANTING DOOR KANALEN - ABSORPTIEDEMPERS

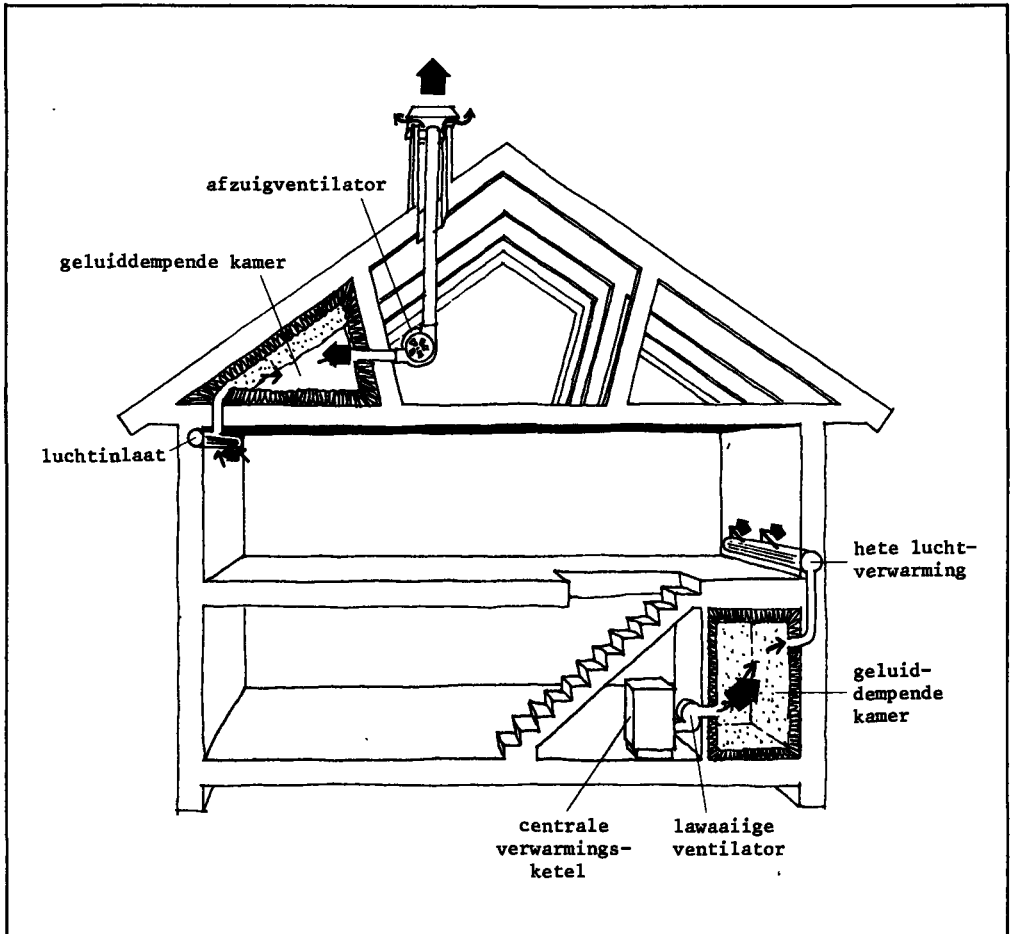
8.8.5 Ongebruikte ruimten kunnen worden gebruikt als absorberend plenum

Met een geluidabsorberend beklede kamer ("plenum") kan de geluidoverdracht via een kanaal eenvoudig, maar zeer effectief worden verzwakt. Om te voorkomen dat de hoge tonen rechtstreeks doorstralen mogen het in- en uitgaande kanaal niet recht tegenover elkaar uitmonden. Lage frequenties worden beter geabsorbeerd naarmate het volume groter en het absorberend materiaal tegen de wanden dikker is.



Voorbeeld

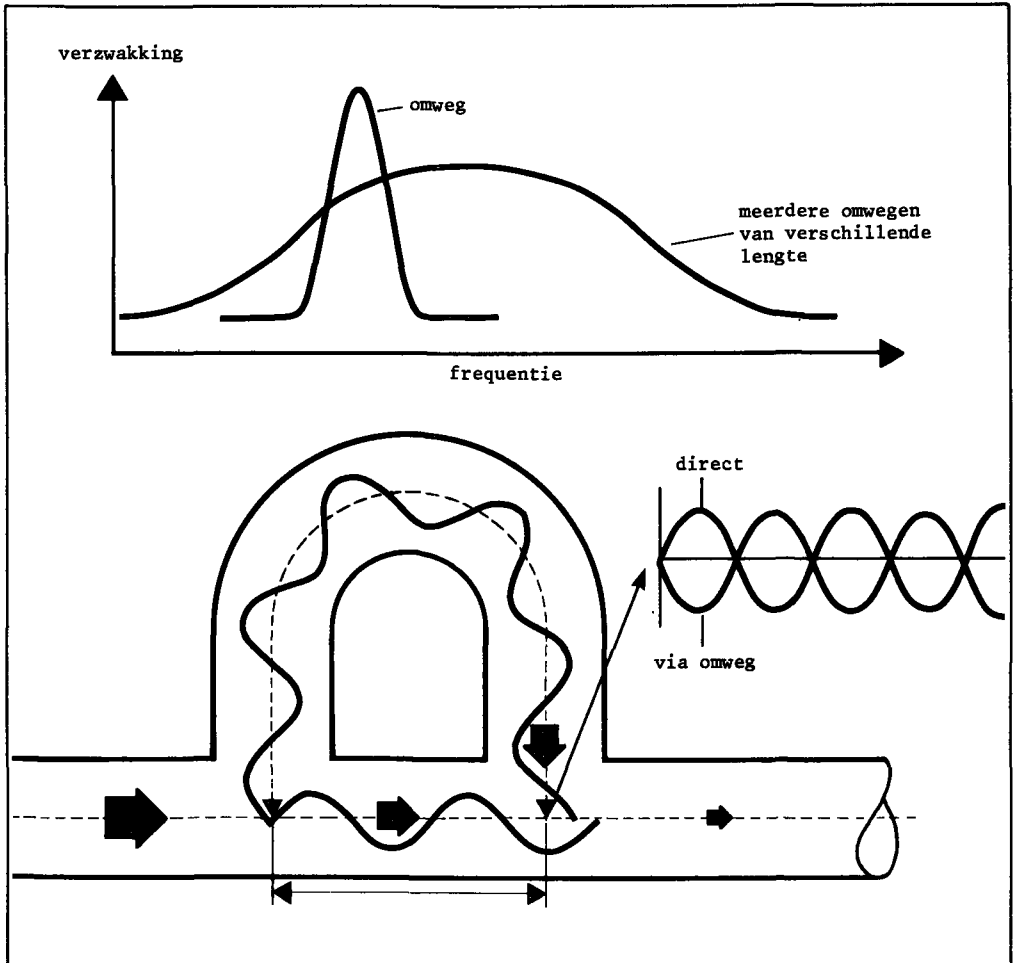
De vorm van de te gebruiken ruimte is niet erg belangrijk, zolang er maar voldoende absorberend materiaal is aangebracht en de afmetingen zodanig zijn dat ook bij de lagere frequenties absorptie plaatsvindt. Vrijwel elke ongebruikte ruimte in het gebouw kan worden benut, maar moet wel goed zijn afgesloten om luchtlekken te vermijden.



8.8.6 Zuivere tonen kunnen worden gedempt door interferentie

Lawaai met één bepalende toon kan worden gedempt door interferentie. Dit houdt in dat op één plaats twee golven met dezelfde frequentie in tegenfase worden samengebracht waardoor ze elkaar als het ware opheffen.

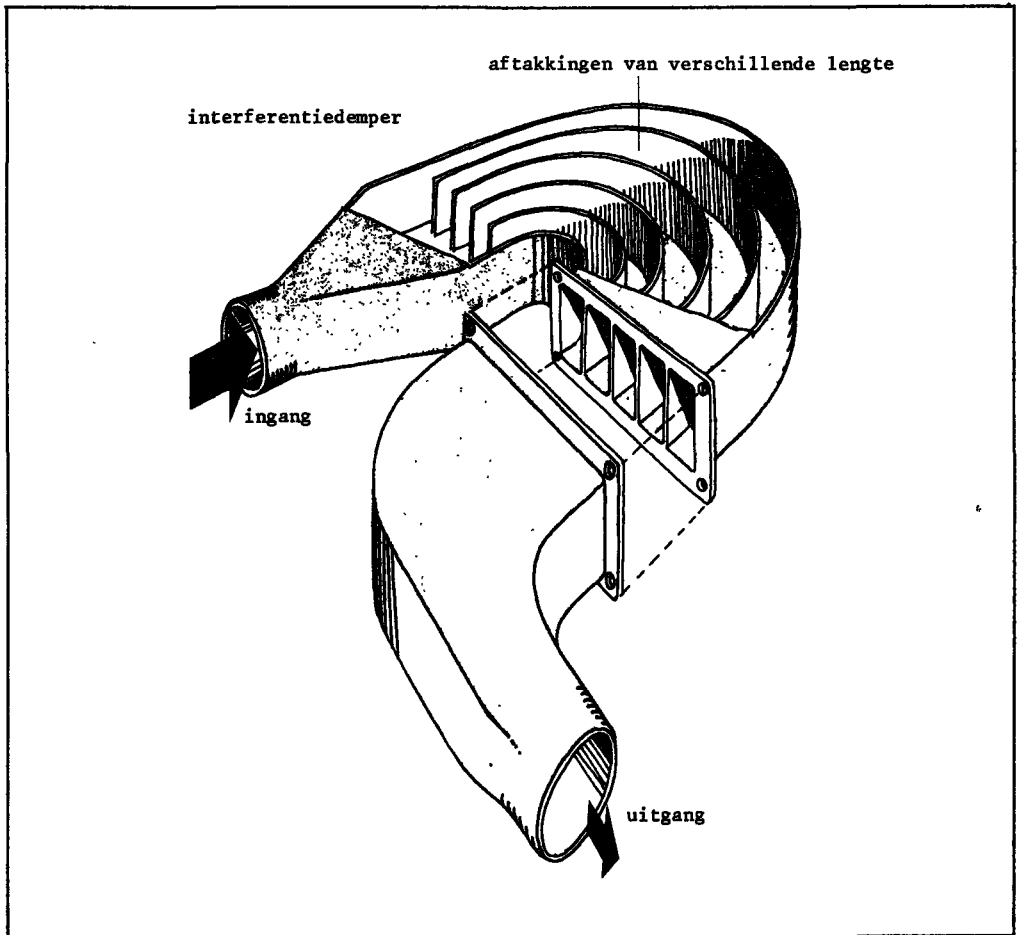
Een interferentiedemper bestaat uit een omweg van het hoofdkanaal. Het geluid dat erdoor gaat legt een oneven aantal halve golflengten meer af dan het geluid in het hoofdkanaal, zodat de twee golven in tegenfase zijn als ze bij elkaar komen. Omwegen met andere lengten kunnen worden afgestemd op andere frequenties.



Voorbeeld

Als de frequentie van de toon wel eens varieert, kan het frequentiegebied waarin de demper werkzaam moet zijn worden verbreed door een aantal kanalen met enigszins verschillende lengten. De verzwakking per frequentie zal iets minder worden.

Dit type kan worden gebruikt voor motoren of ventilatoren met verschillende toerentallen.



9. LITERATUUR

- [1] Noise Control, Principles and Practice.
Brüel & Kjaer, Naerum, Denemarken, 1982.
ISBN 87 87 355 388.
- [2] Noise Control, A guide for workers and employers.
U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health
Administration, 1980.
- [3] Interdepartementale Commissie Geluidhinder.
Overzicht van onderzoek projecten betreffende
lawaai op de arbeidsplaats.
LA-HR-00-01, Leidschendam, januari 1984.
- [4] Interdepartementale Commissie Geluidhinder.
Tukker, J.C. en T. ten Wolde.
Meting en beoordeling van schadelijk lawaai op de arbeidsplaats.
ICG onderzoekproject LA-07-01, Leidschendam, december 1983.
- [5] Berg, R. van den en W. Passchier-Vermeer.
Geluidmetingen op de arbeidsplaats in het kader van
gehoorbeschermingsprogramma's.
Meetprotocol ter bepaling van geluidexpositieniveaus.
NIPG-TNO, Leiden, april 1985.
- [6] Interdepartementale Commissie Geluidhinder.
Steenbrugge, van, Gerritsen en Tukker.
Inventarisatie basiskennis geluidarm installeren.
ICG-rapport LA-HR-03-01, Leidschendam, 1984.
- [7] Interdepartementale Commissie Geluidhinder.
Tukker, Ten Wolde en Verhey.
Inventarisatie basiskennis geluidarm construeren.
ICG-rapport LA-HR-03-02, Leidschendam, 1984.

- [8] Passchier-Vermeer, W. en A.A. Jurriëns.
Industrielawaai, verbodswetgeving.
Schattingen, naar bedrijfsgrootte en industriële bedrijfsklasse,
van de omvang van de problematiek.
IMG-TNO Rapport B 493 vijfde versie, IMG-TNO Delft, december 1984.
- [9] Directoraat-Generaal van de Arbeid.
SER-adviesaanvraag met betrekking tot het voorkomen en beperken
van overmatig geluid in fabrieken of werkplaatsen.
Den Haag, juni 1981.
- [10] International Organization for Standardization.
ISO/DIS 1999, Acoustics - Determination of Occupational Noise
Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment,
Geneva, 1982.
- [11] International Electrotechnical Commission (IEC), publication 225.
Octave, half octave and third octave bandfilters intended for the
analyses of sounds and vibrations.
First edition, Geneva, 1968.
- [12] Van Dijk, F.
Effecten van lawaai op gezondheid en welzijn in de industrie.
Onderzoeksproject m.b.t. extra-auditieve effecten van lawaai.
Proefschrift Universiteit van Amsterdam, 1984.
ISBN 90 9000795 4.
- [13] Interdepartementale Commissie Geluidhinder.
Aanpak van de lawaaibestrijding in het bedrijf.
ICG-rapport LA-HR-04-01.
Leidschendam, in voorbereiding.
- [14] Arbeidsinspectie, P 138, Gehoorbescherming.
Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Za-
ken en Werkgelegenheid.
Voorburg, 1982.

[15] Hassall, J.R., and K. Zaveri.

Acoustic Noise Measurement.

Brüel and Kjaer, Naerum, Denmark, 1979.

ISBN 87 87355 30 2.

[16] International Electrotechnical Commission (IEC).

IEC Standard, publication 651, Sound level Meters.

First edition, Geneva, 1979.

Bijlage 1: ICG-Onderzoekprojecten "Lawaai op de arbeidsplaats".
(Overgenomen uit "Indicatief Meerjarenprogramma Geluid 1985-1989")

In de loop van 1981 is gestart met de uitvoering van een aantal projecten ter ondersteuning van het uitvoeringsbeleid van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

Voor de coördinatie van het onderzoekprogramma binnen het kader van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder (ICG) is door de Directeur-Generaal van de Arbeid op 19 november 1981 de ICG-subcommissie "Lawaai op de arbeidsplaats" geïnstalleerd. Het voorzitterschap van deze ICG-Subcommissie berust bij het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Directoraat-Generaal van de Arbeid.

In onderstaand overzicht worden de onderzoekopdrachten vermeld, waarbij de codering overeenkomt met de nummering volgens het onderzoekprogramma.

LA-01-01. Knelpunten stille technologie

Het aangeven en onderzoek van mogelijkheden om het tot stand komen van stille technologieën te bevorderen. In overleg met de begeleidingscommissie is een vragenlijst opgesteld die begin 1983 naar een aantal bedrijven is gezonden.

LA-02-01. Stand van de techniek; vooronderzoek

Het onderzoeken op welke wijze de stand van de techniek het best kan worden beschreven. De bespreking van het rapport in de begeleidingscommissie is afgerond.

LA-02-02. Stand van de techniek; persluchtssystemen

Een beschrijving van de stand van de lawaaibestrijdingstechniek bij persluchtssystemen als voorbeeld van een inventarisatie gericht op bepaalde apparaten.

LA-02-03. Stand van de techniek; houtbewerkingsmachines

Een beschrijving van de stand van de lawaaibestrijdingstechniek bij houtbewerkingsmachines als voorbeeld van een inventarisatie, gericht op een bepaalde bedrijfstak.

Andere beschrijvingen van de stand van de lawaaibestrijdingstechniek zijn:

LA-02-04. Stand van de techniek; handgereedschap

LA-02-05. Stand van de techniek; leidingsystemen

LA-02-06. Stand van de techniek; intern transport

LA-02-07. Stand van de techniek; kunststofverwerking

LA-02-08. Stand van de techniek; mechanische overbrengingen

LA-02-09. Stand van de techniek; elektrische machines

LA-02-10. Stand van de techniek; bouw- en wegebouwmachines

LA-02-11. Stand van de techniek; verspanende bewerkingen in de metaalindustrie

LA-03-01. Geluidarm installeren

Het beschrijven van de algemeen toepasbare lawaaibestrijdingsvoorzieningen met betrekking tot het installeren van bepaalde apparaten.

LA-03-02. Geluidarm construeren

Het beschrijven van de algemeen toepasbare lawaaibestrijdingsvoorzieningen met betrekking tot het construeren van bepaalde apparaten.

LA-04-01. Aanpak lawaaiproblematiek door bedrijven

Het beschrijven van de wijze waarop bedrijven het lawaaiprobleem kunnen aanpakken in de geest van de Arbeidsomstandighedenwet.

LA-05-01. Ergonomische aspecten van omkastingen, schermen enabri's

LA-06-01. Project Preventie Gehoorschade

Een project, waarbij vanuit de bedrijfsgezondheidszorg door een technisch-medisch team een zo volledig mogelijke aanpak wordt ontwikkeld. Het betreft hier een zogenoemd "action research"-project, hetgeen inhoudt dat het onderzoekwerk steeds kan worden bijgesteld aan de hand van de bevindingen.

LA-07-01. Meting en beoordeling van het lawaai op de arbeidsplaats

Het opstellen van een meet- en beoordelingsmethode voor het lawaai op de arbeidsplaats.

LA-08-01. Criteria voor hinder door geluid

Onderzoek naar hinder door geluid op de arbeidsplaats.

LA-08-02. Lawaaidoofheid en spraakverstaanbaarheid

Onderzoek naar de invloed van lawaaidoofheid op de spraakverstaanbaarheid in een lawaaiige omgeving.

LA-09-01. Verbodswetgeving voor hoge geluidsniveaus

Onderzoek ter voorbereiding van een verbodswetgeving voor hoge geluidsniveaus.

LA-10-01. Trillingen en schokken; inventarisatie van de problematiek

Onderzoek naar trillingen en schokken.

Het onderzoek betreft een literatuurstudie naar buitenlandse normen en het inventariseren van trillingssituaties en aantal geëxponeerden.

LA-10-02. Trillingen en schokken; gezondheidseffecten

Onderzoek naar gezondheidseffecten en klachten ten gevolge van blootstelling aan mechanische trillingen.

LA-10-03. Trillingen en schokken; meettechnieken

Onderzoek naar meettechniek voor mechanische trillingen.

HUISDRUKKERIJ NIPG-TNO