

Opdrachtgever:

BBC pkgv-industrie
p/a Het Verbond P&K
Postbus 731
2130 AS HOOFFDORP

Contactpersoon: de heer F.A.W. Buddenberg,
technisch inhoudelijke coördinator

Behandeld door:

dr. F.L.H. Vanweert
ing. T.M. de Graaf
ir. R.G.P. van Hooy

Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs B.V.
St. Annalaan 60
Postbus 480
6200 AL MAASTRICHT
Tel : 043 - 346 78 78
Fax : 043 - 347 63 47

Rapport 2001.1969:

Handleiding planmatige saneringsstrategie voor
lawaai op de arbeidsplaats - Definitief -

Inhoudsopgave

Hoofdstuk	Titel	Blad
1.	Inleiding	4
1.1.	Aanleiding handleiding	4
1.2.	Doel handleiding	4
1.3.	Andere informatiebronnen	5
1.4.	Drie toepassingsniveaus	5
1.5.	Plan van aanpak	7
1.5.1.	Het wettelijk voorgeschreven schriftelijk plan van aanpak	7
1.5.2.	Praktische invulling van het plan van aanpak	8
2.	Arboregelgeving geluid	11
2.1.	Inleiding	11
2.2.	Lawaai op de arbeidsplaats	13
2.3.	Voorkomen en beperken van schadelijk geluid	14
2.4.	Het arboconvenant	15
3.	Akoestische beginselen	17
3.1.	Algemeen	17
3.2.	Wat is geluid?	18
3.3.	Karakteristieken van een geluidsgolf	18
3.3.1.	Frequentie en golflengte	18
3.3.2.	Geluidsdruk en geluidsdrukniveau	19
3.4.	Geluidsdrukniveaus optellen en aftrekken	20
3.5.	Geluidsspectrum	25
3.5.1.	Octaaf- en tertsbanden	25
3.5.2.	A-correctie	27
3.5.3.	Het rekenen met spectrale gegevens	28
3.6.	Equivalent geluidsdrukniveau	31
3.7.	Geluidoverdracht in open lucht	31
3.7.1.	Puntbronnen	31
3.7.2.	Lijnbronnen	34
3.8.	Geluidoverdracht binnen een ruimte	35
3.8.1.	Direct geluid en galm	35
3.8.2.	De geluidabsorptie	35
3.8.3.	Nagalmtijd	36
3.8.4.	Relatie absorptie, nagalmtijd en geluidniveau in een ruimte	37
3.9.	Geluidoverdracht tussen twee ruimten	39
3.9.1.	Luchtgeluid	39
3.9.2.	Contactgeluid	41
3.9.3.	Andere vormen van geluidoverdracht tussen twee ruimten	42

4.	Metten van geluidsniveaus	44
4.1.	Uitvoeren van metingen	44
4.1.1.	Inleiding	44
4.1.2.	Normen	44
4.2.	Oriënterende meetmethode (NEN 3418)	45
4.2.1.	Beginsel	45
4.2.2.	Benodigde meetapparatuur	45
4.2.3.	Metingen	46
4.2.4.	Verslag	47
4.3.	Uitgebreid onderzoek (NEN 3419)	47
4.3.1.	Beginsel	47
4.3.2.	Beschrijving van de methode	48
4.3.3.	Meetapparatuur	49
4.3.4.	Metingen	49
4.3.5.	Verslag	51
5.	Beoordelen geluidgegevens	52
5.1.	Inleiding	52
5.2.	Grenswaarden en grootheden	52
5.2.1.	Grenswaarden	52
5.2.2.	De grootheden	52
5.3.	Bepalen dagdosis	53
5.3.1.	Het equivalente geluidsniveau	53
5.3.2.	Het partiële geluidexpositieniveau	54
5.3.3.	Het expositieniveau	56
5.4.	Voorbeelden	56
5.4.1.	Voorbeeld 1	57
5.4.2.	Voorbeeld 2	57
5.4.3.	Voorbeeld 3	58
6.	Bepaling van geluidreducties	60
6.1	Effect van een maatregelen op dagdosis	60
6.2	Rekenvoorbeelden	62
6.2.1	Voorbeeld 1	62
6.2.2	Voorbeeld 2	63
6.2.3	Voorbeeld 3	65
6.3	Varianten berekenen – voorbeeld 3	67
7.	Principes van maatregelen	69
7.1.	Maatregelen in het algemeen	69
7.1.1.	Maatregelen nabij de bron	70
7.1.2.	Maatregelen binnen ruimten	70
7.1.3.	Maatregelen bij de waarnemer	70
7.1.4.	Maatregelen bij overdracht in de open lucht	70
7.1.5.	Maatregelen bij de overdracht binnen gebouwen	70
7.1.6.	Maatregelen bij geluidoverdracht via kanalen en leidingen	71
7.1.7.	Maatregelen bij voer- en vaartuigen	71

7.2.	Geluidabsorptie	71
7.2.1.	Soorten materialen	72
7.2.2.	Aandachtspunten	73
7.3.	Geluidisolatie	74
7.3.1.	Soorten geluidoverdracht	74
7.3.2.	Verbeteren van de geluidisolatie	75
7.3.3.	Aandachtspunten	77
7.4.	Geluiddempers	77
7.4.1.	Inleiding	77
7.4.2.	Absorptiegeluiddempers	78
7.4.3.	Beklede bochten en suskasten (plenums)	79
7.4.4.	Resonatorgeluiddempers	80
7.4.5.	Diffusie- of smoorgeluiddempers	81
7.4.6.	Aandachtspunten	81
7.5.	Omkastingen, schermen en bedieningscabines	82
7.5.1.	Omkastingen en cabines	82
7.5.2.	Schermen, kappen enabri's	83
7.6.	Isolatie van constructiegeluid	83
7.6.1.	Ontkoppelen van leidingen	84
7.6.2.	Aanstraling door luchtgeluid	85
8.	Het beslissingsprotocol	86
8.1.	Inleiding	86
8.2.	De geluidreductiefactor (GRF)	86
8.2.1.	De GRF-formule	86
8.2.2.	Achtergrond en verantwoording	87
8.3.	Grenswaarden	90
8.4.	Randvoorwaarden	91
8.5.	Voorbeelden	91
8.5.1.	Voorbeeld 1	92
8.5.2.	Voorbeeld 2	93
8.5.3.	Voorbeeld 3	95
9.	Implementatie van maatregelen	98
9.1.	Inleiding	98
9.2.	De actuele geluidssituatie (nulmeting)	98
9.2.1.	De niveaus van stoorgeluiden	99
9.2.2.	De akoestische complexiteit van de machines	99
9.3.	Offertes aanvragen	100
9.4.	Offertes evalueren en beoordelen	101
9.5.	Implementatie van de maatregel	102
9.6.	Verificatie van het akoestisch resultaat	103
10.	Nazorg	104
10.1.	Aandachtspunten voor het gebruik van gehoorbescherming	104
10.2.	Aandachtspunten bij wijzigingen aan de geluidbron	104
10.3.	Aandachtspunten bij wijzigingen aan de maatregel	105

1. Inleiding

1.1. Aanleiding handleiding

Op 1 november 2001 hebben de staatssecretaris van Sociale Zaken, de vereniging voor werkgevers van de Nederlandse papier- en golfkarton- en kartonproducerende en –verwerkende bedrijven (pkgv-industrie) en de vereniging voor werknemers een arboconvenant gesloten voor de onderwerpen:

- machine- en arbeidsveiligheid;
- geluid;
- vroegtijdige reïntegratie van zieke werknemers;
- werkdruk;
- klimaat;
- organisch oplosmiddelen.

In het sectorplan van aanpak is voorzien dat het opstellen en uitvoeren van geluidsaneringsplannen wordt ondersteund door het opstellen van een handleiding en een strategie om effectief arbeidsplekgebonden schadelijk geluid te saneren. Voorliggende handleiding geeft invulling aan deze ondersteuning. Deze handleiding vormt tevens de basis van een training voor arbocoördinatoren voor het opstellen, beoordelen en implementeren van arbeidsplaatsgebonden geluidsaneringsplannen.

1.2. Doel handleiding

Met behulp van deze handleiding moeten arbocoördinatoren in staat zijn om arbeidsplaatsgebonden geluidsaneringsplannen op te stellen, te beoordelen en/of te implementeren; een en ander afhankelijk van hun opleidingsniveaus en de complexiteit van de akoestische situatie op de arbeidsplaats. Deze handleiding geeft de bedrijven een instrument om:

- in een eenvoudige geluidssituatie de geluidreducerende maatregelen zelf te kunnen inventariseren;
- in een complexe geluidssituatie het bepalen van geluidreducerende maatregelen aan deskundigen uit te besteden, zelf toch zicht te houden op het gehele proces en/of delen van het inventarisatiewerk in eigen hand te houden;
- afhankelijk van de deskundigheid van arbocoördinator minder complexe geluidssituaties in eigen beheer geluidsarmer te maken;
- in zowel eenvoudige als complexe situaties overzicht te bewaren over het gehele inventarisatie- en implementatieproces.

In paragraaf 1.4 wordt nader ingegaan op de verschillende toepassingsniveaus van de handleiding.

1.3. Andere informatiebronnen

Om de genoemde doelen te bereiken zijn naast de voorliggende handleiding ook andere publicaties van belang. In het bijzonder wordt de aandacht gevestigd op:

- Het arbo-informatieblad AI-4 “ Lawaai op de arbeidsplaats” van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid; Sdu Uitgevers, Den Haag 1998; ISBN 90 12 08473 3;
- De Nederlandse norm NEN 3418 “Ergonomie; Meting van geluid op de arbeidsplaats; Oriënterende meetmethode”; Nederlands Normalisatie-instituut, Delft 1992;
- De Nederlandse norm NEN 3419 “Ergonomie; Meting van geluid op de arbeidsplaats; Uitgebreid onderzoek”; Nederlands Normalisatie-instituut, Delft 1992.

Deze drie publicaties worden geacht onderdeel te zijn van voorliggende handleiding. Waar nodig worden delen van deze publicaties aanvullend nader toegelicht.

1.4. Drie toepassingsniveaus

Deze handleiding is op diverse onderdelen uitgesplitst in 3 toepassingsniveaus: de vereenvoudigde methode, de deskundige methode en de specialistische methode. De keuze voor het toepassen van de methode berust vooral op de complexiteit van de te saneren akoestische situatie en het kennisniveau van de arbocoördinator.

De complexiteit van de te saneren akoestische situatie hangt af van het aantal geluidbronnen dat het geluidniveau bepaald op een arbeidsplaats en het aantal te saneren arbeidsplaatsen waar een geluidbron (mede) bepalend is voor het heersende geluidniveau:

- als **akoestisch eenvoudig** kan de situatie worden aangemerkt waarbij 1 geluidbron het geluidniveau bepaald op 1 arbeidsplaats;
- als **akoestisch complexe** situatie moet worden gedacht aan een situatie waarbij verschillende geluidbronnen bepalend zijn voor het geluidniveau op diverse arbeidsplaatsen, alsook geluiden van 1 geluidbron die via verschillende overdrachtswegen (luchtgeluid, contactgeluid, constructiegeluiden) op één of meerdere arbeidsplaatsen bepalend zijn voor de heersende geluidniveaus.

Ten aanzien van de kennisniveaus is een onderscheid gemaakt tussen mbo, hbo en hbo⁺-niveau, waarbij het kennisniveau van de disciplines wis-, natuur- en werktuigbouwkunde maatgevend zijn.

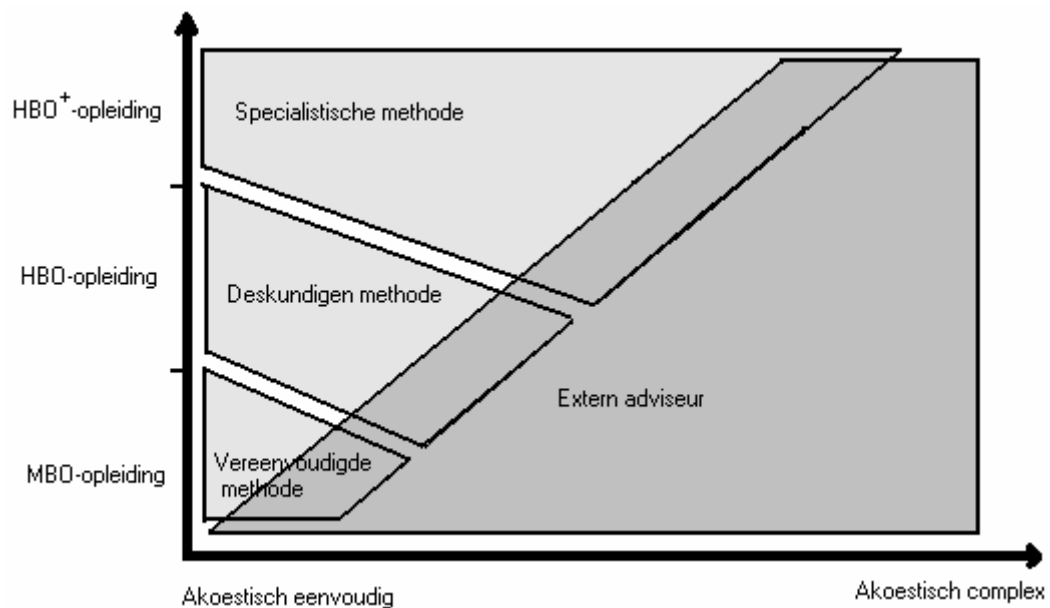
De **vereenvoudigde methode** is bedoeld voor het in eigen beheer opstellen van geluidsaneringsplannen van akoestisch eenvoudige situaties en voor het begeleiden van het saneringsproces op hoofdlijnen door arbocoördinatoren met een mbo-kennisniveau. Deze vereenvoudigde methode stelt de arbocoördinator in staat om het principe van de maatregel vast te stellen en om op basis van kengetallen een eerste indicatie te geven of de principemaatregel al dan niet tot de ‘stand der techniek’ behoort.

De vereenvoudigde methode gebruikt slechts in beperkte mate kwantitatieve akoestisch gegevens. Beslissingen op basis van deze methode zijn slechts richtinggevend. Kwantitatieve resultaten zijn niet betrouwbaar en dienen door deskundigen te worden bevestigd.

De **deskundigenmethode** is bedoeld voor het in eigen beheer opstellen van geluidsaneringsplannen voor minder eenvoudige akoestische situaties door arbocoördinatoren met een hbo- of hbo⁺-opleiding en voor het begeleiden van saneringsprocessen bij akoestisch niet te complexe situaties door arbocoördinatoren met een hbo⁺-opleiding. Binnen deze deskundigenmethode wordt eveneens een instrument aangereikt om aan de hand van hoofdzakelijk kwalitatieve afwegingen een maatregel al dan niet als ‘stand der techniek’ aan te merken. De deskundigenmethode maakt gebruik van een vereenvoudigd rekeninstrumentarium. Beslissingen op basis van deze methode zijn betrouwbaar doch niet ontegensprekelijk. Kwantitatieve uitkomsten van de methode zijn nauwkeurig tot op 2 à 3 dB.

De **specialistische methode** kan worden aangewend voor het in eigen beheer opstellen van geluidsaneringsplannen voor niet te complexe akoestische situaties en voor het begeleiden van saneringsprocessen bij akoestisch complexe situaties door arbocoördinatoren met een hbo⁺-opleiding. De specialistische methode beschrijft alle kwantitatieve elementen die leiden tot het al dan niet als ‘stand der techniek’ aanmerken van een maatregel. Beslissingen op basis van deze methode kunnen als ontegensprekelijk worden aangemerkt. De nauwkeurigheid van de kwantitatieve uitkomsten van deze methode bedraagt 1 tot 2 dB (ondergrens nauwkeurigheid die bepaald wordt door de meetnauwkeurigheid).

Afhankelijk van het kennisniveau van de arbocoördinator dient een extern adviesbureau te worden ingeschakeld om de saneringsplannen voor akoestische situaties op te stellen en eventueel te begeleiden. De rolverdeling tussen adviesbureaus en de actieve inbreng van de arbocoördinatoren is hiernavolgend grafisch weergegeven.



Figuur 1.1: Toepassingsniveaus in relatie tot opleidingsniveaus arbocoördinatoren en akoestische complexiteit

Leeswijzer: Deze handleiding is primair geschreven op het niveau van de deskundigen. Onderdelen van de teksten zijn tevens op een vereenvoudigde wijze verwoord. Deze onderdelen zijn ter herkennen aan de enkele lijn in de marge. Voor sommige onderwerpen daarentegen is een gedetailleerde beschrijving opgenomen op het niveau van de specialist. Deze onderdelen zijn in de marge gemarkeerd met een drievoudige lijn.

1.5. Plan van aanpak

Het saneren van geluid op de arbeidsplaats behelst meer dan alleen het selecteren en implementeren van maatregelen. Voordat maatregelen worden geselecteerd moet een goede analyse worden gemaakt van de heersende akoestische situatie. De eigenlijke implementatie van de maatregelen en de zorg na de implementatie verdienen ook de nodige aandacht. Een planmatige aanpak is noodzakelijk. Onderstaand wordt nader ingegaan op een goede planmatige aanpak. Eerst wordt echter ingegaan op de wettelijke verplichtingen ter zake.

1.5.1. Het wettelijk voorgeschreven schriftelijk plan van aanpak

Als binnen een bedrijf schadelijk geluid voorkomt, moet **een schriftelijk plan** worden opgesteld waarin de maatregelen zijn beschreven die ervoor moeten zorgen dat gehoorschade bij werknemers wordt voorkomen.

Volgens de wet moet de werkgever dus een schriftelijk plan opstellen voor de bestrijding van schadelijk lawaai op de arbeidsplaats. In dat plan van aanpak moeten in elk geval de volgende punten zijn uitgewerkt:

- Beoordeling en zo nodig meting van het geluidsniveau op de arbeidsplaats.
- De manier waarop het lawaai probleem wordt aangepakt, zo nodig met volgorde van fasering.

- c) De voorzieningen die zullen worden genomen om het geluidniveau te verlagen in ruimten waar werknemers verblijven.

In hoofdstuk 2 zijn de wettelijke verplichtingen gedetailleerd beschreven.

Om een dergelijk plan goed te doen slagen is terdege inzicht noodzakelijk in de veroorzakers van het geluidniveau op een bepaalde werkplek. Dit inzicht ontbreekt meestal. Onderstaand zijn voorstellen gedaan om op een adequate wijze te komen tot inzichten in de veroorzakers van het geluidniveau op de arbeidsplaats en vanuit dit inzicht een effectief plan op te stellen om het geluidniveau op de arbeidsplaats te verminderen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen bestaande situaties en nieuwe situaties.

1.5.2. *Praktische invulling van het plan van aanpak*

Bij het merendeel van de bedrijven is bekend op welke arbeidsplaatsen welke geluidniveaus heersen, hoeveel werknemers aan dit geluidniveau zijn blootgesteld en hoelang ze zijn blootgesteld. Deze inventariserende informatie vormt een goede basis om een effectief lawaaiBESTrijdingplan op te stellen. Om vervolgens de geluidssituatie te verbeteren dient deze per werkplek verder te worden geanalyseerd. Doel van deze analyse is het verwerven van de navolgende informatie:

- a) Geluidbronneninventarisatie: welke machines, welke onderdelen veroorzaken het geluid.
- b) Welke maatregelen zijn mogelijk en wat is het effect.
- c) Technische haalbaarheid.
- d) Economische haalbaarheid.

Onderstaand worden diverse aandachtspunten beschreven die – afhankelijk van de situatie in meer of minder mate – noodzakelijk zijn om de analyserende informatie inzichtelijk te maken en om effectieve beslissingen te kunnen nemen en uit te voeren. Deze aandachtspunten moeten worden beschouwd als hulpmiddelen om de geluidssituatie in voldoende mate te analyseren, zodat op een effectieve wijze maatregelen kunnen worden getroffen.

1. Kwalitatieve analyse op hoofdlijnen: een quick scan

Een ervaren akoesticus kan in een kort tijdsbestek aan de hand van een bedrijfsbezoek een goede kwalitatieve analyse maken van de knelpunten. Aan de hand van een dergelijke ‘quick scan’ kan worden aangegeven welke geluidbronnen relevant zijn en derhalve primair voor geluidreducerende maatregelen in aanmerking komen. Tevens kunnen in complexe situaties (meerdere relevante geluidbronnen en/of meerdere mogelijke maatregelen bij één bron) diverse maatregelenvarianten worden voorgesteld. Aangaande de technische haalbaarheid kan in overleg met de technische diensten van het bedrijf per situatie een nadere indicatie worden gegeven. Een quick scan levert geen uitputtende informatie doch geeft de richting die leidt tot een effectieve aanpak van een geluidreducerende maatregel.

In vele eenvoudige akoestische situaties is een quick scan reeds voldoende om een besluit te nemen voor een effectieve maatregel. In combinatie met de hoogte van het arbeidsrisico (blootstellingniveaus, blootstellingduur en aantal blootgestelden) kan tevens een goede fasering voor de maatregelen worden voorgesteld.

2. Kwantitatieve analyse

In sommige situaties geeft een kwalitatieve analyse onvoldoende houvast om maatregelen uit te werken. Aanvullende (analyserende) geluidmetingen zijn dan noodzakelijk. Deze kwantitatieve analyse heeft tot doel de geluidniveaus van diverse geluidbronnen te onderscheiden en het effect van maatregelen te evalueren in relatie tot de overige (niet geluidgereduceerde) geluidbronnen. Een kwantitatieve analyse kan grosso modo op drie niveaus worden uitgevoerd.

- **Het bepalen van de deelbronbijdragen op een arbeidsplaats:** Het (ontgensprekelijk en uitputtend) vastleggen van de geluidbijdrage van alle (relevante) geluidbronnen die het totale geluidniveau op de arbeidsplaats veroorzaken;
- **Het indicatief uitwerken van maatregelenvarianten:** Als alle deelbronbijdragen bekend zijn kan het (individuele en gecumuleerde) geluidverminderende effect op het heersende geluidniveau op de arbeidsplaats vanwege een veelheid van maatregelen op eenvoudige wijze worden bepaald. Op dit niveau worden alleen akoestische elementen betrokken bij het uitwerken van de varianten (hoogte van de geluidbijdragen en geluidreducties van maatregelen);
- **Het nader uitwerken van maatregelenvarianten:** Bij het uitwerken van maatregelenvarianten kunnen naast akoestische elementen ook de kosten(ramingen) en de technische en economische haalbaarheid worden betrokken.

Alle niveaus geven nadere informatie om – indien nodig – een goede fasering voor de uitvoering van maatregelen vast te leggen. In deze fase van het lawaaibestrijdingsplan is alle nodige informatie aanwezig om – in voorkomende situaties – onderbouwd te argumenteren dat een of andere maatregel niet kan worden uitgevoerd, c.q. vanuit kostenefficiëntie niet redelijk is.

Situering binnen het wettelijk voorgeschreven plan van aanpak: op basis van een quick scan wordt meestal - c.q. op basis van een kwantitatieve analyse wordt zeker – antwoord/informatie verstrekt betreffende “de manier waarop het lawaai probleem wordt aangepakt, zo nodig met volgorde van fasering” (onderdeel b, zie paragraaf 1.5.1.).

3. Keuze van de maatregelen

Aan de hand van de informatie verkregen middels de quick scan en/of de kwantitatieve analyse is een effectieve keuze te maken - eventueel in varianten - omtrent welke geluidbron welke geluidreductie behoeft. Deze informatie kan vervolgens gebruikt worden om gedetailleerde kostencalculaties te maken.

Deze kostencalculaties kunnen door externe partijen (leveranciers van geluidreducerende voorzieningen, installatiebedrijven e.d.) of door eigen technische diensten worden verzorgd.

Aangeraden wordt de uiteindelijke voorstellen (offertes) door een akoesticus te laten checken met als doel de haalbaarheid en de kostenefficiëntie van de voorstellen te evalueren (een geringe meerprijs kan bijvoorbeeld leiden tot relevante verbetering; anderzijds kan een relevante minderprijs leiden tot een verwaarloosbare effectvermindering).

Situering binnen het wettelijk voorgeschreven plan van aanpak: *de keuze van de effectieve maatregelen geeft aan “welke voorzieningen zullen worden genomen om het geluidniveau te verlagen in ruimten waar werknemers verblijven” (onderdeel c, zie paragraaf 1.5.1.).*

4. Uitvoering van de maatregelen – controle van het akoestisch effect

Nadat de maatregelen en de uitvoerende partij zijn gekozen verdient de opvolging van de uitvoering alle aandacht. Een aantal uitvoerende partijen heeft voldoende ervaring in de uitvoering van de akoestische voorzieningen. Deze partijen hoeven bij de uitvoering niet van nabij te worden gevolgd. Het merendeel van de uitvoerenden heeft weinig of onvoldoende ervaring met geluidreducerende maatregelen en behoeft geluidtechnisch gerelateerde ondersteuning. Het akoestisch effect van een maatregelen kan immers volledig verloren gaan door een detailfout (bijv. kieren). Een kwalitatieve of kwantitatieve (metingen) nacontrole wordt te allen tijde aanbevolen.

5. Opvolging van wijzigingen

Bedrijven zijn continu in verandering. Maatregelen die zijn getroffen op een bepaald moment kunnen als gevolg van andere wijzigingen hun effectiviteit verliezen. Een akoestische opvolging van relevante wijzigingen aan installaties en machines is noodzakelijk om niet na verloop van tijd weer achter de feiten aan te hollen.

2. Arboregeling geluid

2.1. Inleiding

Per 1 juli 1997 is het Arbeidsomstandighedenbesluit in werking getreden. Maar hoe zit het nu precies met dit besluit. En wat is dan de Arbowet?

De wet- en regelgeving over arbeidsomstandigheden bestaat uit vier niveaus:

- De Arbowet
- Het Arbobesluit
- De Arboregeling
- De beleidsregels

De regels uit de Arbowet, Arbobesluit en Arboregeling hebben een dwingend karakter. Overtreding kan leiden tot gerechtelijke stappen. De beleidsregels houden zich veel meer bezig met de invoering van de wet- en regelgeving. De arbeidsinspectie gebruikt ze bij de dagelijkse handhaving. Verder bieden de Arbo-informatiebladen (AI-bladen) achtergrondinformatie.

De Arbowet

De Arbowet is een kaderwet. Dit betekent dat in de wet globale rechten en plichten zijn opgenomen. Zo staat de plicht tot het houden van een risico-inventarisatie en -evaluatie in de wet. De verdere invulling van deze kaderwet is een zaak van de Tweede en Eerste Kamer.

Zie ook: Verkorte weergave van de vernieuwde Arbowet en Artikelsgewijze toelichting op de Arbowet

Het Arbobesluit

Elke kaderwet, dus ook de Arbowet, wordt nader ingevuld door Algemene Maatregelen van Bestuur (AMvB's). In de loop van '97 zijn alle bestaande AMvB's ondergebracht in één enkel Arbobesluit. Een AMvB valt onder de verantwoordelijkheid van het kabinet. Het nieuwe Arbobesluit is op 1 juli 1997 van kracht geworden.

In het Arbobesluit zijn 38 oude besluiten met meer dan 1200 bepalingen vervangen door één geactualiseerd besluit. De oude bepalingen waren verouderd, te gedetailleerd en complex. Het nieuwe Arbobesluit heeft een heldere, systematische indeling. Bovendien zijn de vele details en overlappende bepalingen eruit gehaald.

De Arboregeling

Ook de 40 ministeriële regelingen, die onder de verantwoordelijkheid van de minister vallen, zijn door één Arboregeling vervangen. Hierdoor zijn alle regelingen weer overzichtelijk terug te vinden. Ook zijn verouderde regelingen geschrapt of gemoderniseerd.

Tot deze regeling horen zaken als de eisen aan de deskundigen van arbodiensten, regels over lawaai of regels over ergonomische beeldschermwerkplekken. De Arboregeling heeft dezelfde hoofdstukindeling als het Arbobesluit.

Ook wordt de Arboregeling gebruikt voor het opnemen van gedetailleerde voorschriften uit de richtlijnen van de Europese Unie.

De reden om iets in de Arboregeling op te nemen hangt nauw samen met de mogelijkheid die de Arbowet of het Arbobesluit biedt om een onderwerp nader te regelen. De mogelijkheid is te herkennen aan de zinsnede: 'Onze Minister kan nadere regels stellen...'. Het grote voordeel van een ministeriële regeling is dat de voorschriften eenvoudig en dus snel te wijzigen zijn. De minister is bevoegd om zonder tussenkomst van het parlement of kabinet voorschriften te wijzigen.

De beleidsregels

Aan het Arbobesluit en de Arboregeling zijn de Arbobeleidsregels gekoppeld die concreet houvast bieden bij het toepassen van de wettelijke voorschriften. De Arbeidsinspectie hanteert de beleidsregels ter concretisering en motivering van een aantal algemene bepalingen in de Arbowet, het Arbobesluit en de Arboregeling. Bedrijven die zich niet aan deze regels houden moeten aantonen dat de manier waarop zij de arbozorg op dat punt gestalte geven minimaal even goed is als de beleidsregels voorschrijven.

De meeste beleidsregels zijn compact (één á twee A4-tjes). De beleidsregels verwijzen vaak naar NEN- en andere normen.

AI-bladen

Voor de voorlichting en voor achtergrondinformatie zijn er de Arbo Informatiebladen. Er komen 25 á 30 AI-bladen over onderwerpen waar in de praktijk veel vragen over zijn. Bijvoorbeeld over Arbo en verzuimbeleid, kantoren en beeldschermwerk en lawaai op de arbeidsplaats (AI-4). Deze AI-bladen vervangen de voorlichtende functie van de oude P-bladen.

De integrale teksten van de Arbo-regel zijn te vinden in diverse publicaties die onder meer bij de Sdu uitgevers zijn gepubliceerd. Op internetsite van het Nederlandse deel van het *Europese Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk* zijn de integrale teksten van de Arbo-regelgeving opgenomen (www.arbo.nl/legislation).

Afdeling 3 van het Arbeidsomstandighedenbesluit gaat nader in op de geluidvoorschriften binnen de Arboregelgeving. In de artikelen 6.6 tot en met 6.11 is beschreven op welke wijze bedrijven hinderlijk geluid op de arbeidsplaats moeten aanpakken. Onderstaand zijn deze artikelen toegelicht.

2.2. Lawaai op de arbeidsplaats

De arboregeling over lawaai op de arbeidsplaats betreft meer dan alleen de verplichting om het geluid te verminderen tot 80 dB(A) of minder. Hiernavolgend zijn enkele aspecten, breder dan de genoemde saneringsverplichting, nader toegelicht.

Toepassingsgebied (Arbowet 1998, hoofdstuk I, artikel 2):

De Arbowet- en regelgeving aangaande lawaai op de arbeidsplaats is van toepassing op iedereen die in Nederland arbeid verricht. De regelgeving stelt de werkgever verantwoordelijk voor de blootstelling van werknemers aan lawaai in een arbeidssituatie en verplicht deze, waar nodig, maatregelen te nemen ter voorkoming en beperking van blootstelling aan lawaai.

De geluiden die aan de regelgeving onderhevig zijn:

Vanaf een niveau van 80 dB(A) op de arbeidsplaats moet de werkgever maatregelen nemen om gehoorschade bij werknemers te voorkomen. Wetenschappelijk is vastgesteld dat blootstelling aan niveaus van meer dan 80 dB(A) schade kan veroorzaken. Komen deze niveaus voor in een werksituatie, dan is er sprake van een ongewenste lawaaiige situatie. De daaraan verbonden risico's moeten worden weggenomen of zo veel mogelijk worden gereduceerd.

Voorkomen en beperken van schadelijk geluid:

De wetgever verplicht de werkgever tot het inventariseren van de heersende geluidssituatie, het (waar nodig) opstellen van een lawaaibestrijdingsplan en het implementeren van de uit het plan voortvloeiende maatregelen.

Voorlichting en onderricht:

Een werkgever is verplicht, op grond van onder meer artikel 6.11 van het Arbobesluit, doeltreffende voorlichting en onderricht te geven aan werknemers die arbeid verrichten in schadelijke geluidsniveaus over:

- de mogelijke gevaren voor het gehoor;
- de bestaande regelgeving m.b.t. geluid en de te nemen maatregelen;
- de ter beschikkingstelling en de draagplicht van gehoorbeschermingsmiddelen en het gebruik van deze middelen;
- de inhoud en betekenis van een periodiek te herhalen audiometrisch onderzoek.

Afbakening en markering gehoorbeschermingszones:

De plaatsen waar equivalente geluidsniveaus worden verwacht van meer dan 85 dB(A) of meer dan 200 Pa (momentane geluiddruk) moeten duidelijk zijn afgebakend en gemarkeerd door een signalering (bijv. "Gehoorbescherming verplicht"). Dergelijke plaatsen worden gehoorbeschermingszones genoemd.

Gehoorbescherming:

Werknemers die op een arbeidsplaats blootstaan aan equivalente geluidniveaus van meer dan 80 dB(A) moeten gehoorbeschermingsmiddelen kunnen gebruiken. De werkgever is verplicht deze middelen beschikbaar te stellen. Bij geluidniveaus van meer dan 85 dB(A) is de werknemer verplicht deze middelen te gebruiken. Het ter beschikking stellen en verplicht dragen van gehoorbescherming is van toepassing op iedere arbeidsplaats waar het equivalente geluidniveau 80, resp. 85 dB(A) of meer bedraagt, ongeacht de **dagdosis** van de betreffende werknemer.

De werkgever zorgt voor een deugdelijke voorlichting over de risico's van schadelijk geluid en over de eigenschappen van de gehoorbeschermingsmiddelen.

Gehoorbeschermingsmiddelen moeten aan diverse geschiktheidscriteria voldoen, te weten:

- effectieve demping van het geluid tot beneden 80 dB(A);
- aanpassing aan de werkomstandigheden;
- het gebruik moet geschikt zijn in combinatie met andere beschermingsmiddelen;
- de middelen moeten passen bij de individuele gebruiker.

Audiometrische onderzoeken

De werknemer die aan geluidniveaus van meer dan 80 dB(A) blootstaat, moet door de werkgever in de gelegenheid worden gesteld minimaal één maal per vier jaar een audiometrisch onderzoek te ondergaan. Een audiometrisch onderzoek is een onderzoek naar de gehoorfunctie van de werknemer waarbij de onderzochte persoon een aantal geluiden met een variatie in toonhoogten en sterkten wordt aangeboden. De resultaten worden uitgewerkt in een audiogram. Audiogrammen kunnen in de loop der tijd onderling worden vergeleken.

Het doel van deze audiometrie is gehoorschade vroegtijdig vast te stellen, voorlichting te geven en groepsaudiogrammen te maken. Audiometrie kan bovendien een gunstige invloed hebben op de uitvoering van het lawaaibestrijdingplan. De werknemer wordt in kennis gesteld van de resultaten van de audiometrische onderzoeken die hij heeft ondergaan. Bij voorkeur worden de resultaten tevens met hem besproken. De resultaten van de onderzoeken moeten tenminste tien jaar worden bewaard.

2.3. Voorkomen en beperken van schadelijk geluid

Om te kunnen vaststellen of in een bepaalde arbeidssituatie sprake is van schadelijk geluid, moet het geluid op de plaatsen waar de werkgevers verblijven worden beoordeeld. Is er sprake van schadelijk geluid dan dienen in eerste instantie gehoorbeschermende maatregelen worden getroffen. De werkgever is wettelijk verplicht een schriftelijk plan op te stellen voor bestrijding van schadelijk lawaai op de arbeidsplaats. Dit plan moet in elk geval de volgende punten omvatten:

- meting en beoordeling van de geluidniveaus op de arbeidsplaatsen;
- hoe het lawaai probleem wordt aangepakt, indien nodig wordt een fasering aangegeven;

- welke maatregelen worden getroffen om het geluidniveau te verlagen.

Bij de bestrijding van lawaai genieten maatregelen aan de **bron** de voorkeur. Indien dit niet mogelijk of onvoldoende effectief is, moet worden gezocht naar mogelijkheden om de **geluidoverdracht** van bron naar ontvanger zo veel mogelijk te verminderen.

Is het geluidniveau op arbeidsplaatsen dan nog te hoog, dan moet worden nagegaan of het aantal aan lawaai blootgestelde werknemers kan worden beperkt tot het hoogst noodzakelijke. Het beperken van de **blootstellingsduur** van werknemers in een lawaaiige omgeving is ook een mogelijkheid om de totaal ontvangen lawaaidosis te verminderen.

Indien na het treffen van de bron- en overdrachtsmaatregelen alsnog arbeidsplaatsen met een schadelijk geluidniveau resteren, mogen gehoorbeschermingsmiddelen worden gezien als geluidreducerende eindmaatregel. Arbeidsplaatsen waar geluidniveaus heersen van hoger dan 80 dB(A) dienen te beschikken over **gehoorbeschermingsmiddelen**. De gehoorbeschermingsmiddelen moeten verplicht worden gedragen op de arbeidsplaatsen waar de geluidniveaus meer dan 85 dB(A) bedragen.

2.4. Het arboconvenant

In een arboconvenant worden afspraken gemaakt tussen de betrokken partijen binnen een bepaalde branche, teneinde te komen tot een verbetering van de arbeidsomstandigheden en het terugdringen van zaken als ziekteverzuim, werkdruk en arbeidsongevallen.

Binnen de pkgv-industrie is op 1 november 2001 een arboconvenant gesloten tussen het ministerie van SZW, de werkgevers en de werknemers. In dit arboconvenant zijn afspraken gemaakt aangaande de volgende onderwerpen:

- machineveiligheid en arbeidsveiligheid in algemene zin;
- geluid;
- vroegtijdige reïntegratie van zieke werknemers;
- werkdruk;
- klimaat;
- organische oplosmiddelen.

De afspraken over het onderwerp geluid zijn als volgt geformuleerd:

Minimalisering van het aantal werknemers dat onbeschermd blootstaat aan schadelijk geluid door het nemen van de volgende maatregelen:

1. Verlaging van de effectieve geluidsblootstelling, bij voorkeur tot beneden de schadegrens van 80 dB(A), via algemene toepassing van de stand der techniek m.b.t. geluidsreducerende maatregelen, zoals omschreven in het Sectorplan van Aanpak. Zodra de bedrijfsplannen van aanpak gereed zijn, zullen de door de bedrijven verwachte effecten van de daarin opgenomen maatregelen omgerekend worden naar branchegemiddelden. Vervolgens zullen die gemiddelden worden beschouwd als taakstellingen. Bij vervolgonderzoek zal naast de onbeschermden ook de beschermde blootstelling worden gemeten.
2. Algemene toepassing van passende gehoorbeschermers in arbeidssituaties waar bovengenoemde aanpak niet leidt tot verlaging van het geluidsniveau tot beneden 80 dB(A).

Het Sectorplan van Aanpak betreft een nadere uitwerking van de maatregelen om te komen tot effectuering van het arboconvenant. Deze ondersteunende maatregelen richten zich op o.a. communicatie en informatie, totstandkoming van het bedrijfsplan van aanpak gericht op de uitvoering van maatregelen en voortgangsbewaking van de uitvoering van het arboconvenant.

Per onderwerp zijn tevens de doelen aangegeven, de maatregelen en de hulpmiddelen. Tevens is een planning aangegeven. Nadat een hulpmiddel gereed is gekomen, is het de bedoeling dat het zo spoedig mogelijk wordt ingevoerd binnen de bedrijven.

Voor nadere informatie omtrent de inhoud van het arboconvenant en het Sectorplan van Aanpak wordt verwezen naar de integrale teksten. De integrale teksten van het arboconvenant en sectorplan zijn aan alle directies en arbocoördinatoren van alle bedrijven toegezonden.

3. Akoestische beginselen

3.1. Algemeen

Geluid is een complex natuurkundig verschijnsel: geluid is niet tastbaar, het is niet zichtbaar en het verandert voortdurend in de tijd. De hoeveelheid geluid is ook sterk locatieafhankelijk. Geluid laat - behoudens gehoorschade - geen sporen na: als het geluid ophoudt, houdt ook de hinder op. Geluidhinderbeleving hangt af van een veelheid van factoren en is zeer subjectief: wat de een als hinderlijk ervaart kan een ander acceptabel vinden.

Desondanks leidt te veel geluid regelmatig tot hinder en gehoorschade. Geluid op de arbeidsplaats is een van de geluidvormen waarbij gehoorschade kan optreden. Bij een objectieve beschrijving van het geluid en de daarmee samenhangende risico's voor gehoorschade dienen de volgende elementen te worden betrokken:

- *de gemiddelde hoeveelheid geluid:*
Veel geluid leidt sneller tot gehoorschade; weinig geluid minder snel. De gemiddelde hoeveelheid geluid wordt uitgedrukt als een equivalent geluid-drukniveau in dB(A).
- *de duur dat een werknemer aan geluid wordt blootgesteld:*
Hoe langer een werknemer wordt blootgesteld aan geluid, hoe hoger het risico op gehoorschade. De duur dat een werknemer aan geluid wordt blootgesteld wordt uitgedrukt als een blootstellingsduur in uren.

Beide elementen worden samengebracht in een grootheid: de 'dagdosis' of het 'exposure level'. In de volgende hoofdstukken wordt nader ingegaan op deze onderwerpen.

Geluid verspreidt zich in de ruimte vanaf de geluidbron tot bij de ontvanger. Op korte afstand van de geluidbron wordt veel geluid waargenomen, terwijl op grotere afstand van de geluidbron minder geluid wordt waargenomen. Geluid kan zich verplaatsen door de lucht, doch ook door bouwkundige constructies, ventilatiekanalen, over of langs (afschermende) objecten; zelfs doorheen materialen. Geluid kan zichzelf tussen bron en ontvanger versterken of verzwakken. Kortom: de geluidoverdracht tussen bron en ontvanger is complex. Ten behoeve van een inzichtelijke beschrijving van de geluidoverdracht tussen bron en ontvanger, wordt in dit hoofdstuk nader ingegaan op:

- de geluidoverdracht in zijn meest eenvoudige vorm: in een zogenaamd vrij veld waarbij alleen een geluidverzwakking ten gevolge van grotere afstanden wordt beschreven;
- de geluidoverdracht in een lege ruimte; in een zogenaamd galmveld waarbij naast de afstandsverzwakking ook de effecten van (absorberende en reflecterende) wanden worden beschouwd;
- de geluidoverdracht doorheen een constructie (bijvoorbeeld een wand, een omkasting, een bedieningsruimte);

- het onderscheid tussen zogenaamde hoge tonen en lage tonen en de relatie met de totale hoeveelheid geluid;
- hoe het totale geluid wordt bepaald van twee of meer geluidbronnen samen.

Vooraleer deze onderwerpen worden aangesneden wordt eerst beschreven wat geluid precies is.

3.2. Wat is geluid?

Geluid kan worden omschreven als elke drukvariatie die het menselijk oor kan waarnemen.

Net als bij een watergolf die ontstaat als een steen in een plas wordt gegooid, wordt in de lucht een golfbeweging in gang gezet, als de luchtdeeltjes door een voorwerp (geluidbron) in beweging worden gebracht. De watergolf verspreidt zich weg van de plaats waar de steen in de plas is gegooid en wordt tijdens het uitdeinen steeds kleiner. Een lucht- of geluidgolf verspreidt zich ook van de bron weg en wordt op grotere afstand van de bron minder intens.

Terwijl de bewegingen bij een watergolf zich uiten in het op- en neergaan van het wateroppervlak, gaat een geluidgolf gepaard met een opeenvolging van verdichtingen en verdunningen van de lucht. Ter plaatse van een verdichting zitten de luchtdeeltjes dichter op elkaar wat leidt tot een toename van de luchtdruk. Ter plaatse van verdunningen zitten de deeltjes verder uit elkaar wat tot uiting komt in een vermindering van de luchtdruk. Door de drukvariaties wordt het trommelvlies van het menselijk oor in trilling gebracht waardoor het geluid wordt waargenomen.

Een geluidgolf plant zich in de lucht voort met een snelheid van circa 343 meter per seconde of 1235 km/u.

3.3. Karakteristieken van een geluidgolf

3.3.1. Frequentie en golflengte

De snelheid waarmee de deeltjes heen en weer trillen wordt de frequentie van het geluid genoemd. De frequentie nemen we waar als “toonhoogte van het geluid”: hoe hoger de frequentie, hoe hoger de toon van het geluid. Frequentie wordt voorgesteld door het symbool f en uitgedrukt als het aantal trillingen per seconde in de eenheid Hertz [Hz]. In de regel kan de mens frequenties tussen 20 en 20.000 Hz waarnemen. In het algemeen is geluid, afkomstig van een bepaalde geluidbron, samengesteld uit meerdere frequenties. Geluid dat bestaat uit slechts één frequentie noemen we tonaal geluid (b.v. een stemvork).

(specialistische methode)

Voorgaand werd reeds gesproken over verdichtings- en verdunningscentra van luchtdeeltjes. De afstand tussen twee verdichtings- danwel verdunningscentra wordt de golflengte λ (*lambda*) genoemd. De golflengte wordt uitgedrukt in meter [m] of centimeters [cm]. Voor het hoorbare geluid in lucht liggen de golflengtes tussen 3 cm voor hoge tonen en 14 m voor lage tonen.

Een geluidsgolf met een lange golflengte nemen we waar als een geluid met een lage toon, een geluidsgolf met een korte golflengte als een hoge toon.

Tussen de golflengte en de frequentie van een geluidsgolf is een vaste relatie:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

met: λ = de golflengte (in meters);
 c = de voortplantingssnelheid (343 m/s);
 f = de frequentie (in Hertz).

3.3.2. Geluiddruk en geluiddrukniveau

Wanneer er geen geluid is, heerst uitsluitend de statische atmosferische druk. Deze atmosferische druk, ook wel luchtdruk genoemd, is weersafhankelijk en bedraagt circa 1000 mbar (1 mbar = 100 Pa). Bij afwezigheid van geluid beschouwen we de luchtdruk in evenwicht. Een geluidsgolf verstoort dit evenwicht waardoor er geringe drukvariaties in de lucht ontstaan. De grootte van deze drukvariaties wordt de geluiddruk p genoemd. Hoge geluidsdrukken worden waargenomen als hard geluid; lage geluidsdrukken worden waargenomen als zacht geluid. De geluiddruk wordt uitgedrukt in de eenheid Pascal [Pa].

(specialistische methode)

De geluiddruk kan variëren tussen 10^{-5} en 10^5 Pa. Een geluiddruk van 2 Pa wordt door het menselijk oor niet twee keer luider ervaren dan een geluiddruk van 1 Pa. Het menselijk oor ervaart het geluid zogenaamd logaritmisch: een geluiddruk van 2 Pa (100 dB) wordt slechts een fractie (6 dB) luider waargenomen dan een geluiddruk van 1 Pa (94 dB).

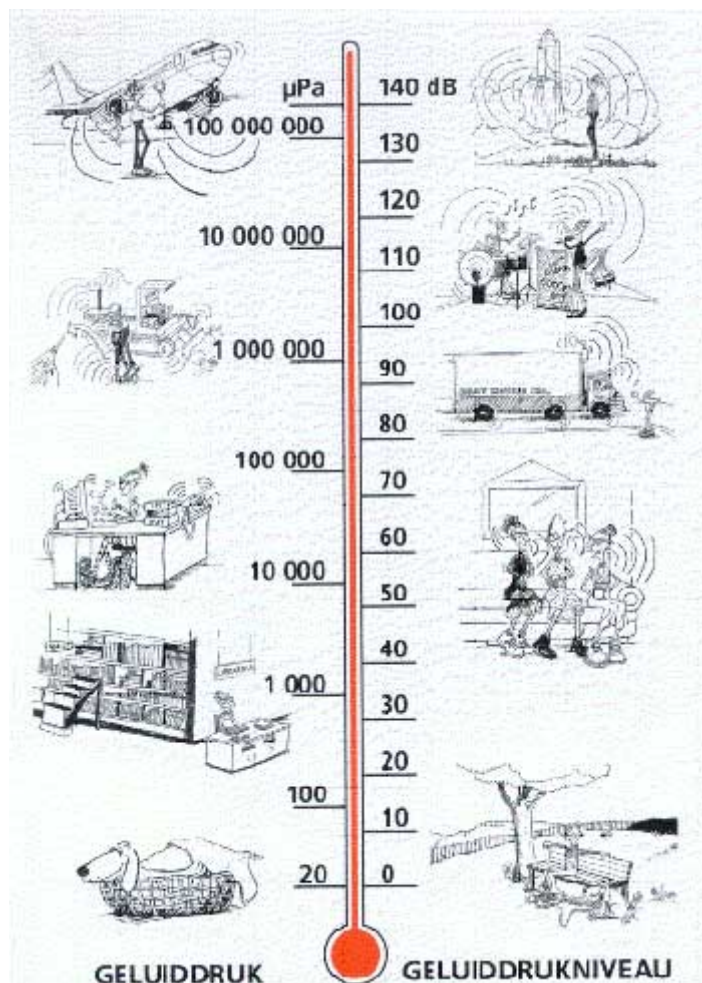
Omdat het menselijk gehoor een ongeveer logaritmisch verband ervaart met de fysische geluiddruk, wordt de geluidsterkte uitgedrukt in een logaritmische schaal. Deze logaritmische uitdrukking wordt het geluiddrukniveau genoemd. Hierbij wordt de geluiddruk vergeleken met de referentiewaarde van $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Het geluiddrukniveau (L_p) is gedefinieerd volgens onderstaande formule en wordt uitgedrukt in decibels (dB):

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

met: p = geluiddruk [Pa];
 p_0 = referentiewaarde van $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Het geluidsdrukkniveau, of kortweg het geluidniveau, wordt uitgedrukt als het logaritme van de geluidsdruk in het kwadraat. De geluidsdruk in het kwadraat is een maat voor de energie die de geluidsgolf met zich meedraagt.

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de geluidsdrukken en geluidsdrukkniveaus van een aantal activiteiten.



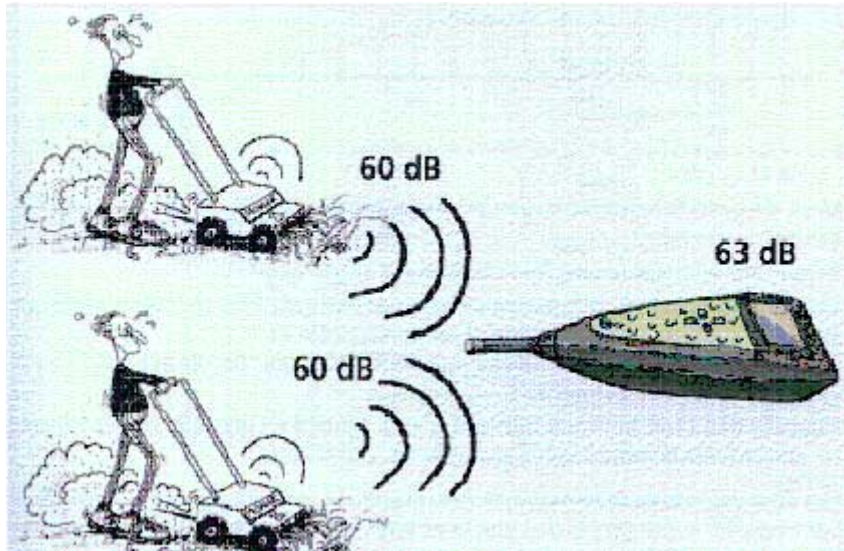
Figuur 3.1: Geluidsdruk en geluidsdrukkniveaus van een aantal activiteiten
(bron: Brüel & Kjær Sound & Vibration A/S)

3.4. Geluidsdrukkniveaus optellen en aftrekken

Als van twee of meer afzonderlijke geluidbronnen het geluidniveau is gekend en men wil het geluidniveau bepalen van de twee geluidbronnen samen dan moeten de geluidsniveaus worden gesommeerd. Dit kan niet rechtstreeks; dB's zijn immers logaritmische waarden.

Een methode om twee geluidsniveaus op te tellen is om de geluidsniveaus - dB-waarden – terug te rekenen naar lineaire waarden – energie of Pa^2 -, deze lineaire waarden op te tellen en vervolgens weer om te zetten naar dB.

Deze vreemde manier van geluidsniveaus optellen leidt er bijvoorbeeld toe dat twee geluidsniveaus van ieder 60 dB(A) samen een geluidsniveau van 63 dB(A) veroorzaken (zie figuur 3.2).



Figuur 3.2: De som van 2 geluidsniveaus (bron: Brüel & Kjær Sound & Vibration A/S)

Hiernavolgend zijn de stappen om geluidsniveaus op te tellen in formulevorm weergegeven.

De lineaire waarde van L_{p1} is $10^{\frac{L_{p1}}{10}}$.

De som van de lineaire waarden $10^{\frac{L_{p1}}{10}}$ en $10^{\frac{L_{p2}}{10}}$ is $10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}}$.

De logaritmische waarde van deze som is $10 \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \right)$.

Deze som noemen we ook de energetische som. De energetische som, die we aanduiden met $+_E$, van de geluidsdrukniveaus L_{p1} , L_{p2} tot en met L_{pn} is:

$$L_{p1} +_E L_{p2} +_E \dots +_E L_{pn} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$

(vereenvoudigde methode)

Om geluidsniveaus energetisch op te tellen kan eveneens gebruik worden gemaakt van tabel B.1 van bijlage 2. In deze tabel zijn de energetische sommen weergegeven van verschillende geluidsniveaus. Voor het energetisch optellen van bijvoorbeeld 80 en 83 dB vindt men in de tabel op de kruising van de rij van 80 dB en de kolom van 83 dB: 85 dB.

Optellen van meerdere geluidsniveaus kan door steeds twee niveaus bij elkaar op te tellen. De som van bijvoorbeeld vier geluidsniveaus van 80, 81, 82 en 83 dB wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned} 80 \text{ dB} + 81 \text{ dB} &= 84 \text{ dB}; \\ 84 \text{ dB} + 82 \text{ dB} &= 86 \text{ dB}; \\ 86 \text{ dB} + 83 \text{ dB} &= 88 \text{ dB}. \end{aligned}$$

Energetische sommatie van 80, 81, 82 en 83 dB levert dus 88 dB.

Naast de opteltabel kan ook gebruik worden gemaakt van de in figuur 3.3 weer-gegeven hulpgrafiek. (zie ook AI-4-blad, p 8 grafiek 1). Het optellen volgens deze figuur vindt als volgt plaats:

1. Bereken eerst het numeriek verschil van de twee geluidniveaus.
2. Bepaal vervolgens op basis van figuur 3.3 de op te tellen dB's.
3. Tel dit aantal dB's numeriek op bij het hoogste geluidniveau.

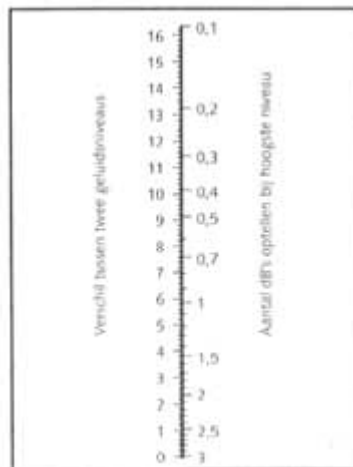
De op te tellen dB's (stap 2) kunnen eveneens worden bepaald aan de hand van tabel 3.1. Optellen van twee geluiddruk-niveaus van 80 en 83 dB (*verschil* = 3 dB) levert hiermee een totaalwaarde van $(83 + 1.8 =) 84.8$ dB. Optellen van meerdere geluidniveaus kan ook hier door steeds twee niveaus bij elkaar op te tellen. De som van vier geluidniveaus van 80, 81, 82 en 83 dB, bijvoorbeeld, wordt als volgt berekend:

$80 \text{ dB} + 81 \text{ dB}$ (*verschil* = 1 dB) = $(81 + 2.5 =) 83.5$ dB;

$83.5 \text{ dB} + 82 \text{ dB}$ (*verschil* = 1.5 dB) = $(83.5 + 2.3 =) 85.8$ dB;

$85.8 \text{ dB} + 83 \text{ dB}$ (*verschil* = 2.8 dB) = $(85.8 + 1.8 =) 87.6$ dB.

Energetische sommatie van 80, 81, 82 en 83 dB levert dus 87.6 dB.



Figuur 3.3: Hulpgrafiek optellen geluidniveaus

Verschil tussen de geluidniveaus [dB]	$+_E$
	Optellen bij het hoogste geluidniveau [dB]
0	3.0
0.5	2.8
1	2.5
1.5	2.3
2	2.1
2.5	1.9
3	1.8
3.5	1.6
4	1.5
4.5	1.3
5	1.2
6	1.0
7	0.8
8	0.6
9	0.5
10	0.4
11	0.3
12	0.3
13	0.2
14	0.2

Tabel 3.1: Opteltabel geluidniveaus

In veel situaties kan het geluidniveau van een geluidbron niet afzonderlijk worden gemeten. Bij een trapsgewijze schakeling van ventilatoren kan bijvoorbeeld wel ‘ventilator 1’ ingeschakeld worden en ‘ventilator 1 samen met ventilator 2’ en kan ‘ventilator 2’ niet alleen in bedrijf worden gesteld. Indien het nodig is om het geluidniveau van ‘ventilator 2’ te kennen, kan dat niet zonder meer worden gemeten. Hiervoor moet als volgt te werk worden gegaan: Meet eerst het geluidniveau van ‘ventilator 1’ (L_{p1}) en van ‘ventilator 1 samen met ventilator 2’ (L_{p1+2}). Het energetisch verschil van beide niveaus geeft dan het geluidniveau van ‘ventilator 2’ (L_{p2}). Om energetische verschillen (symbool $-_E$) te maken moeten de geluidniveaus ook weer eerst worden omgezet in lineaire waarden, moeten de lineaire waarden van elkaar worden afgetrokken en moet van het verschil de logaritmische waarde worden bepaald. In formulevorm betekent dit:

$$L_{p_2} = L_{p_{1+2}} -_E L_{p_1} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p_{1+2}}}{10}} - 10^{\frac{L_{p_1}}{10}} \right)$$

(vereenvoudigde methode)

Om geluidniveaus energetisch af te trekken kan eveneens gebruik worden gemaakt van tabel B.2 van bijlage 2. In deze tabel zijn de energetische verschillen weergegeven van verscheidene geluidniveaus. Aftrekken van een geluidniveau van 80 dB van een geluidniveau van 85 dB levert volgens de tabel 83 dB op. Aftrekken van meerdere geluidniveaus kan door steeds twee niveaus van elkaar af te trekken. Een geluidniveau van 85 dB verminderen met 80 en 78 dB levert bijv.:

85 dB - 80 dB = 83 dB;

83 dB - 78 dB = 81 dB.

Energetisch aftrekken van 80 en 78 dB van 85 dB levert dus 81 dB.

Naast de aftrektabel kan op vergelijkbare wijze als bij het optellen van geluidniveaus gebruik worden gemaakt van tabel 3.2. Aftrekken van twee geluidsdrukniveaus van 85 en 80 dB (*een verschil van 5 dB*) levert hiermee een totaalwaarde van $(85 - 1.7 =) 83.3$ dB. Aftrekken van meerdere geluidniveaus kan door steeds twee niveaus van elkaar af te trekken. Een geluidniveau van 85 dB verminderen met 80 en 78 dB levert bijvoorbeeld:

85 dB - 80 dB (*verschil = 5 dB*) = $(85 - 1.7 =) 83.3$ dB;

83.3 dB - 78 dB (*verschil = ca. 5.3 dB*) = $(83.3 - 1.5 =) 81.8$ dB.

Energetisch aftrekken van 80 en 78 dB van 85 dB levert dus 81.8 dB.¹

Verschil tussen de geluidniveaus [dB]	Δ_E
	Aftrekken van het hoogste geluidniveau [dB]
0	-
0.5	9.6
1	6.9
1.5	5.3
2	4.3
2.5	3.6
3	3.0
3.5	2.6
4	2.2
4.5	1.9
5	1.7
6	1.3
7	1.0
8	0.7
9	0.6
Verschil tussen de geluidniveaus [dB]	Δ_E
	Aftrekken van het hoogste geluidniveau [dB]
11	0.4
12	0.3
13	0.2
14	0.2
15	0.1

Tabel 3.2: Aftrektabel geluidniveaus

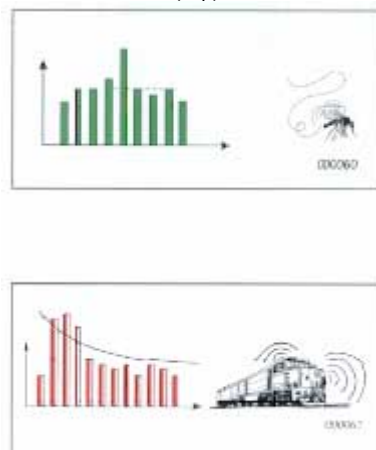
¹ Merk op dat twee genoemde rekenmethoden niet tot hetzelfde resultaat leiden. Dit is het gevolg van de (on)nauwkeurigheid van deze methoden, zoals deze ook in hoofdstuk 1 is beschreven. De specialistische methode kent een nauwkeurigheid van 1 à 2 dB. Bij de deskundigen methode blijft de nauwkeurigheid beperkt tot 2 à 3 dB.

3.5. Geluidspectrum

Sommige geluidbronnen produceren geluid met voornamelijk hoge tonen, van andere geluidbronnen horen we weer bromgeluiden (lage tonen). Het merendeel van de geluidbronnen vertonen een mix van hoge, midden en lage tonen. Het geheel aan informatie omtrent de verschillende toonhoogten die een geluidbron produceert wordt de spectrale informatie of het geluidspectrum genoemd.

De geluidsisolerende en geluidabsorberende eigenschappen van materialen en constructie zijn zeer sterk afhankelijk van de spectrale eigenschappen van de geluidbron. Een materiaal met een hoge geluidisolatiewaarde voor hoge tonen is niet bruikbaar voor een geluidbron met hoofdzakelijk lage tonen. Het vastleggen van de spectrale eigenschappen van het geluidniveau is derhalve heel belangrijk.

In paragraaf 3.3.1 is aangegeven dat een geluidsgolf mede wordt gekarakteriseerd door zijn frequentie en zijn golflengte. Bijna alle geluiden die wij waarnemen zijn een mix van geluidgolven met verschillende golflengten, waarbij niet alle golflengten even luid aanwezig zijn. In figuur 3.4 is van twee geluiden aangegeven welke golflengten (λ) hoe luid klinken (L_p).



Figuur 3.4: Twee spectra (bron: Brüel & Kjær Sound & Vibration A/S)

In deze paragraaf wordt beschreven op welke wijze de spectrale informatie van een geluid wordt vastgelegd en hoe uit de spectrale informatie het totale geluidniveau kan worden bepaald.

3.5.1. Octaaf- en tertsbanden

Het spectrum van een geluid geeft per golflengte weer hoe luid die toon klinkt in het geheel. Het spectrum bevat hierdoor ontzettend veel informatie. Om deze informatie bruikbaar te maken wordt het spectrum in stukken gehakt, die ook wel frequentiebanden worden genoemd.

Internationaal worden twee typen frequentiebanden gebruikt: octaafbanden en tertsbanden (1/3-octaafbanden). Bijvoorbeeld: de octaafband van 1000 Hz vertegenwoordigt alle frequenties tussen 707 Hz en 1414 Hz. Tertsbanden vertegenwoordigen minder golflengten dan octaafbanden.

De octaafband van 1000 Hz bijvoorbeeld is onderverdeeld 3 tertsbanden: de tertsband van 800 Hz (frequenties van 707 Hz tot 905 Hz), van 1000 Hz (frequenties van 905 Hz tot 1104 Hz) en van 1250 Hz (frequenties van 1104 tot 1414) Hz.

Het voordeel van de octaaf- of tertsbanden is dat de spectrale informatie met een beperkt aantal getallen kan worden gekarakteriseerd. In plaats van per frequentie aan te geven hoe luid de toon klinkt, wordt per frequentieband één getal genoemd dat het (energetisch) gemiddelde geeft van alle frequenties binnen de frequentieband. Tertsbanden geven meer gedetailleerde informatie van het spectrum dan octaafbanden. In tabel 3.3 zijn de internationaal gebruikte octaafbanden en tertsbanden (1/3-octaafbanden) weergegeven.

Tertsbanden [Hz]			Octaafbanden [Hz]		
Frequentieband	f: van - tot		Frequentieband	f: van - tot	
....			...		
25	22	28	31.5	22	45
31.5	28	36			
40	36	45			
50	45	56	63	45	88
63	56	72			
80	72	89			
100	89	112	125	88	177
125	112	143			
160	143	179			
200	179	224	250	177	354
250	224	280			
315	282	358			
400	358	447	500	354	707
500	447	559			
630	559	716			
800	716	894	1000	707	1414
1000	894	1118			
1250	1118	1431			
1600	1431	1789	2000	1414	2828
2000	1789	2236			
2500	2236	2795			
3150	2795	3578	4000	2828	5657
4000	3578	4472			
5000	4472	5590			
6300	5590	7155	8000	5657	11314
8000	7155	8944			
10000	8944	11180			
....					

Tabel 3.3: Overzicht terts- en octaafbanden

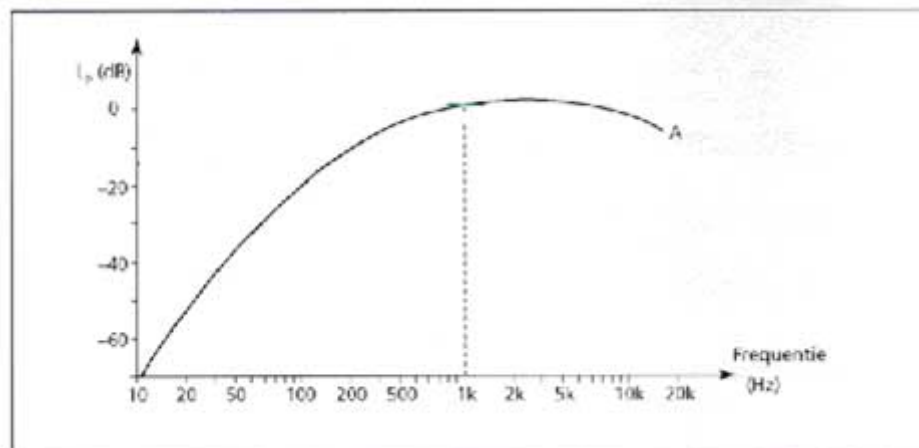
3.5.2. A-correctie

Ons gehoor is bij lage tonen minder gevoelig dan bij hoge tonen. Meetapparatuur daarentegen is bij alle tonen even gevoelig. Voor een kwalitatieve beoordeling wordt het gemeten geluid met behulp van een zogenaamd akoestisch filter gewogen op dezelfde wijze als ons gehoor dat doet. De gemeten geluidsniveaus worden daartoe gecorrigeerd. Deze correcties zijn vastgelegd in zogenaamde wegingsfilters. Het meest gebruikte wegingsfilter is de zogenaamde “A-weging”. Als de correcties volgens de A-weging zijn toegepast (A-correctie), dan wordt dit aangeduid door de toevoeging (A) bij het geluiddrukkniveau: **dB(A)** (i.p.v. dB).

Met behulp van de A-weging wordt de gemeten grootte gecorrigeerd tot een grootte die helemaal aansluit bij de waarneming van het menselijk oor. Opgemerkt wordt dat vele geluidsniveaumeters voorzien zijn van een elektronisch wegingsfilter dat al dan niet kan worden ingeschakeld. Bij deze elektronische geluidsniveaumeters kunnen zowel de niet-gecorrigeerde geluidsniveaus (in dB) als de A-gecorrigeerde geluidsniveaus (in dB(A)) onmiddellijk worden uitgelezen.

Zowel de spectrale gegevens (geluidniveau per octaafband/tertsband) als de totale geluidsniveaus kunnen in dB of dB(A) worden uitgedrukt.

De A-wegingscurve is weergegeven in figuur 3.5. In tabel 3.4 is per octaaf- en tertsbands aangegeven welke A-correctie moet worden toegepast op de gemeten (niet-gecorrigeerde) niveaus.



Figuur 3.5: A-weging (bron: Brüel & Kjær Sound & Vibration A/S)

Tertsbanden [Hz]		Octaafbanden [Hz]	
Frequentietabel	A-correctie	frequentietabel	A-correctie
25	- 44.7	31.5	- 39.4
31.5	- 39.4		
40	- 34.6		
50	- 30.2	63	- 26.2
63	- 26.2		
80	- 22.5		
100	- 19.1	125	- 16.1
125	- 16.1		
160	- 13.4		
200	- 10.9	250	- 8.6
250	- 8.6		
315	- 6.6		
400	- 4.8	500	- 3.2
500	- 3.2		
630	- 1.9		
800	- 0.8	1000	0
1000	0		
1250	+ 0.6		
1600	+ 1.0	2000	+ 1.2
2000	+ 1.2		
2500	+ 1.3		
3150	+ 1.2	4000	+ 1.0
4000	+ 1.0		
5000	+ 0.5		
6300	- 0.1	8000	- 1.1
8000	- 1.1		
10000	- 2.5		
....			

Tabel 3.4: A-correctie per octaafband en tertsband

3.5.3. Het rekenen met spectrale gegevens

De A-correctie

In de vorige paragraaf is het onderscheid tussen dB- en dB(A)-geluiddrukkniveaus beschreven. Binnen het kader van de Arbowetgeving worden alle geluidsniveaus beschouwd, na toepassing van de A-weging. Alle te beoordelen geluidsniveaus worden uitgedrukt in dB(A).

Indien metingen zijn uitgevoerd waarbij is gebruik gemaakt van de elektronische A-weging van de geluidsniveaumeter, dan zijn de uitgelezen waarden in dB(A) uitgedrukt. Correcties moeten dan niet meer worden doorgevoerd. Wanneer meetgegevens worden gemeten of aangereikt in dB (niet-A-gecorrigeerde waarden), dient handmatig een A-correctie te worden toegepast.

A-correcties worden altijd toegepast op de spectrale gegevens (gegevens per octaafband of per tertsband). De A-correctie betekent simpelweg dat bij de per oc-

taafband/tertsband gemeten dB-niveaus de in tabel 3.4 genoemde waarde (numeriek, niet logaritmisch) wordt opgeteld. De alzo berekende geluidrukniveaus worden dan in dB(A) uitgedrukt.

De bepaling van het totale geluidniveau

Het totale geluidrukniveau wordt verkregen door de geluidrukniveaus van iedere frequentieband energetisch op te tellen volgens onderstaande formule (formule voor n octaafbanden):

$$L_{p_{tot}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p_1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p_2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{p_n}}{10}} \right)$$

Indien de octaafbandwaarden in dB zijn uitgedrukt, dan is het totaalniveau eveneens in dB. Indien de octaafbandwaarden in dB(A) zijn uitgedrukt, dan is het totaalniveau eveneens A-gecorrigeerd (dB(A)).

Indien de octaafbandwaarden als niet-gecorrigeerde waarden zijn weergegeven (in dB), dan kan het totale A-gewogen geluidniveau (in dB(A)) als volgt worden bepaald:

$$L_{p_{tot}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p_1} - A_1}{10}} + 10^{\frac{L_{p_2} - A_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{p_n} - A_n}{10}} \right)$$

(vereenvoudigde methode)

Het optellen van de geluidniveaus kan eveneens geschieden volgens de vereenvoudigde methode die is beschreven in paragraaf 3.4.

Voordat toepassing van A-correctie plaatsvindt moet er op gelet worden dat de octaafband/tertsbandwaarden in dB's zijn uitgedrukt. Stel dat de meetgegevens in dB(A) zijn uitgelezen, dan mag geen handmatige A-correctie meer toegepast worden. Ga daarom altijd na of gemeten octaaf/tertsbandwaarden in dB of dB(A) zijn uitgelezen.

Tot slot wordt opgemerkt dat een totaalniveau in dB, waarvan geen spectrale gegevens bekend zijn, niet handmatig kan worden gecorrigeerd naar een dB(A)-niveau.

Een rekenvoorbeeld

Tertsbanden

Tertsband [Hz]	L _p [dB]	A-correctie	L _p [dB(A)]
16	76.7	- 56.7	20
20	72.5	- 50.5	22
25	69.7	- 44.7	25
31.5	83.1	- 39.4	43.7
40	79.9	- 34.6	45.3
50	78.5	- 30.2	48.3
63	80.3	- 26.2	54.1
80	78.4	- 22.5	55.9
100	79.9	- 19.1	60.8
125	82.4	- 16.1	66.3
160	82.7	- 13.4	69.3
200	82.5	- 10.9	71.6
250	83.3	- 8.6	74.7
315	85.1	- 6.6	78.5
400	86.1	- 4.8	81.3
500	85.4	- 3.2	82.2
630	86.6	- 1.9	84.7
800	86.7	- 0.8	85.9
1000	87.2	0	87.2
1250	87.5	+ 0.6	88.1
1600	87.1	+ 1	88.1
2000	87.2	+ 1.2	88.4
2500	86.7	+ 1.3	88
3150	87.8	+ 1.2	89
4000	88.7	+ 1	89.7
5000	86.3	+ 0.5	86.8
6300	83.2	- 0.1	83.1
8000	79.9	- 1.1	78.8
10000	76.2	- 2.5	73.7
12500	72.1	- 4.3	67.8
Totaal	99.1 dB		98.3 dB(A)

Tabel 3.5a: *Tertsbanden*

Octaafbanden

Octaafband [Hz]	L _p [dB]	A-correctie	L _p [dB(A)]
31.5	86.1	- 39.4	46.7
63	84.7	- 26.2	58.5
125	87.6	- 16.1	71.5
250	89.2	- 8.6	80.6
500	91	- 3.2	87.8
1000	91.9	0	91.9
2000	91.7	+ 1.2	92.9
4000	92.4	+ 1	93.4
8000	86	- 1.1	84.9
totaal	99.1 dB		98.3 dB(A)

Tabel 3.5b: *Octaafbanden*

3.6. Equivalent geluiddrukkniveau

Continu draaiende motoren produceren geluiden waarvan het geluidniveau niet varieert in de tijd. We noemen dit continue geluidbronnen. Op ieder tijdstip van de dag zal een geluidniveaumeter hetzelfde geluidniveau registreren.

Het merendeel van de geluidbronnen produceert echter een geluid waarvan de geluidsterkte steeds varieert. Het gemeten geluidniveau verandert voortdurend en is bijna nooit hetzelfde. Om desondanks een eenduidige meetwaarde toe te kennen aan deze geluidbronnen wordt in de Arbowetgeving uitgegaan van een zogenaamd equivalent geluiddrukkniveau L_{eq} .

Het L_{eq} kan bij goede benadering worden beschouwd als gelijkwaardig (equivalent) aan de sterkte van een continu geluid met een overeenkomstig geluiddrukkniveau L_p . De geluidniveaus worden energetisch gemiddeld over een zekere (meet)periode.

De meest gangbare geluidniveaumeters zijn voorzien van elektronische middelmogelijkheden, zodat het L_{eq} onmiddellijk kan worden uitgelezen. Indien een equivalent geluidniveau tevens A-gecorrigeerd is, wordt deze grootheid aangeduid met L_{Aeq} .

De beoordeling van niet-continue geluiden kan (naast L_{Aeq}) aanvullend gekarakteriseerd worden aan de hand van het zogenaamde momentane geluidniveau of piekniveau, uitgedrukt in dB (L_{max}). Het maximale geluidniveau geeft de hoogste waarde weer van het voortdurend wisselende geluidniveau. Het L_{max} is de hoogste aflezing van de geluidniveaumeter in de meterstand “fast” zonder A-weging (zie meetapparatuur).

3.7. Geluidoverdracht in open lucht

Het geluidniveau vanwege een geluidbron vermindert naarmate de afstand tot die geluidbron groter wordt. Gemeten geluidniveaus op een bepaalde afstand tot een geluidbron gelden dus niet op andere locaties, op andere afstanden tot die geluidbron. Uit de meetgegevens op afstand r_1 kunnen echter wel geluidniveaus worden bepaald voor het te verwachten geluidniveau op een andere afstand r_2 van de geluidbron. In dit hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan, voor zover de geluidbron zich bevindt in open lucht. In paragraaf 3.8 wordt de meer complexere situatie van het geluid in een ruimte beschreven.

3.7.1. Puntbronnen

Puntbronnen zijn geluidbronnen waarvan het geluid in alle richtingen, in de vorm van een bol, wordt uitgestraald.

Het geluiddrukkniveau van een puntbron neemt met de afstand vanaf die puntbron af volgens:

$$L_p = L_w + 10 \log\left(\frac{1}{4\pi r^2}\right) = L_w - 10 \log(4\pi r^2)$$

met L_p = geluiddrukkniveau ter plaatse van de ontvanger;
 L_w = bronvermogen van de geluidbron, dit is een maat voor de hoeveelheid geluid dat een bron uitstraalt;
 r = afstand tussen geluidbron en ontvanger.

Bovenstaande formule geldt voor een zogenaamde puntbron die in de open lucht staat. Een bron wordt als een puntbron beschouwd wanneer de afstand vanaf de bron groot is ten opzichte van de afmetingen van de bron. Als vuistregel geldt dat een bron als puntbron wordt beschouwd wanneer de afstand (r) groter is dan 1.5 maal de grootste brondimensie (D):

$$r > 1.5 \cdot D$$

Voorbeeld:

Een puntbron heeft een bronvermogen van 101 dB(A).

Op **1 meter** afstand bedraagt het geluiddrukkniveau volgens formule

$$L_p = L_w - 10 \log(4\pi r^2) = 101 - 10 \log(4\pi) = \mathbf{90 \text{ dB(A)}}.$$

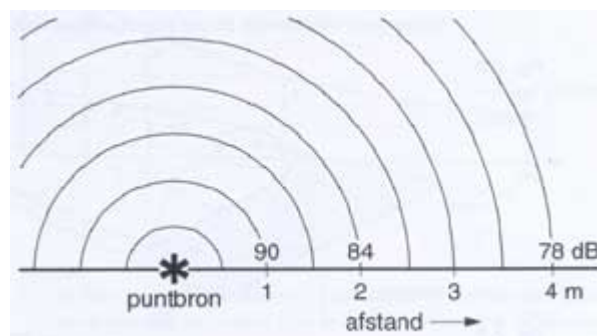
Op **2 meter** vanaf de bron zal het geluiddrukkniveau dan

$$L_p = L_w - 10 \log(4\pi r^2) = 101 - 10 \log(4\pi 4) = \mathbf{84 \text{ dB(A)}}.$$

Op een afstand van **4 meter** bedraagt het geluiddrukkniveau

$$L_p = L_w - 10 \log(4\pi r^2) = 101 - 10 \log(4\pi 16) = \mathbf{78 \text{ dB(A)}}.$$

Hieruit blijkt dat het geluiddrukkniveau met 6 dB afneemt wanneer de afstand tot de bron wordt verdubbeld. Zie ook figuur 3.6.



Figuur 3.6: Afstandsverzwakking van een puntbron

(vereenvoudigde methode)

Een bron wordt als een puntbron beschouwd indien de afstand vanaf de bron groot is ten opzichte van de afmetingen van de bron. Als vuistregel wordt hierbij gehanteerd dat een bron een puntbron is indien de afstand tussen bron en ontvanger groter is dan 1.5 maal de grootste brondimensie:

$$r > 1.5 \cdot D$$

Het geluidsdrukniveau neemt af naarmate de afstand vanaf de bron groter wordt. Wanneer zich een puntbron in de open lucht bevindt is het verband tussen afstand en afname van het geluidsdrukniveau als weergegeven in navolgende tabel.

Afstand tot de bron [m]	Afname geluid-drukniveau [dB]	Afstand tot de bron [m]	Afname geluid-drukniveau [dB]
0.5	5	9.0	30
1.0	11	9.5-10.0	31
1.5	15	11.0	32
2.0	17	12.0-13.0	33
2.5	19	14.0	34
3.0	21	15.0-16.0	35
3.5	22	17.0-18.0	36
4.0	23	19.0-21.0	37
4.5	24	22.0-23.0	38
5.0	25	24.0-26.0	39
5.5	26	27.0-29.0	40
6.0	27	30.0-33.0	41
6.5	27	34.0-37.0	42
7.0	28	38.0-42.0	43
7.5	28	43.0-47.0	44
8.0	29	48.0-53.0	45

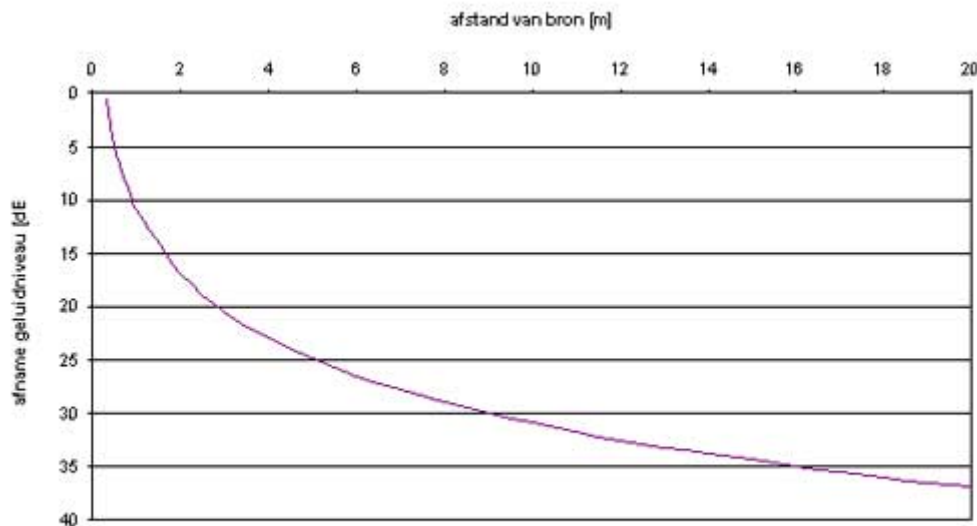
Tabel 3.6: Afstandsverzwakking puntbron

In figuur 3.6 is de afname van het geluidsdrukniveau op verschillende afstanden grafisch weergegeven.

Uit de tabel volgt bijvoorbeeld dat het geluidsdrukniveau op 10 meter afstand van een bron met 31 dB is afgenomen. Hieruit kan, wanneer het geluidsdrukniveau vanwege een bepaalde bron op een zekere afstand bekend is, het bronvermogen van die geluidbron worden bepaald.

Voorbeeld:

Op een afstand van 10 meter bedraagt het geluiddrukkniveau vanwege een geluidbron 70 dB(A). Uit de tabel volgt dat het geluiddrukkniveau dan met 31 dB is afgenomen. Het bronvermogen van die geluidbron bedraagt dus $70 + 31 = 101$ dB(A).



Figuur 3.6: Afname geluidniveau versus afstand tot de bron

3.7.2. Lijnbronnen

Lijnbronnen zijn geluidbronnen die geluid afstralen in de vorm van een cilinder. Het zijn geluidbronnen die – in relatie tot de afstand tot de ontvanger – heel dun en lang zijn. Het geluidsniveau van een lijnbron, zoals bijvoorbeeld een geluidafstralende leiding, vermindert met de afstand volgens:

$$L_p = L_w + 10 \log\left(\frac{1}{4\pi r}\right) = L_w - 10 \log(4\pi r)$$

met L_p = geluiddrukkniveau ter plaatse van de ontvanger;
 L_w = bronvermogen van de geluidbron, dit is een maat voor de hoeveelheid geluid dat een bron uitstraalt;
 r = afstand tussen geluidbron en ontvanger.

Voorbeeld:

Een lijnbron heeft een bronvermogen van 101 dB(A).

Op **1 meter** afstand bedraagt het geluiddrukkniveau volgens formule

$$L_p = L_w - 10 \log(4\pi r) = 101 - 10 \log(4\pi) = 90 \text{ dB(A)}.$$

Op **2 meter** vanaf de bron zal het geluidsdrukkniveau dan $L_p = L_w - 10 \log(4\pi r) = 101 - 10 \log(4\pi 2) = 87 \text{ dB(A)}$.

Op een afstand van **4 meter** bedraagt het geluidsdrukkniveau $L_p = L_w - 10 \log(4\pi r) = 101 - 10 \log(4\pi 4) = 84 \text{ dB(A)}$.

Hieruit blijkt dat het geluidsdrukkniveau met 3 dB afneemt wanneer de afstand tot de bron wordt verdubbeld.

In de praktijk zal, als gevolg van de absorptie van het geluid door de lucht, de afstandsverzwakking groter zijn. Vooral bij hoge frequenties kan dit effect groot zijn. Binnen industriële gebouwen gelden echter zodanige kleine afstanden dat deze extra verzwakking door luchtabsorptie verwaarloosbaar klein is.

3.8. Geluidoverdracht binnen een ruimte

3.8.1. Direct geluid en galm

In paragraaf 3.7 is omschreven hoe het geluidniveau afneemt wanneer men zich verder van de bron verwijdt. Dit geldt onder zogenaamde vrije veld condities. In een fabriekshal zal in de praktijk echter het geluidniveau niet alleen afhangen van de afstand tot een bepaalde geluidbron (het directe geluidveld), maar ook van reflecties tegen ruimtebegrenzings (het galmveld). Het galmveld wordt bepaald door de afmetingen van de hal en de akoestische eigenschappen van de wanden, daken, vloeren en alle binnen de hal aanwezige machines en installaties.

Het geluidniveau op een bepaalde locatie in de hal zal een cumulatie zijn van het “directe geluid” en de “galm”. Direct geluid is opgebouwd uit geluidgolven die van bron naar ontvanger lopen zonder een ruimtebegrenzing te ontmoeten. Een galmveld is opgebouwd uit geluidgolven die door minstens één begrenzing zijn weerkaatst. Het directe geluidveld gedraagt zich op dezelfde wijze als in het in vorige paragraaf besproken vrije veld. De beschrijving van de galm is onderwerp van dit hoofdstuk. Ten behoeve van de beschrijving van het nagalmveld wordt eerst uitgelegd wat de geluidabsorptie en de nagalmtijd is van een ruimte.

3.8.2. De geluidabsorptie

(specialistische methode)

De overdracht van geluid binnen een ruimte wordt in grote mate bepaald door de het geluidabsorberende vermogen van de wanden, vloer en plafond van die ruimte. Geluidabsorptie is de eigenschap van materialen waarbij het geluid in het materiaal ‘indringt’ en niet meer wordt gereflecteerd. Een open raam in een gevel is een 100% geluidabsorber. Het geluidabsorberend vermogen van een materiaal (geluidabsorptiecoëfficiënt α) wordt uitgedrukt als de verhouding van de geabsorbeerde geluidenergie en de invallende geluidenergie. Een open raam heeft een absorptiecoëfficiënt $\alpha = 1$.

Voor de beschrijving van de absorptie van een ruimte wordt de term “open-raam-oppervlak” gehanteerd. Aan ieder wanddeel van de ruimtebegrenzing (met oppervlak S_n) kan, met behulp van de absorptiecoëfficiënt α_n , een equivalent oppervlak open raam (A_n) worden toegekend.

$$A_n = \alpha_n S_n$$

met: A_n = equivalent oppervlak open raam voor wanddeel n [m^2];
 α_n = absorptiecoëfficiënt van wanddeel n;
 S_n = oppervlak wanddeel n [m^2].

De totale geluidabsorptie in de ruimte wordt nu beschreven door het totale open raam oppervlak A:

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n = \bar{\alpha} S$$

met: A = totaal open raam van de ruimte
 $\bar{\alpha}$ = gemiddelde absorptiecoëfficiënt van de ruimte;
 S = totale begrenzingsoppervlak.

3.8.3. Nagalmtijd

(specialistische methode)

Wanneer een geluidbron in een ruimte stopt met geluid produceren, heeft het geluid tijd nodig om geheel “uit te sterven”. Het geluid klinkt dan nog een zekere tijd na. Klinkt het geluid in een ruimte lang na dan wordt gesproken van galmende ruimte. Wanneer het geluid in een ruimte nauwelijks naklinkt, spreken we van een droge of dode ruimte. In een galmende ruimte wordt weinig geluid geabsorbeerd door wanden, vloer en/of plafond. In een droge ruimte wordt daarentegen veel geluid geabsorbeerd. Tussen geluidabsorptie en nagalmtijd geldt het volgende verband:

meer absorptie $\Rightarrow$ **kortere** nagalmtijd
minder absorptie $\Rightarrow$ **langere** nagalmtijd

De akoestische kwaliteit van een ruimte is in belangrijke mate afhankelijk van de zogenaamde nagalmtijd van de ruimte. De nagalmtijd van een ruimte is genormaliseerd en wordt aangeduid met de grootheid T_{60} . De grootheid T_{60} wordt gedefinieerd als het aantal seconden dat nodig is om een door een geluidbron in een ruimte opgewekt geluidsdrukkniveau L in niveau 60 dB te doen dalen, nadat de geluidbron is uitgeschakeld.

Aangezien de nagalmtijd van een ruimte afhankelijk is van de frequentie van het opgewekte geluid in die ruimte, wordt de nagalmtijd T_{60} in octaafbanden gemeten/berekend. De nagalmtijd T_{60} wordt in het algemeen als de nagalmtijd T aangeduid.

Om een indruk te krijgen van de orde van grootte van de nagalmtijd in diverse typen ruimten zijn in tabel 3.7 enkele (bij benadering) te verwachten nagalmtijden gegeven, gemiddeld over de vijf octaafbanden van 125 t/m 2000 Hz.

Type ruimte	Nagalmtijd T_{60} [s]
Kale verblijfsruimte	1,3...1,5
Gemeubileerde verblijfsruimten	0,4...0,6
Kantoorruimten	0,4...0,8
Schoollokalen	0,5...0,8
Vergaderzalen	0,5...1,0
Zwembaden	0,7...1,5

Tabel 3.7: Nagalmtijd van diverse ruimten

3.8.4. Relatie absorptie, nagalmtijd en geluidniveau in een ruimte

(specialistische methode)

De nagalmtijd is afhankelijk van de mate waarin het geluid door de ruimtebegrenzungen wordt geabsorbeerd. Tussen het totale open raam oppervlak (A) en de nagalmtijd (T) geldt het volgende verband:

$$T = \frac{V}{6A} \quad (\text{formule van Sabine})$$

met: V = volume van de hal [m^3].

Het geluidniveau in een galmveld wordt, bij benadering, als volgt omschreven:

$$L_{p,g} = L_w + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right)$$

met: $L_{p,g}$ = geluidniveau in het galmveld;
 L_w = bronvermogen van de geluidbron.

Opgemerkt wordt dat het geluidniveau in het galmveld niet afhankelijk is van de afstand tot de bron.

Het totale gecumuleerde geluidniveau, de som van het geluidniveau van het galmveld $L_{p,g}$ en het geluidniveau van het directe veld $L_{p,d}$, van een rondom uitstralende geluidbron (puntbron) is:

$$L_p = L_{p,g} + L_{p,d} = L_w + 10 \log \left(\frac{4}{A} + \frac{1}{4\pi r^2} \right)$$

met: $L_{p,g}$ = geluidniveau in het galmveld;
 L_w = bronvermogen van de geluidbron;
 A = totaal open raam van de ruimte;
 r = afstand tot de geluidbron.

Voorbeeld:

Een rondom uitstralende bron heeft een bronvermogen van $L_w=95$ dB(A). De afmetingen van de hal zijn ($l*b*h$) $50*25*6$ m. De nagalmtijd van de hal bedraagt 2 seconden. Het geluidniveau in de hal kan als volgt worden bepaald.

Het directe geluidniveau neemt af volgens:

$$L_{p,g} = 95 + 10 \log\left(\frac{1}{4\pi r^2}\right).$$

Het totale open raam oppervlak bedraagt $A = \frac{V}{6T} = 625$ m². Het geluidniveau in het galmveld $L_{p,g}$ is hiermee gelijk aan:

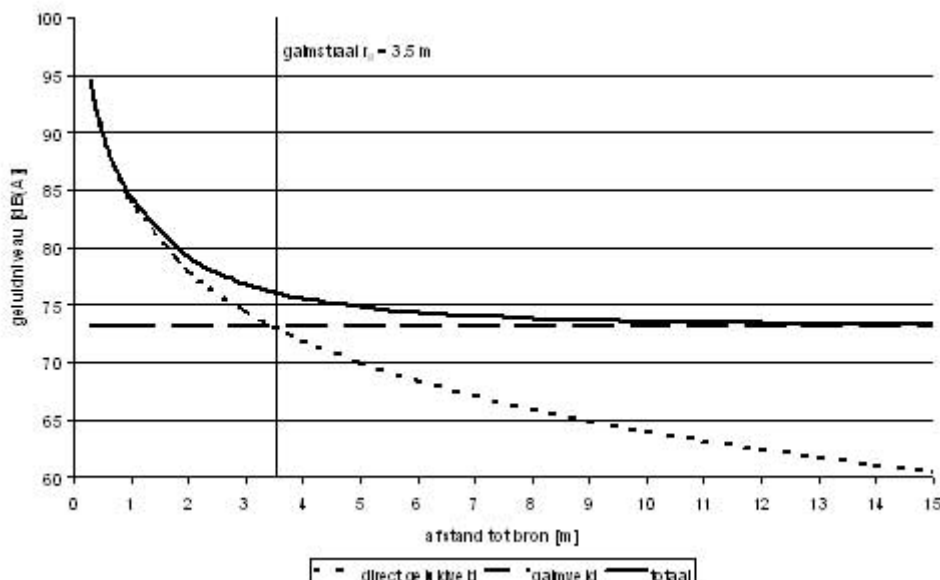
$$L_{p,g} = L_w + 10 \log\left(\frac{4}{A}\right) = 95 + 10 \log\left(\frac{4}{625}\right) = 73 \text{ dB(A)}.$$

Het totale geluidniveau bedraagt dan als functie van de afstand r :

$$L_p = L_{p,g} + L_{p,d} = 73 + 95 + 10 \log\left(\frac{1}{4\pi r^2}\right).$$

Op een afstand van 5 meter van de geluidbron bedraagt het totale geluidniveau 75 dB(A),

In figuur 3.7 zijn het geluidniveau $L_{p,d}$ in het directe geluidveld, het geluidniveau $L_{p,g}$ in het galmveld en het totale geluidniveau L_p grafisch weergegeven.



Figuur 3.7: Direct veld, galmveld en totaal geluidniveau

3.9. Geluidoverdracht tussen twee ruimten

Geluidbronnen die in een afgezonderde ruimte zijn geplaatst kunnen op de arbeidsplaats alsnog geluid produceren. Binnen industriële gebouwen is er immers een groot scala aan geluidbronnen die zoveel geluid afstralen dat het geluid via (bouwkundige) constructies wordt doorgegeven aan de aangrenzende bouwdelen en daar hoorbaar is. Omkastingen rond geluidbronnen houden weliswaar veel geluid tegen, doch meestal in onvoldoende mate om de geluidbron niet meer te horen. Ook binnen geluidafschermende bedieningsruimten zijn er meestal geluiden waarneembaar afkomstig van geluidbronnen die zich buiten deze ruimte bevinden.

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de geluidoverdracht door (bouwkundige) constructies en op de geluidvermindering in deze constructies. De geluidvermindering in de constructie wordt ook geluidisolatie genoemd. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen luchtgeluidbronnen en contactgeluidbronnen.

3.9.1. Luchtgeluid

Wat is luchtgeluid?

Als een geluidbron de aangrenzende lucht direct in trilling brengt spreken we van een "luchtgeluidbron". Het geluid van dergelijke geluidbronnen noemen we "luchtgeluid". Wordt het luchtgeluid van apparatuur vanuit een andere ruimte waargenomen, dan spreken we alsnog van luchtgeluid ondanks het feit, dat het geluid het oor niet rechtstreeks bereikt via de lucht maar in feite indirect door de overdracht via de aangrenzende bouwconstructies of bijvoorbeeld via kieren, spleten e.d. De verzwakking van het luchtgeluid bij doorgang door de bouwconstructie noemen we (lucht)geluidisolatie (R).

Het berekenen en meten van de luchtgeluidisolatie R

De geluidisolatie van een scheidingsconstructie tussen twee ruimten wordt als volgt vastgesteld: In een ruimte, het zendvertrek, wordt een geluidbron opgesteld die luchtgeluid produceert (luchtgeluidbron). Hierdoor wordt in dit vertrek een zeker luchtgeluidniveau L_z opgebouwd. Via de scheidingsconstructie dringt een deel van het geproduceerde luchtgeluid door naar de aangrenzende ruimte, het ontvangvertrek. Er vindt dus een zekere mate van luchtgeluidoverdracht plaats van de zend- naar de ontvangruimte. In het ontvangvertrek wordt dan ook een (lager) luchtgeluidniveau L_o opgebouwd. De luchtgeluidisolatie van de scheidingsconstructie wordt bepaald uit het verschil tussen L_z in het zendvertrek en L_o in het ontvangvertrek ($L_z - L_o$).

Hoe groter het verschil tussen zend- en ontvangsniveau ($L_z - L_o$), des te beter is de luchtgeluidisolatie van de scheidingsconstructie. Er wordt dan immers minder geluid overgedragen van de ene ruimte naar de andere. Opgemerkt wordt dat de op deze wijze berekende luchtgeluidisolatie onafhankelijk is van de absolute waarde van het aanwezige luchtgeluidniveau L_z in het zendvertrek. Immers, wordt L_z met bijvoorbeeld 10 dB verhoogd, dan heeft ook L_o een 10 dB hogere waarde; de verschilwaarde ($L_z - L_o$) blijft dus steeds hetzelfde. Bovengenoemde eenvoudige redenering is echter niet voldoende voor het definiëren van de luchtgeluidisolatie.

Het luchtgeluidniveau L_o in het ontvangvertrek is mede afhankelijk van de mate waarin het geluid in het ontvangvertrek wordt geabsorbeerd. Hoe groter de geluidabsorptie (A) in het ontvangvertrek (zie paragraaf 3.8.4), hoe lager L_o . Daarnaast is L_o afhankelijk van de oppervlakte van de scheidingsconstructie. Hoe groter de oppervlakte van de scheidingsconstructie (S), des te meer geluid er door deze scheidingsconstructie wordt afgestraald in het ontvangvertrek en des te hoger L_o .

Hiermee zou een zelfde bouwelement voor $L_z - L_o$ dus meerdere waarden kunnen hebben al naargelang de absorptie (A) van het ontvangstvertrek en de oppervlakte (S) van de scheidingsconstructie. Voor de bepaling van de luchtgeluidwerende eigenschappen van een bouwelement is echter een eenduidige waarde voor de luchtgeluidisolatie noodzakelijk. Om een eenduidige isolatiewaarde te kunnen vaststellen dient $L_z - L_o$ te worden gecorrigeerd voor de oppervlakte van de scheidingsconstructie en de absorptie van de ontvangstruimte.

(specialistische methode)

Op basis van fysische uitgangspunten bedraagt deze correctie $10 \log\left(\frac{S}{A}\right)$.

Terwijl L_o nog afhankelijk is van S en A is $L_o + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right)$ een grootheid die onafhankelijk is van het oppervlak (S) en de absorptie van het ontvangstvertrek (A). Rekening houdend met deze correctieterm kan de luchtgeluidisolatie R als volgt worden gedefinieerd:

$$R = L_z - L_o + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right) [\text{dB}]$$

waarin:

- R = de luchtgeluidisolatie van het ruimte scheidende bouwelement [dB];
- L_z = het luchtgeluidniveau in het zendvertrek [dB];
- L_o = het luchtgeluidniveau in het ontvangvertrek [dB];
- S = de oppervlakte van het ruimtescheidende bouwelement [m^2];
- A = de totale absorptie van het ontvangvertrek in m^2 .

De grootheden L_z , L_o , en A en R zijn frequentie-afhankelijk. De luchtgeluidisolatiewaarde R wordt dan ook per afzonderlijke frequentieband (tertsband of octaafband) opgegeven.

R is onafhankelijk van de absorptie A in het ontvangvertrek en de oppervlakte S van de scheidingsconstructie tussen de zend- en ontvangruimte. De luchtgeluidisolatie R van een bouwelement is dan ook een reproduceerbare akoestische eigenschap **van de scheidingsconstructie zelf** en kunnen dus de luchtgeluidwerende eigenschappen van verschillende elementen onderling worden vergeleken.

Verder kan de R-waarde worden gebruikt voor de berekening van de te verwachten luchtgeluidisolatie voor (een samenstel van) bouwelementen. Het geluidniveau in de 'ontvangstruimte' kan worden bepaald indien het geluidniveau van de bronruimte (L_z in dB) de isolatiewaarde van de ruimtescheidende constructie (R in dB), de oppervlakte van de ruimtescheidende constructie (S in m^2) en de absorptie van de ontvangstruimte (A in m^2) is gekend:

$$L_o = L_z - R + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right).$$

De geluidisolatie is frequentieafhankelijk. De geluidisolatie wordt per frequentieband vastgesteld. Voor de aanduiding van de totale luchtgeluidisolatie en voor het onderlinge vergelijking van de geluidisolierende eigenschappen van bouwelementen wordt een eengetalsgrootte berekend op basis van de geluidisolatiewaarden per octaafband. Deze eengetalsgrootte wordt door verschillende fabrikanten en in verschillende landen anders berekend. Zo is er ondermeer sprake van R_A , R_{gem} , R_w . Ten behoeve van het vergelijken van bouwelementen moeten dezelfde eengetalswaarden worden vergeleken. Vergelijk bijvoorbeeld niet R_A van een element met de R_w van een andere element. Ten behoeve van een keuze van een element als geluidreducerende maatregelen dienen te allen tijde de spectrale isolatiegegevens (R-waarde per octaafband) te worden opgevraagd aan de leverancier.

3.9.2. *Contactgeluid*

(specialistische methode)

Wanneer geluid veroorzaakt wordt doordat een trillingsbron via een direct contact een bouwconstructie in trilling brengt en wanneer deze trilling vervolgens wordt omgezet in hoorbare luchtgeluiden, wordt zo'n bron een "contactgeluidbron" genoemd. Voorbeelden zijn het slaan van een spijker in een muur en het "dreunen" van machines op de vloer. Door het slaan of dreunen wordt in eerste instantie de wand door direct contact in trilling gebracht. De in de wand ontstane trillingen worden dan door andere aangrenzende constructiedelen weer ten dele aan de aangrenzende lucht afgegeven en verder via de lucht voortgeplant naar het oor waardoor een geluidgevoel ontstaat. Het aldus ontstane geluid noemen we "contactgeluid", ook wel constructiegeluid genoemd.

In de praktijk zijn veel bronnen zowel als lucht- als contactgeluidbron aan te merken, bijvoorbeeld afzuigingen, ketels voor centrale verwarming of een direct tegen de wand bevestigde geluidbox.

3.9.3. Andere vormen van geluidoverdracht tussen twee ruimten

(specialistische methode)

Voorgaand is ingegaan op de lucht- en contactgeluiden, waarbij tevens de luchtgeluidisolatie is beschreven. Naast deze 2 vormen zijn er nog andere vormen van geluidoverdracht:

- flankerende geluidoverdracht;
- geluidlekken;
- omweggeluid.

Hiernavolgend worden deze vormen van geluidoverdracht kort omschreven.

Flankerende geluidoverdracht

Indien tussen twee ruimten een zware en dikke betonwand (hoge luchtgeluidisolatie) aanwezig is kan toch relatief veel geluid van de ene naar de andere ruimte doordringen via andere gevels, het plafond, de vloer e.d. De geluidtransmissie via andere dan de ruimtescheidende gevel noemt men de flankerende geluidoverdracht. In veel gevallen is het flankerend geluid niet verwaarloosbaar. Het 'overdimensioneren' van de luchtgeluidisolatie tussen de twee ruimten is soms noodzakelijk om te negatieve gevolgen van flankerende geluidoverdracht te compenseren. Soms is het zelfs nodig om de geluidisolatie van de 'andere' gevels ook te verbeteren om de flankerende geluidoverdracht in voldoende mate te beperken.

Geluidlekken

De invloed van geluidlekken wordt ook vaak ten onrechte onderschat. Zijn er geluidlekken, dan voldoet de geluidisolatie niet aan de verwachtingen (leveranciergegevens) ondanks het feit, dat er akoestisch gezien niets valt aan te merken op de toegepaste materialen en constructies. De luchtisolatie is soms vele dB's lager dan wordt verwacht waarbij dit in eerste instantie aan de scheidingsconstructie wordt toegeschreven. Vaak kunnen, door alleen te luisteren, de geluidlekken, c.q. kieren en spleten gemakkelijk opgespoord worden.

Een veel voorkomende oorzaak van geluidlekken is dat door krimp van materialen op gevoelige plaatsen kieren en spleten ontstaan die geluid overdragen. Omissies in het ontwerp kunnen ook een oorzaak van geluidlekken zijn.

In de praktijk vinden we geluidlekken bij allerlei aansluitingen zoals de onderlinge aansluiting van plafonds en wanden en aansluitingen van afwerklatten/kozijnen, consoles/gevels, dak/wand en bij cv-doorvoeren in vloeren en bij andere typen leidingdoorvoeren.

Omweggeluid

Ook omweggeluid kan een bron van geluidhinder zijn.
Voorbeelden hiervan kunnen we vinden bij:

- geluidoverdracht via naast elkaar opgestelde ventilatiepijpen op het dak;
- geluidoverdracht via de spouw boven een verlaagd plafond, wanneer de scheidingswand niet wordt doorgezet boven het plafond;
- geluidoverdracht via slecht isolerende toegangsdeuren van ruimten, grenzend aan een gemeenschappelijke gang/hal, via open trappenhuizen, enz;
- geluidoverdracht in meergezinswoningen via een verticaal doorlopend ventilatiekanaal, die in elke woning een open aftakking heeft naar bijvoorbeeld de badruimte.

In al deze gevallen spreken we van omweggeluid of ook wel van omloopgeluid.
Het is vaak een ontwerpquestionaire die al op de tekentafel met enig verstand kan worden opgelost.

4. Meten van geluidsniveaus

4.1. Uitvoeren van metingen

4.1.1. Inleiding

Voor een goede beoordeling van het geluid op de arbeidsplaats is de beschikbaarheid van **een eenduidige meet- en beoordelingsmethode** van wezenlijk belang.

De Nederlandse normen NEN 3418 en NEN 3419 staan centraal bij de meting en beoordeling van schadelijk geluid op de arbeidsplaats. In deze beide normen ligt niet alleen vast welke grootheden moeten worden gemeten en op welke wijze de metingen moeten worden uitgevoerd, maar ook worden in beide normen de eisen geformuleerd waaraan de te gebruiken meetapparatuur moet voldoen. In het algemeen kan men dus stellen dat wanneer een ter zake deskundige geluidmetingen verricht overeenkomstig de genoemde normbladen, wordt voldaan aan de in de wettelijke bepalingen gestelde eisen.

De resultaten van de beoordeling en meting van het geluid op de arbeidsplaats moeten in passende vorm worden geregistreerd en ten minste tien jaar worden bewaard. Elk bedrijf dient dus te beschikken over een schriftelijke beoordeling. Een bedrijf waar werkzaamheden worden verricht waarbij het geluidsniveau de schadegrens van 80 dB(A) overschrijdt, dient daarnaast te beschikken over een schriftelijke verslaglegging van de geluidmetingen. Daarin moet in ieder geval zijn beschreven bij welke werkzaamheden schadelijk geluid voorkomt, hoeveel werknemers daaraan zijn blootgesteld, wat de blootstellingsduur is en hoe hoog de geluidexpositieniveaus ('geluidsdoses') zijn die daaruit volgen. Deze geluidexpositieniveaus geven een goede indicatie van de risico's die voortvloeien uit de blootstelling aan schadelijk geluid.

De ondernemingsraad of, bij het ontbreken daarvan, de belanghebbende werknemers, dienen op de hoogte te zijn van de resultaten van de geluidmetingen en de gevolgtrekkingen die de ondernemer daaraan verbindt.

4.1.2. Normen

NEN 3418 beschrijft hoe een eenvoudig vooronderzoek naar het voorkomen van schadelijk geluid op de werkplek moet worden uitgevoerd. In dit onderzoek moet worden vastgesteld of er in het bedrijf werkruimten voorkomen waar het equivalente geluidsniveau (L_{Aeqw}) hoger is dan 80 dB(A). Indien uit de inventarisatie blijkt dat dit het geval is, moet een uitgebreider vervolgonderzoek worden uitgevoerd conform NEN 3419. Meestal weet een bedrijf echter al op voorhand dat er hoge geluidsniveaus in werkruimten aanwezig zijn. In dat geval is het uitvoeren van een NEN 3418-onderzoek zinloos en kan beter meteen met een NEN 3419-onderzoek worden begonnen.

Om de schadelijkheid van geluid vast te stellen is een soort dosismaat vereist. Een geluidsdosis is niets anders dan een hoeveelheid geluidenergie waaraan men gedurende een bepaalde tijd wordt blootgesteld. Zo kan blootstelling aan een hoog niveau gedurende korte tijd eenzelfde dosis opleveren als blootstelling aan een lager niveau gedurende een lange tijd. Bij de blootstelling aan geluid op de arbeidsplaats ligt het voor de hand om als dosismaat het equivalente geluidniveau over een werkdag van acht uur te nemen. Dit niveau wordt het genormaliseerde geluidexpositieniveau $L_{EX,T}$ genoemd. Voor werknemers die gedurende hun achturige werkdag continu aan hetzelfde geluid zijn blootgesteld, is het geluidexpositieniveau gelijk aan het over een voldoende lange meettijd bepaalde equivalente geluidniveau.

Meestal echter variëren de werkzaamheden en daarmee ook de blootstelling aan geluid aanzienlijk gedurende een werkdag. In dat geval moet voor iedere werkzaamheid afzonderlijk het equivalente geluidniveau worden gemeten. Per werkzaamheid wordt uit deze niveaus - samen met de gemiddelde dagelijkse duur van de werkzaamheid - het partiële geluidexpositieniveau $L_{EX,t}$ berekend. Uit deze partiële niveaus valt vervolgens voor iedere werknemer het genormaliseerde geluidexpositieniveau te berekenen.

4.2. Oriënterende meetmethode (NEN 3418)

Nagenoeg alle bedrijven van de pkgv-industrie hebben een oriënterend onderzoek overeenkomstig de NEN 3418 laten uitvoeren. Onderstaand wordt desondanks nader ingegaan op deze meetmethode in het kader van een evaluatie van de resultaten van de getroffen maatregelen.

4.2.1. Beginsel

De meetmethode en de geluidmetingen zoals beschreven in de NEN 3418 hebben tot doel na te gaan of er werkzaamheden voorkomen met equivalente geluidniveaus van hoger dan 80 dB(A). De metingen moeten worden uitgevoerd onder representatieve bedrijfsomstandigheden.

De meetonnauwkeurigheid van metingen conform deze norm bedraagt maximaal 3 dB(A).

De beoordelingstijd van een werkzaamheid is vastgesteld op ten minste 600 seconden ook al duurt de werkzaamheid in werkelijkheid korter. De duur van elke meting is minimaal 60 seconden.

4.2.2. Benodigde meetapparatuur

De geluidmetingen moeten worden uitgevoerd met een integrerende middelende geluidniveaumeter met ingeschakeld A-filter. De meter moet voldoen aan de eisen geformuleerd in NEN 10804 voor instrumenten type 1 of type 2. Het filter moet voldoen aan de specificaties zoals geformuleerd in NEN 10651.

Bij registratie van de meetsignalen op een bandopname-apparaat dient gelet te worden op mogelijke fouten als gevolg van opname en weergave van het meet-sig-naal.

Alle meetapparatuur inclusief de registratie-apparatuur dient voor én na elke meetserie te worden gekalibreerd en gecontroleerd.

4.2.3. Metingen

In de NEN 3418 zijn specificaties opgenomen ten aanzien van de microfoonpositie, de meetplaats, de meetomstandigheden en de duur van de metingen. Onderstaand wordt hier verder op ingegaan.

Microfoonposities

De metingen kunnen worden uitgevoerd met de werknemer aanwezig dan wel zonder dat zich iemand op de arbeidsplaats bevindt. Is geen werknemer aanwezig, dan wordt de meting uitgevoerd op de posities waar zich normaal het hoofd van de werknemer bevindt. Is de werknemer wel aanwezig dan moet de meting worden uitgevoerd aan die zijde van het hoofd (microfoonpositie in het gebied tussen schouder en oor) waar het hoogste geluidniveau heerst.

Meetplaatsen

Op alle meetplaatsen waar werkzaamheden worden verricht en waarvan kan worden vermoed dat een geluidniveau heerst van boven de 80 dB(A), moet op tenminste één plaats een meting worden uitgevoerd op de arbeidsplaats waar het hoogste geluidniveau heerst.

Het aantal plaatsen waar moet worden gemeten hangt af van het aantal werknemers dat gewoonlijk in de betreffende ruimte aanwezig is.

Meetomstandigheden

De geluidmetingen moeten worden uitgevoerd onder representatieve werkomstandigheden. De omstandigheden tijdens de metingen mogen niet wezenlijk afwijken van de meest gebruikelijke situatie.

Tijdsduur van de metingen

De meettijd moet onder alle omstandigheden ten minste 60 seconden bedragen en tenminste één gehele cyclus omvatten. Is geen cyclus te onderscheiden dan dient de meting te worden voortgezet tot een betrouwbaar resultaat is verkregen. Bij gebruik van een integrerende middelende geluidniveaumeter wordt aan deze eisen voldaan wanneer de weergegeven meetwaarde bij het overschrijden van de meettijd niet meer dan een halve dB per 30 seconden verandert.

Bij cyclustijden van meer dan 600 seconden mag het equivalente geluidniveau over de volledige cyclus worden berekend aan de hand van de resultaten van enkele korter durende metingen met een meettijd van ten minste 60 seconden.

4.2.4. Verslag

Relevante gegevens over de meetapparatuur, de gevolgde meetmethode en de omstandigheden tijdens de metingen moeten zorgvuldig worden geregistreerd en gedocumenteerd. De te verwachten meetonnauwkeurigheid moet ook worden vermeld. Voor deze methode bedraagt de meetonnauwkeurigheid maximaal 3 dB(A).

In de bijlagen van de norm is een aantal formulieren opgenomen die voor het verslag van het onderzoek kunnen worden gebruikt.

De gemeten geluidniveaus moeten worden afgerond op gehele decibelwaarden; 0,5 dB wordt naar boven afgerond.

4.3. Uitgebreid onderzoek (NEN 3419)

De resultaten van een oriënterend onderzoek (zie paragraaf 4.2) zijn normaliter onvoldoende gedetailleerd om geluidverminderende maatregelen te dimensioneren. De gegevens waarover het merendeel van de pkgv-bedrijven beschikt dienen aangevuld te worden met extra akoestische informatie teneinde de te saneren geluidbron aan te wijzen en geluidreductie van de te treffen maatregel vast te stellen. Deze aanvullende akoestische informatie wordt verkregen door middel van een zogenaamd uitgebreid onderzoek. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de uitgebreide onderzoeksmethode.

4.3.1. Beginsel

De norm gaat uit van de meting van equivalente geluidniveaus op de arbeidsplaats tijdens relevante werkzaamheden onder representatieve bedrijfsomstandigheden. Aan de hand van een werkzaamhedenanalyse wordt de gemiddelde duur van de werkzaamheden vastgesteld. Met behulp van de aldus verkregen gegevens wordt vervolgens voor elke werkzaamheid het partiële geluidexpositieniveau $L_{EX,t}$ gedurende een representatieve werkdag bepaald. Sommering van deze partiële expositieniveaus geeft het totale expositieniveau $L_{EX,T}$ gedurende een representatieve werkdag (zie ook hoofdstuk 5).

De resultaten van geluidmetingen en berekeningen die volgens de in deze norm omschreven methode zijn uitgevoerd, kunnen, behalve voor toetsing van de geluidniveaus aan de wettelijke grenswaarden, worden gebruikt voor het onderling vergelijken van de geluidniveaus op de arbeidsplaats van verschillende machines onder vergelijkbare omstandigheden.

Bij geluidmetingen volgens de meetmethode zoals in deze norm beschreven is de te verwachten meetonnauwkeurigheid afhankelijk van de frequentiesamenstelling van het geluid.

Er moet rekening worden gehouden met een meetonnauwkeurigheid van maximaal 3 dB(A) in die gevallen waarbij het A-gewogen geluidniveau wordt bepaald door midden- en hoogfrequente componenten, hetgeen doorgaans het geval zal zijn. Wordt geluidniveau bepaald door laagfrequente componenten in het geluid, dan zal de meetonnauwkeurigheid maximaal 5 dB(A) bedragen.

4.3.2. Beschrijving van de methode

Indien tijdens een bepaalde werkzaamheid het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeqw} over de duur van de werkzaamheid de 80 dB(A)-grens overschrijdt, wordt voor de persoon of groep personen die aan dat geluid blootstaan een analyse gemaakt van de werkzaamheden op een gemiddelde werkdag. De analyse van de werkzaamheden kan per individuele werknemer of per groep werknemers plaatsvinden.

Per individuele werknemer

Een werkzaamheid kan bijvoorbeeld eenvoudig het bedienen van een machine zijn. Fluctuaties in het geluidniveau die uitsluitend het gevolg zijn van het vaste patroon van machinehandelingen worden bij de analyse buiten beschouwing gelaten. Alhoewel het voor het treffen van eventuele geluidreducerende maatregelen zinvol kan zijn onderscheid te maken in de diverse handelingen van een machine. Indien de machine echter diverse producten kan maken en het geluidniveau op de arbeidsplaats hierbij meer dan 2 dB(A) verschilt, moeten deze werkzaamheden afzonderlijk worden onderscheiden.

Mobiele geluidbronnen (bijvoorbeeld heftrucks) kunnen zich verplaatsen van minder lawaaiige ruimten naar lawaaiige ruimten. Het verblijf in de diverse ruimten moet dan gezien worden als afzonderlijke werkzaamheden.

De minimale duur van werkzaamheden is vastgesteld op 600 seconden.

Voor incidenteel voorkomende werkzaamheden die gepaard gaan met zeer hoge kortdurende geluidniveaus kan gekozen worden voor het uitvoeren van een meting (meetduur bijvoorbeeld één minuut) waarin de betreffende handeling een aantal malen voorkomt. De beoordelingstijd van deze werkzaamheid wordt dan wel op 10 minuten gesteld. Het L_{Aeqw} van deze werkzaamheid wordt dan aan de hand van een schatting van de frequentie van voorkomen bepaald.

Sommige werknemers zijn mobiel en/of voeren qua geluidbelasting zeer verschillende werkzaamheden uit, bijvoorbeeld personeel dat onderhoud, schoonmaak- en reparatiewerkzaamheden uitvoert in lawaaiige omgevingen. Het is aan te bevelen om voor dergelijke functies de analyse van de werkzaamheden pas uit te voeren nadat een goed inzicht is verkregen in de geluidssituatie binnen het bedrijf. Een mogelijk hulpmiddel bij het uitvoeren van de analyse van de werkzaamheden voor dit soort functies is het volgen van een stap-voor-stap-methode. Daarbij wordt bijvoorbeeld begonnen met enkele werkzaamheden waarvan te verwachten is dat ze een belangrijke bijdrage leveren aan het geluidexpositieniveau. Aan de hand van de uitkomst van een dergelijke voorlopige analyse en globale informatie over de geluidssituatie tijdens de resterende periodes wordt beoordeeld of verdergaande analyse nodig is.

Werkzaamheden die geen wezenlijke bijdrage leveren aan de totale geluidbelasting maar toch deel uitmaken van het totaal van werkzaamheden hoeven niet nader te worden gespecificeerd.

Per groep werknemers

Een aantal werknemers kan als één groep worden beschouwd als de werkzaamheden en de daarmee gepaard gaande geluidbelasting zodanig overeenstemmen dat aan alle leden van de groep één waarde van $L_{EX,T}$ kan worden toegekend en bovendien een lijst van werkzaamheden en partiële geluidexpositieniveaus van toepassing is. Bij de aanvang van de analyse van de werkzaamheden is veelal geen groepsindeling te maken. Op grond van informatie over functies, werkzaamheden, typen machines en geluidniveaus is een voorlopige indeling te maken. In de loop van de uitvoering van de analyse kan op grond van ter beschikking komende informatie zo nodig een nieuwe indeling worden gemaakt.

4.3.3. Meetapparatuur

De geluidmetingen moeten worden uitgevoerd met een integrerende middelende geluidniveaumeter met ingeschakeld A-filter. De meter moet voldoen aan de eisen geformuleerd in NEN 10804 voor instrumenten type 1 of type 2. Het filter moet voldoen aan de specificaties zoals geformuleerd in NEN 10651.

Bij registratie van de meetsignalen op een bandopname-apparaat dient gelet te worden op mogelijke fouten als gevolg van opname en weergave van het meetsignaal.

Alle meetapparatuur inclusief de registratie-apparatuur dient voor én na elke meetserie worden gekalibreerd en gecontroleerd.

4.3.4. Metingen

In de norm NEN 3419 zijn naast specificaties ten aanzien van de microfoonpositie, de meetplaats, de meetomstandigheden en de duur van de metingen ook specificaties opgenomen aangaande het bepalen van de dagdoses.

Microfoonposities

De metingen kunnen worden uitgevoerd met de werknemer aanwezig dan wel zonder dat zich iemand op de arbeidsplaats bevindt. Is geen werknemer aanwezig, dan wordt de meting uitgevoerd op de posities waar zich normaal het hoofd van de werknemer bevindt. Is de werknemer wel aanwezig dan moet de meting worden uitgevoerd aan die zijde van het hoofd (microfoonpositie in het gebied tussen schouder en oor) waar het hoogste geluidniveau heerst.

Meetplaatsen

Op alle meetplaatsen waar werkzaamheden worden verricht en waarvan kan worden vermoed dat een geluidniveau heerst van boven de 80 dB(A), moet op ten minste één plaats een meting worden uitgevoerd op de arbeidsplaats waar het hoogste geluidniveau heerst. Als de metingen betrekking hebben op een groep personen moet er op meer dan één plaats worden gemeten. Het aantal plaatsen waar moet worden gemeten hangt af van het aantal werknemers dat gewoonlijk de werkzaamheid uitvoert, de hoogte van het L_{Aeqw} en de verschillen in de op de diverse meetplaatsen gemeten waarden van het L_{Aeqw} .

In de norm is een algemene regel opgenomen voor het aantal meetplaatsen, gerelateerd aan het aantal personen dat de betreffende werkzaamheid uitvoert.

Meetomstandigheden

De geluidmetingen moeten worden uitgevoerd onder representatieve werkomstandigheden. De omstandigheden tijdens de metingen mogen niet wezenlijk afwijken van de meest gebruikelijke situatie. Vooral als het geluidniveau van de werkzaamheden erg laag is in vergelijking met het geluidniveau dat door andere bronnen wordt veroorzaakt, moet hierop worden gelet. Het geluidniveau op deze arbeidsplaats moet dan worden bepaald onder de gebruikelijke geluidproductie van de overige aanwezige installaties en vooral niet tijdens rustige periodes.

Tijdsduur van de metingen

De meettijd moet onder alle omstandigheden ten minste 60 seconden bedragen en tenminste één gehele cyclus omvatten. Is geen cyclus te onderscheiden dan dient de meting te worden voortgezet tot een betrouwbaar resultaat is verkregen. Bij gebruik van een integrerende middelende geluidniveaumeter wordt aan deze eisen voldaan wanneer de weergegeven meetwaarde bij het overschrijden van de meettijd niet meer dan een halve dB per 30 seconden verandert.

Bij cyclustijden van meer dan 600 seconden mag het equivalente geluidniveau over de volledige cyclus worden berekend aan de hand van de resultaten van enkele korter durende metingen met een meettijd van ten minste 60 seconden.

Aantal metingen per meetplaats

Op iedere meetplaats moeten tenminste twee metingen worden uitgevoerd. Het resultaat van deze metingen mag niet meer dan 5 dB(A) verschillen. Is het verschil groter dan 5 dB(A), dan dient de oorzaak hiervan te worden achterhaald.

Het equivalente geluidniveau van een werkzaamheid

Van elke werkzaamheid wordt op de plaats waar deze wordt uitgevoerd het A-gewogen equivalente geluidniveau L_{Aeqw} over de duur van de werkzaamheid bepaald. Bedoeld wordt het totale geluidniveau, dat wil zeggen het geluidniveau op de arbeidsplaats inclusief de bijdrage van alle andere in de omgeving aanwezige geluidbronnen.

Het equivalente geluidniveau van een werkzaamheid door energetische middeling van de meetresultaten op één meetplaats. Is deze werkzaamheid op meerdere meetplaatsen gemeten, dan worden de resultaten van deze metingen eveneens energetisch gemiddeld.

Duur van een werkzaamheid per werkdag

Per werkzaamheid moet de gemiddelde tijdsduur per werkdag worden vastgesteld. Deze gemiddelde tijdsduur wordt bepaald door de totale duur van de werkzaamheid gesommeerd over een week te bepalen en vervolgens te delen door 5 (het normale aantal werkdagen per week).

Partieel en totaal geluidexpositieniveau

Per werkzaamheid wordt het partiële geluidexpositieniveau $L_{EX,t}$ bepaald. Per werknemer of groep werknemers wordt het totale geluidexpositieniveau $L_{EX,T}$ bepaald door sommatie van de partiële geluidexpositieniveaus (zie ook hoofdstuk 5). Een betrekkelijk eenvoudige manier om een indruk te verkrijgen van het totale geluidexpositieniveau $L_{EX,T}$ (dagdosis) is een meting met geluiddosimeters gedurende een werkdag. Nadeel van deze methode is dat het meetresultaat geen informatie geeft over de mate waarin de verschillende werkzaamheden hebben bijgedragen aan het geluidexpositieniveau, bovendien is de representativiteit van de meetresultaten een probleem.

4.3.5. Verslag

Relevante gegevens over de meetapparatuur, de gevolgde meetmethode en de omstandigheden tijdens de metingen moeten zorgvuldig worden geregistreerd en gedocumenteerd. De te verwachten meetonnauwkeurigheid moet ook worden vermeld. Voor deze methode bedraagt de meetonnauwkeurigheid doorgaans maximaal 3 dB(A). De gemeten geluidniveaus moeten worden afgerond op gehele decibelwaarden; 0.5 dB wordt naar boven afgerond.

In de bijlagen van de norm zijn drie formulieren opgenomen die voor het verslag van het onderzoek kunnen worden gebruikt. Formulier A is bestemd voor de karakterisering van het bedrijf en het samenvatten van de belangrijkste resultaten van het onderzoek. Op formulier B worden de onderzoeksresultaten per werkzaamheid samengevat. Per werknemer of groep werknemers wordt formulier C ingevuld.

De wijze van registreren van tussenresultaten van de metingen, de ligging van de meetplaatsen, enz. is niet aan bepaalde voorschriften gebonden. Wel moet deze registratie zo zijn dat achteraf steeds kan worden nagegaan waar, wanneer, hoe lang en onder welke omstandigheden de metingen hebben plaatsgevonden, wat precies met de werkzaamheid wordt bedoeld en hoe de eindresultaten (formulier C) tot stand zijn gekomen.

5. Beoordelen geluidgegevens

5.1. Inleiding

Vele bedrijven in de pkgv-industrie hebben akoestische onderzoeken (al dan niet gedetailleerd) laten uitvoeren om de geluidniveaus op de arbeidsplaats vast te stellen. Deze geluidgegevens vormen de basis voor het aanwijzen van de arbeidsplaatsen waar geluidverminderende voorzieningen moeten worden getroffen. De geluidgegevens die zijn verzameld aan de hand van die zogenaamde inventariserende onderzoeken kunnen echter meestal niet gebruikt worden voor het dimensioneren van saneringsmaatregelen. Terwijl de inventarisatieonderzoeken tot doel hebben om de dagdoses van werknemers vast te stellen, is voor het dimensioneren van maatregelen meer gedetailleerde informatie nodig, namelijk de geluidbijdrage van de (kandidaat-)geluidbron die moet worden gesaneerd. In dit hoofdstuk wordt beschreven welke de relatie is tussen de dagdoses en de individuele geluidbijdragen van een geluidbron. Een en ander is ook belicht in het kader van de arbo-beoordelingsgrootheden (zie hoofdstuk 2).

In dit hoofdstuk wordt eerst kort uitgelegd wat de te beoordelen grootheden zijn en waaraan ze getoetst worden. Vervolgens wordt het een en ander verduidelijkt aan de hand van voorbeelden. Voor een uitgebreide omschrijving van de beoordelingsgrootheden wordt verwezen naar de reeds genoemde publicaties.

5.2. Grenswaarden en grootheden

5.2.1. Grenswaarden

In de wetgeving wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende grenswaarden:

- vanaf 80 dB(A): boven dit niveau kunnen de geluidniveaus schadelijk zijn voor de gezondheid. De werkgever moet doelmatige gehoorbeschermingsmiddelen ter beschikking stellen.
- vanaf 85 dB(A): het dragen van de gehoorbeschermingsmiddelen is verplicht.

5.2.2. De grootheden

Bij de beoordeling van het geluid op de arbeidsplaats is een drietal grootheden van belang:

- L_{Aeqw} : Dit is het equivalente A-gewogen geluidniveau tijdens een werkzaamheid.
- $L_{EX,t}$: Dit is het partiële geluidexpositieniveau (deeldosis). Met deze waarde wordt aangegeven wat de bijdrage van de specifieke werkzaamheid is aan de totale geluidbelasting (dagdosis) van de werknemer. Bij de vaststelling van het partiële geluidexpositieniveau wordt de bedrijfs- en/of werktijd van deze werkzaamheid betrokken.

$L_{EX,T}$: Dit is het totale geluidexpositieniveau of dagdosis. In deze waarde worden in principe per werknemer de partiële geluidexpositieniveaus gesommeerd tot een geluidexpositieniveau voor een gemiddelde werkdag van 8 uur.

De diverse akoestische grootheden hebben binnen het beslissingstraject verschillende functies:

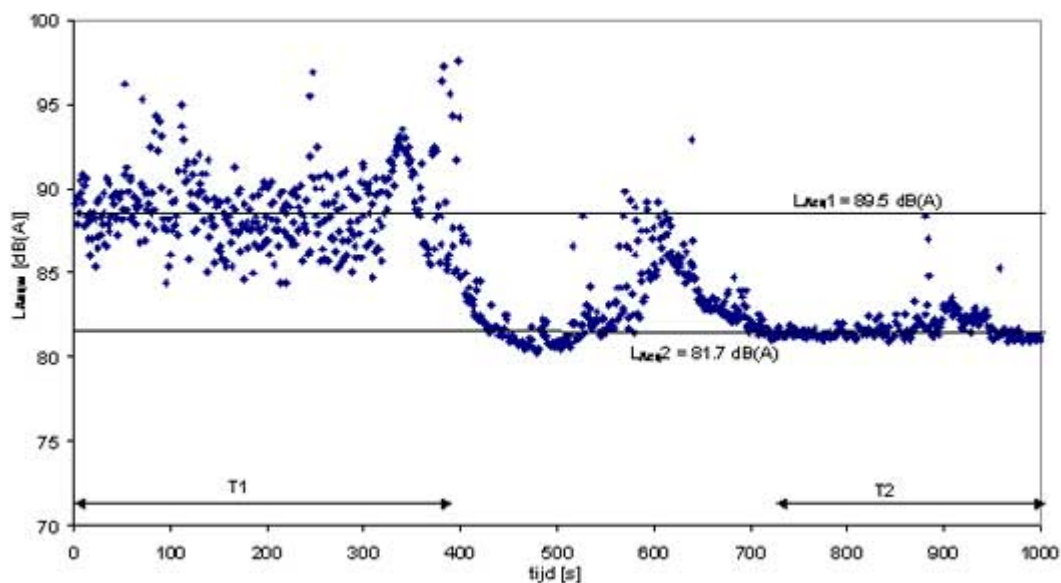
- L_{Aeqw} : - primaire toetsingsgrootheid;
- beschikbaar stellen en/of draagplicht van gehoorbeschermingsmiddelen.
- $L_{EX,t}$: - prioriteitenstelling bij lawaaiBESTRIJDING;
- $L_{EX,T}$: - mate van risico op gehoorschade;
- noodzaak voor het treffen van maatregelen;
- invoeren van het redelijkheidsbeginsel: onder bepaalde omstandigheden kunnen geluidreducerende maatregelen achterwege blijven wanneer het L_{Aeqw} op een bepaalde arbeidsplaats hoger is dan 85 dB(A), maar kan worden aangetoond dat het $L_{EX,T}$ (de dagdosis) lager is dan 80 dB(A);

De Arbeidsomstandighedenwet beschrijft de systematiek die moet worden toegepast om op basis van de equivalente geluidbelasting van een geluidbron de dagdoses te bepalen. Deze systematiek is weergegeven in navolgende paragraaf.

5.3. Bepalen dagdosis

5.3.1. Het equivalente geluidniveau

Het geluidniveau L_{Aeqw} op de arbeidsplaats dient te worden bepaald tijdens de bedrijfsduur van de machine(s) én tijdens de verblijfstijd van de werknemer op die bepaalde arbeidsplaats. Het is namelijk mogelijk dat de machine op verschillende manieren functioneert en daarmee gedurende de dag wisselende geluidniveau produceert op momenten. Voor een voorbeeld hiervan: figuur 5.1.



Figuur 5.1: Voorbeeld van een wisselend geluidniveau van een geluidbron

Het L_{Aeqw} gedurende de tijd T1 (werkzaamheid 1) bedraagt 89.5 dB(A); het L_{Aeqw} gedurende de tijd T2 (werkzaamheid 2) bedraagt 81.7 dB(A). Het is dus van belang te weten tijdens welke periode de werknemer op de arbeidsplaats aanwezig is.

Bij geluidbronnen met wisselende geluidniveaus is het equivalente geluidniveau van de werkzaamheid dat betrokken wordt bij het bepalen van de dagdosis dus niet alleen afhankelijk van de plaats waar de werknemer zich bevindt, doch ook van moment dat de werknemer zich op deze plek bevindt (en het dan heersende geluidniveau).

Indien op een arbeidsplaats diverse geluidbronnen bepalend zijn voor het geluidniveau van een bepaalde werkzaamheid, moeten de equivalente geluidniveaus (tijdens de werkzaamheid) van alle geluidbronnen energetisch worden gesommeerd. Deze gesommeerde niveaus vormen dan het equivalente geluidniveau (L_{Aeqw}) van de werkzaamheid.

5.3.2. *Het partiële geluidexpositieniveau*

Teneinde de dagdosis ($L_{EX,T}$) te bepalen, wordt eerst **per werkzaamheid** het partiële geluidexpositieniveau ($L_{EX,t}$) bepaald. Dit gebeurt door het equivalente geluidniveau per werkzaamheid te corrigeren voor de blootstellingsduur, zodanig dat geluiden waaraan de werknemer langer blootstaat ook “zwaarder” worden meegenomen dan geluiden met een kortere blootstellingduur:

$$L_{EX,t,i} = L_{Aeqw,i} - C_{t,i}$$

met:

$$\begin{aligned} L_{EX,t,i} &= \text{partiële dosis voor werkzaamheid } i \text{ [dB(A)]}; \\ L_{Aeqw,i} &= \text{geluidniveau op arbeidsplaats in geval van werkzaamheid } i \text{ [dB(A)]}; \\ C_{t,i} &= \text{tijdcorrectiefactor voor werkzaamheid } i \text{ [dB]}; \end{aligned}$$

$$C_{t,i} = 10 \log \left(\frac{T_i}{8} \right)$$

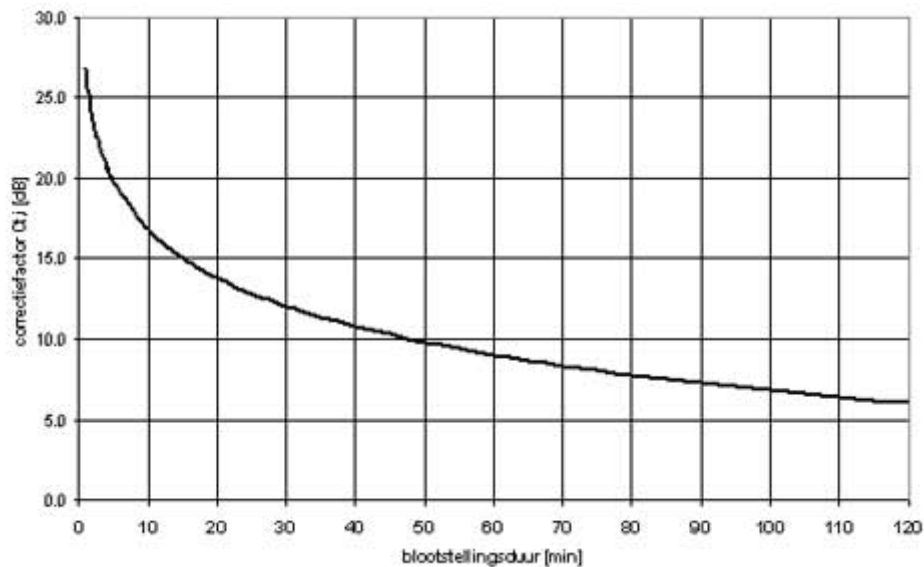
met T_i = blootstellingduur van de werknemer aan geluidniveau van werkzaamheid i [uur].

(vereenvoudigde methode)

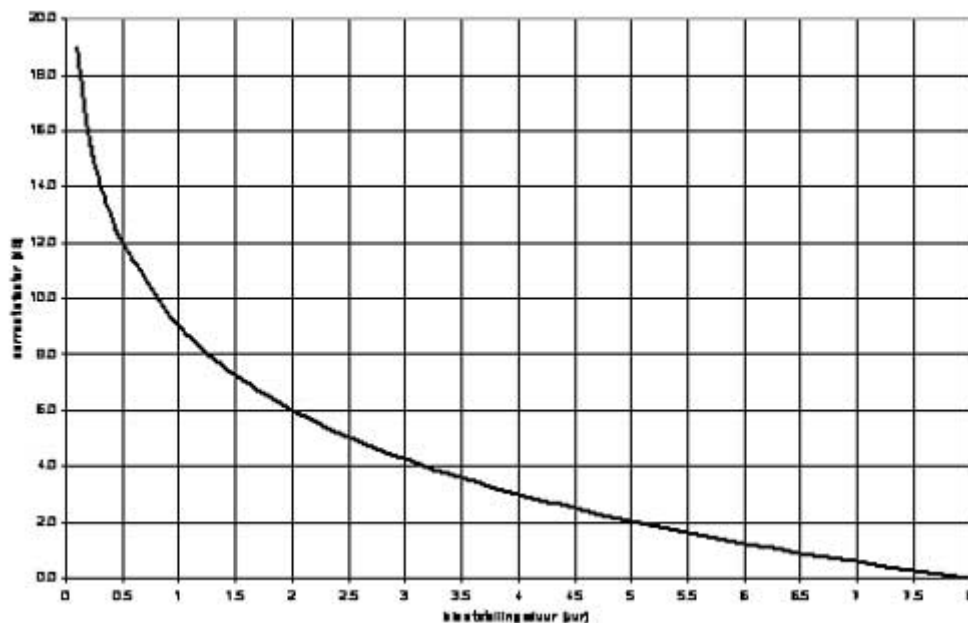
Eerst wordt per werkzaamheid de zogenaamde partiële dosis bepaald. Hierin worden niet alleen de geluidniveaus op de arbeidsplaats meegenomen, maar ook de tijdsduur dat een werknemer aan een bepaald geluidniveau blootstaat. Geluidniveaus waaraan de werknemer langer blootstaat worden “zwaarder” meegenomen dan kortere blootsteldingsduren. Het geluidniveau op de arbeidsplaats ten gevolge van een bepaalde machine wordt met een factor gecorrigeerd, afhankelijk van de blootstellingsduur van de werknemer aan dat bepaalde geluidniveau:

partiële dosis werkzaamheid = geluidniveau werkzaamheid - correctiefactor

Voor de bepaling van de tijdcorrectiefactor kan gebruik worden gemaakt van de hulpgrafieken in figuur 5.2 en 5.3. Deze figuren geven het verband tussen correctiefactor $C_{t,i}$ en de blootstellingsduur T_i . In figuur 5.2 is de blootstellingsduur in minuten weergegeven, terwijl in figuur 5.3 de blootstellingsduren in uren vermeld.



Figuur 5.2: Correctiefactor versus blootstellingsduur in minuten



Figuur 5.3: Correctiefactor versus blootstellingsduur in uren

De correctiefactor kan eveneens worden bepaald door gebruik te maken van tabel 5.1. In tabel 5.1 is de waarde van correctiefactor weergegeven voor een aantal blootstellingsduren.

Blootstellingsduur T_i	Correctiefactor $C_{t,i}$ [dB]	Blootstellingsduur T_i	Correctiefactor $C_{t,i}$ [dB]
1 min.	27	2.5 uur	5.1
2 min.	24	3 uur	4.3
3 min.	22	3.5 uur	3.6
4 min.	21	4 uur	3
5 min.	20	4.5 uur	2.5
10 min.	17	5 uur	2
15 min.	15	5.5 uur	1.6
20 min.	14	6 uur	1.2
25 min.	13	6.5 uur	0.9
30 min.	12	7 uur	0.6
1 uur	9	7.5 uur	0.3
1.5 uur	7.3	8 uur	0
2 uur	6		

Tabel 5.1: correctiefactoren ($C_{t,i}$) voor verschillende blootstellingsduren (T_i)

5.3.3. Het totale expositieniveau

Het totale expositieniveau of de dagdosis $L_{EX,T}$ wordt nu bepaald als de energetische som van alle partiële doses:

$$L_{EX,T} = L_{EX,t,1} +_E L_{EX,t,2} +_E L_{EX,t,3} +_E \dots +_E L_{EX,t,n}$$

Voor de methoden om geluidniveaus energetisch op te tellen wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

5.4. Voorbeelden

Hiernavolgend worden de beschouwde grootheden en de wijze hoe ze worden bepaald middels een drietal voorbeelden nader verduidelijkt. In de rekenvoorbeelden wordt op basis van de uitgangspunten achtereenvolgens bepaald:

- de tijdcorrectiefactor $C_{t,i}$;
- partiële geluidexpositieniveaus;
- dagdosis.

De uitgangspunten voor de berekeningen zijn:

- ontvanger: de verblijfsduur op de arbeidsplaats;
- bron: het equivalente geluidniveau L_{Aeqw} van de werkzaamheid;
- bron: de duur dat dit geluidniveau aanhoudt (indien deze duur minder lang is dan de verblijfsduur op de arbeidsplaats).

5.4.1. Voorbeeld 1

In het eerste voorbeeld gaan we uit van een werknemer die gedurende de gehele werkdag (8 uur) op één bepaalde arbeidsplaats (A1) werkzaam is en waarbij de machine, die bepalend is voor het heersende geluidniveau op die betreffende arbeidsplaats, 8 uur in bedrijf is. Het geluidniveau L_{Aeqw} op deze arbeidsplaats is 86 dB(A).

Een verblijfstijd van 8 uur betekent een **tijdcorrectiefactor** van 0 dB. Het **partiële geluidexpositieniveau** wordt hiermee gelijk aan $82 \text{ dB(A)} - 0 = 82 \text{ dB(A)}$. Omdat het hier het enige geluidniveau betreft waaraan de werknemer blootstaat (er is dus geen tweede of derde partiële geluidexpositieniveau), is de **dagdosis** eveneens gelijk aan 86 dB(A).

Een samenvatting van de uitgangspunten en berekeningen is weergegeven in tabel 5.2.

Arbeitsplaats	A1
Verblijfstijd werknemer [uur]	8
Bedrijfsduur bron [uur]	8
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	82
Tijdcorrectiefactor [dB]	0
Partiële dosis [dB(A)]	82
Dagdosis [dB(A)]	82

Tabel 5.2: Berekening dagdosis voorbeeld 1

5.4.2. Voorbeeld 2

In dit voorbeeld wordt er van uitgegaan dat een werknemer op twee verschillende arbeidsplaatsen werkzaam is. Op beide plaatsen verblijft de werknemer 4 uur, waarbij ook de apparatuur die op de arbeidsplaatsen bepalend is voor de heersende geluidniveaus continu, gedurende de gehele verblijfstijd van de werknemer, in bedrijf is. De heersende geluidniveaus op de twee arbeidsplaatsen zijn 86, respectievelijk 79 dB(A).

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfstijd werknemer [uur]	4	4
Bedrijfsduur bron [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	86	79

Tabel 5.3: Overzicht uitgangspunten voorbeeld 2

Gezien de verblijfstijd van 4 uur bedraagt de tijdcorrectie voor beide arbeidsplaatsen 3 dB. De **partiële geluidexpositieniveaus** (partiële doses) bedragen hiermee respectievelijk $86 \text{ dB(A)} - 3 \text{ dB} = 83 \text{ dB(A)}$ en $79 \text{ dB(A)} - 3 \text{ dB} = 76 \text{ dB(A)}$. De **dagdosis** volgt nu uit een energetische sommatie van 83 en 76 dB(A) en bedraagt 84 dB(A).

Tabel 5.4 geeft een samenvatting van de berekening van de dagdosis.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfstijd werknemer [uur]	4	4
Bedrijfsduur bron [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	86	79
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	3
Partiële dosis [dB(A)]	83	76
Dagdosis [dB(A)]	84	

Tabel 5.4: Berekening dagdosis voorbeeld 2

De regelingen binnen het convenant verplichten de werkgever om de equivalente geluidniveaus (L_{Aeqw}) te verminderen tot 80 dB(A) of lager. In de voorgestelde situatie (zonder deze maatregelen) dient de werkgever de werknemer te verplichten gehoorbescherming te dragen op arbeidsplaats A1 ($L_{Aeqw} > 85$ dB(A)). Op arbeidsplaats A2 is gehoorbescherming (wettelijk) niet nodig ($L_{Aeqw} < 80$ dB(A)).

5.4.3. Voorbeeld 3

In het derde rekenvoorbeeld wordt uitgegaan van een werknemer die, gedurende één dag (8 uur), op twee aparte arbeidsplaatsen werkzaam is. Gedurende 5 uur is de werknemer op arbeidsplaats A1 werkzaam, waarbij sprake van het geluid van twee machines (M1 en M2). Machine M1 is 4 uur in bedrijf en machine M2 1 uur. Op arbeidsplaats A2 is de werknemer 3 uur aanwezig, terwijl machine (M3) hier 2 uur in bedrijf is. De resterende tijd (1 uur) ondervindt de werknemer een (niet relevant) geluidniveau van 70 dB(A). Voor de volledigheid zal dit niveau wel in de berekeningen worden meegenomen. De geluidniveaus op de arbeidsplaatsen van de drie machines zijn bekend.

In onstaande tabel zijn de uitgangspunten van onderhavig voorbeeld samengevat.

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur bron [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70

Tabel 5.5: Overzicht uitgangspunten voorbeeld 3

De **tijdcorrectiefactor** kan op de drie genoemde wijzen worden bepaald: aan de hand van de formule $C_{t,i} = 10 \log\left(\frac{T_i}{8}\right)$, figuren 5.2 en 5.3 of tabel 5.1. Hieruit volgen **partiële doses** of **partiële geluidexpositieniveaus** van respectievelijk 82, 79, 76 en 61 dB(A).

De **dagdosis** volgt uit een energetische sommatie van de vier partiële geluidexpositieniveaus en bedraagt 84 dB(A).

In tabel 5.6 is de berekening van de dagdosis samengevat.

Arbeidsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur bron [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Tijd-correctiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	82	79	76	61
Dagdosis [dB(A)]	84			

Tabel 5.6: Berekening dagdosis voorbeeld 3

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het hoogste geluidniveau L_{Aeqw} (88 dB(A)), gezien de korte tijd, een relatief kleine deeldosis tot gevolg heeft (79 dB(A)). Deze partiële dosis, van minder dan 80 dB(A), mag echter niet buiten beschouwing worden gelaten. Iedere partiële dosis is immers mede bepalend voor de dagdosis.

De convenantregeling verplicht de werkgever in het voorbeeld 3 om geluid- saneringsmaatregelen te treffen teneinde de equivalente geluidniveaus (L_{Aeqw}) te verminderen tot 80 dB(A) of lager. In genoemd voorbeeld dient (zonder maatregelen) te allen tijde gehoorbescherming ter beschikking worden gesteld op de arbeidsplaats A2, tijdens het gebruik van machine M3 ($L_{Aeqw} > 85$ dB(A)). Op arbeidsplaats 1 is het dragen van gehoorbescherming verplicht bij het gebruik van de machine M2 ($L_{Aeqw} > 85$ dB(A)).

6. Bepaling van geluidreducties

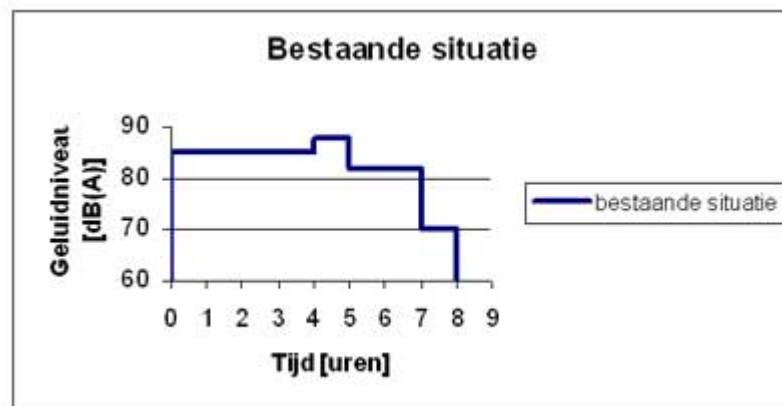
In hoofdstuk 5 is beschreven hoe de dagdosis moet worden vastgesteld op basis van het equivalente geluidniveau en de blootstellingsduur van een werkzaamheid. In de inleiding van hoofdstuk 5 is tevens aangegeven dat de dagdosis onvoldoende gedetailleerde informatie bevat om geluidmaatregelen te dimensioneren; de bijdrage van iedere geluidbron tijdens elke werkzaamheid dient inzichtelijk te zijn.

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke invloed de verminderde geluiduitstraling van een geluidbron heeft op de dagdosis. Tevens worden op de rekenvoorbeelden van hoofdstuk 5 drie maatregelen toegepast:

- een bronmaatregel;
- een maatregel bij de ontvanger;
- een organisatorische maatregel.

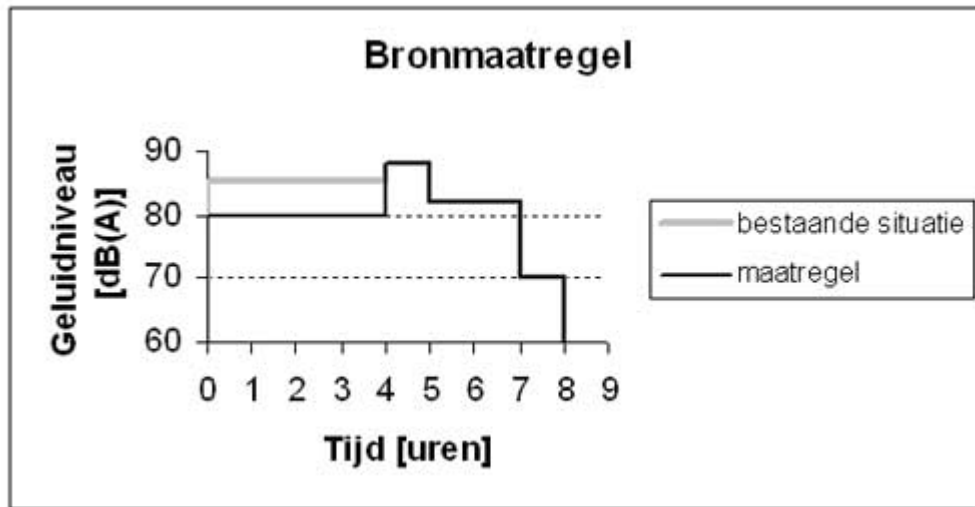
6.1 Effect van een maatregelen op dagdosis

In figuur 6.1 is het equivalente geluidniveau van rekenvoorbeeld 3 van voorgaand hoofdstuk grafisch weergegeven als functie van de tijd.



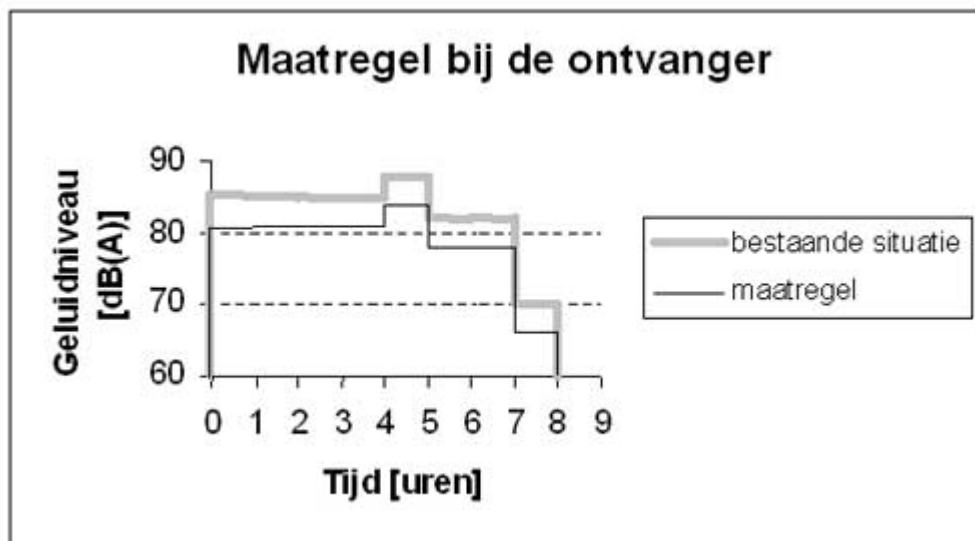
Figuur 6.1: Geluidniveau rekenvoorbeeld 3 (L_{Aeqw} versus tijd)

Door het toepassen van een bronmaatregel bij machine 1 vermindert het deelgeluidexpositieniveau van werkzaamheid M1 en derhalve ook de dagdosis. Dit is grafisch weergegeven in figuur 6.2.



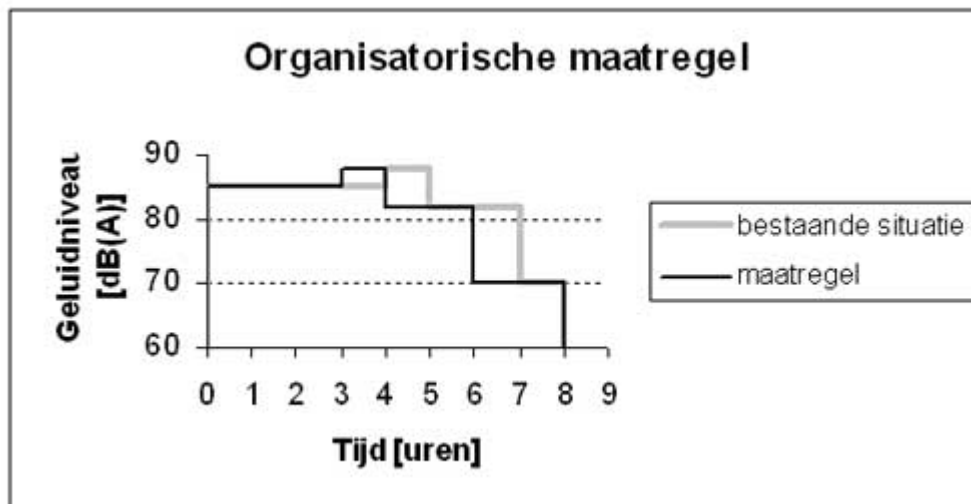
Figuur 6.2: Rekenvoorbeeld 3 na toepassing een bronmaatregel bij machine 1

Een maatregelen bij de ontvanger leidt dan weer tot een (gelijke) vermindering van de geluidbijdrage van verschillende geluidbronnen. Dit is grafisch weergegeven in figuur 6.3:



Figuur 6.3: Rekenvoorbeeld 3 na toepassing een maatregel bij de ontvanger

Een organisatorisch maatregel tenslotte leidt niet een vermindering van de geluid-niveaus, doch tot een verminderde blootstellingsduur, waardoor de dagdosis alsnog vermindert. Zie hiervoor figuur 6.4:



Figuur 6.4: Rekenvoorbeeld 3 na toepassing een organisatorische maatregel

6.2 Rekenvoorbeelden

In de volgende paragrafen zal een aantal mogelijke maatregelen aan de hand van de in hoofdstuk 5 beschreven voorbeelden worden uitgewerkt.

6.2.1 Voorbeeld 1

Bron- c.q. ontvangermaatregel

Als eerste maatregel wordt uitgegaan van een reductie van 3 dB. Deze reductie kan worden bewerkstelligd door maatregelen aan de bron (geluiddemper) of een maatregel bij de ontvanger. De berekening van de nieuwe dagdosis verloopt via onderstaande tabel 6.1.

Arbeitsplaats	A1
Verblijfstijd werknemer [uur]	8
Bedrijfsduur [uur]	8
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	82
Geluidreductie ten gevolge van maatregel	3
Tijd-correctiefactor [dB]	0
Partiële dosis [dB(A)]	79
Dagdosis [dB(A)]	79

Tabel 6.1: Berekening dagdosis bron- of ontvangermaatregel – voorbeeld 1

Uit de tabel blijkt dat een reductie (bron danwel ontvanger) van 3 dB de dagdosis eveneens met 3 dB verlaagd.

Organisatorische maatregel

Teneinde de dagdosis te reduceren is het eveneens mogelijk om de verblijfsduur op de betreffende arbeidsplaats te verkorten (naar bijvoorbeeld 4 uur). De resterende 4 uur bevindt de werknemer zich op een locatie met een veel lager geluidsniveau (≈ 70 dB(A)).

In tabel 6.2 is opgenomen hoe de nieuw ontstane dagdosis wordt bepaald.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfsduur werknemer [uur]	4	4
Machine	M1	-
Bedrijfsduur [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfsduur machine	82	70
Tijd-correctiefactor [dB]	3	3
Partiële dosis [dB(A)]	79	67
Dagdosis [dB(A)]	79	

Tabel 6.2: Berekening dagdosis organisatorische maatregel – voorbeeld 1

De verblijfsduur van 4 uur zorgt voor een tijdcorrectie van 3 dB. Deze resulteert weer in een partiële dosis van 79 dB(A). Samen met de (niet relevante) partiële dosis van 67 dB(A) verminderd de dagdosis tot 79 dB(A).

In voorbeeld 1 resulteert zowel de bron- als ontvangermaatregel van 3 dB als de organisatorische maatregel inzake de verkorting van de bedrijfsduur in een dagdosis van 79 dB(A). Bij gebruik van de organisatorische maatregel dient op arbeidsplaats A1 gehoorbescherming ter beschikking te worden gesteld.

6.2.2 Voorbeeld 2

In de onderstaande tabel 6.3 zijn de uitgangspunten van voorbeeld 2 nogmaals samengevat.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfsduur werknemer [uur]	4	4
Bedrijfsduur [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfsduur machine	86	79

Tabel 6.3: Overzicht uitgangspunten voorbeeld 2

Bronmaatregel

Als voorbeeld voor een bronmaatregel wordt genomen het reduceren van de geluidbron op arbeidsplaats A1 met 10 dB. Hieronder volgt de berekening van de dan optredende dagdosis.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfstijd werknemer [uur]	4	4
Bedrijfsduur [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	86	79
Geluidreductie bron	10	0
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	3
Partiële dosis [dB(A)]	73	76
Dagdosis [dB(A)]	78	

Tabel 6.4: Berekening dagdosis bronmaatregel - voorbeeld 2

In dit voorbeeld verandert alleen de partiële dosis van de bron op locatie A1. De dagdosis wordt hierbij met $(84 - 78 =) 6$ dB gereduceerd.

Ontvangermaatregel

In dit geval wordt uitgegaan van een geluidreductie van 5 dB nabij de ontvanger. Deze wordt gerealiseerd middels gehoorbescherming.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfstijd werknemer [uur]	4	4
Bedrijfsduur [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	86	79
Geluidreductie ontvanger	5	5
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	3
Partiële dosis [dB(A)]	78	71
Dagdosis [dB(A)]	79	

Tabel 6.5: Berekening dagdosis ontvangermaatregel - voorbeeld 2

Uit de tabel 6.5 blijkt dat een reductie van 5 dB nabij de ontvanger een reductie van eveneens 5 dB op de dagdosis tot gevolg heeft.

Organisatorische maatregel

Een verkleining van de dagdosis middels organisatorische maatregelen wordt bereikt door de verblijfstijden te veranderen. Als voorbeeld wordt uitgegaan van een verblijfstijd (na maatregel) van 2 uur op arbeidsplaats A1 en 6 uur op arbeidsplaats A2 (in tegenstelling tot de gehanteerde 4 uur op iedere arbeidsplaats). De dagdosis wordt dan bepaald als vermeld in tabel 6.6.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfstijd werknemer [uur]	2	6
Bedrijfsduur [uur]	2	6
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	86	79
Tijdcorrectiefactor [dB]	6	1.2
Partiële dosis [dB(A)]	80	77.8
Dagdosis [dB(A)]	82	

Tabel 6.6: Berekening dagdosis organisatorische maatregel - voorbeeld 2

De genoemde aanpassing van de verblijfstijden heeft blijkbaar een reductie van $(84 - 82 =) 2$ dB op de dagdosis tot gevolg.

6.2.3 Voorbeeld 3

In onderstaande tabel 6.7 is het voorbeeld 3, met de oorspronkelijk berekende dagdosis, nogmaals opgenomen.

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	1
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	82	79	76	61
Dagdosis [dB(A)]	84			

Tabel 6.7: De te saneren geluidssituatie

Bronmaatregel

In eerste instantie wordt uitgegaan van maatregelen (bijvoorbeeld een geluiddemper) aan machine M1. Ten gevolge van deze maatregel wordt het geluidniveau L_{Aeqw} vanwege deze bron met 5 dB gereduceerd. De partiële dosis (partiële geluidexpositieniveau ($L_{EX,t}$)) vanwege deze bron wordt hiermee ook met 5 dB gereduceerd. We krijgen dan:

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Geluidreductie ten gevolge van maatregel [dB]	5	0	0	0
Geluidniveau L_{Aeqw} inclusief maatregel [dB(A)]	80	88	82	70
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	77	79	76	61
Dagdosis [dB(A)]	82			

Tabel 6.8: Berekening dagdoses maatregel aan bron M1 – voorbeeld 3

Uit dit rekenvoorbeeld blijkt dat een maatregel met een geluidreductie van 5 dB op bron M1 een reductie van slechts $(84 - 82 =) 2$ dB op de dagdosis tot gevolg heeft. Na het treffen van deze maatregel in gehoorbescherming nodig bij machine M2 en M3. Bij machine M2 is deze verplicht ($L_{Aeqw}=88$ dB(A)); bij machine M3 is ter beschikking stellen (wettelijk) voldoende.

Ontvangermaatregel

In een tweede rekenvoorbeeld wordt het effect van de geluidafscherming bij de ontvanger geëvalueerd. In het rekenvoorbeeld wordt verondersteld dat door het bouwen van een geluidarme bedieningsruimte de geluidniveaus van alle machines op arbeidsplaats 1 met 10 dB verminderen.

Arbeidsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Geluidreductie ten gevolge van maatregel [dB]	10		0	0
Geluidniveau L_{Aeqw} inclusief maatregel [dB(A)]	75	78	82	70
tijdcorrectiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	72	69	76	61
Dagdosis [dB(A)]	78			

Tabel 6.9: Berekening dagdoses ontvangermaatregel – voorbeeld 3

Uit dit rekenvoorbeeld blijkt, dat als de geluidniveaus op arbeidsplaats 1 met 10 dB worden verminderd, de dagdosis met $(84-78=)$ 6 dB vermindert; in deze situatie tot niveaus van minder dan 80 dB(A). Bij machine M3 dient alsnog gehoorbescherming ter beschikking te worden gesteld.

Organisatorische maatregel

Naast het reduceren van het geluidniveau vanwege een bepaalde machine of door geluidafscherming bij de ontvanger, is het mogelijk de blootstellingduur aan een bepaald geluidniveau te beperken. We gaan weer uit van het oorspronkelijke voorbeeld (zonder geluidreductie). Nu wordt er echter vanuit gegaan dat de werknemer minder lang bij machine 1 werkt, en verder gedurende 2 uur op een niet-geluidbelaste arbeidsplaats 3 ($L_{Aeqw}=70$ dB(A)) werkt.

In het rekenvoorbeeld vermindert de blootstellingduur aan het geluid van machine 1 van 4 naar 2 uur. De berekening van de dagdosis verloopt als volgt:

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	3		5	
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	2	1	2	2
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
tijdcorrectiefactor [dB]	6	9	6	4.3
Partiële dosis [dB(A)]	79	79	76	65.7
Dagdosis [dB(A)]	83			

Tabel 6.10: Berekening dagdoses organisatorische maatregel – voorbeeld 3

We zien dat, ten gevolge van de beperking van de bedrijfsduur van machine 1 van 4 naar 2 uur, de tijdcorrectiefactor toeneemt van 3 naar 6 dB. Het partiële geluid-expositieniveau ($L_{EX,t}$) wordt hierdoor 79 dB(A).

De dagdosis wordt nu een sommatie van 79, 79 en 76 dB(A) en komt hiermee uit op 83 dB(A). Samenvattend komt het er op neer dat in dit geval beperking van de blootstellingduur aan bron M1 een reductie van $(84 - 83 =) 1$ dB op de dagdosis tot gevolg heeft.

6.3 Varianten berekenen – voorbeeld 3

De in het voorbeeld (zonder maatregelen) berekende dagdosis bedraagt 84 dB(A). Om deze te verminderen tot, bijvoorbeeld, 80 dB(A), zal de dagdosis met 4 dB gereduceerd dienen te worden. Dit kan op verschillende manieren, in verschillende varianten: in principe kunnen verschillende geluidbronnen worden aangepakt met verschillende geluidreducties en ook, zoals we reeds zagen, kan de blootstellingsduur aan verschillende bronnen worden beperkt. Hiernavolgend zal middels een tweetal getallenvoorbeelden een en ander worden verduidelijkt.

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Reductie ten gevolge van maatregel [dB]	6	5	0	0
Geluidniveau L_{Aeqw} inclusief maatregel [dB(A)]	79	83	82	70
Tijd-correctiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	76	74	76	61
Dagdosis [dB(A)]	80			

Tabel 6.11: Variant 1 (reductie dagdosis 80 dB(A)) – voorbeeld 3

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Reductie ten gevolge van maatregel [dB]	20	0	3	0
Geluidniveau L_{Aeqw} inclusief maatregel [dB(A)]	65	88	79	70
Tijd-correctiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	62	79	73	61
Dagdosis [dB(A)]	80			

Tabel 6.12: Variant 2 (reductie dagdosis 80 dB(A)) - voorbeeld 3

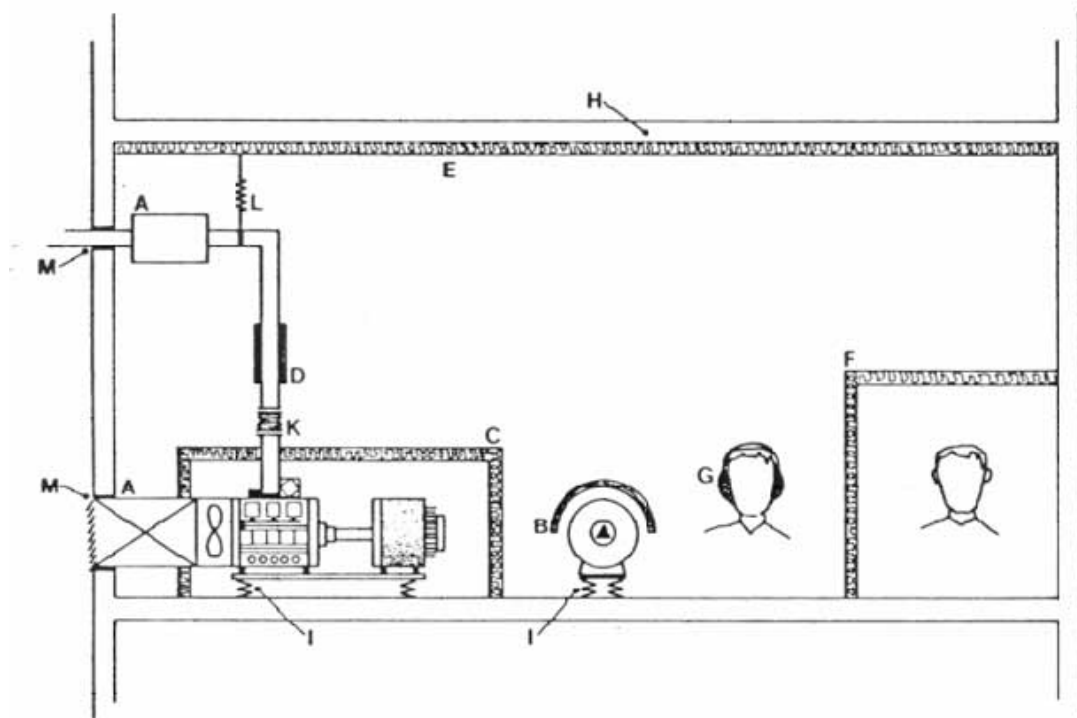
Uit deze voorbeelden blijkt dat via verschillende wegen van maatregelen aan bronnen een dagdosis van 80 dB(A) kan worden bereikt. De kosten van de twee berekende varianten zullen verschillen. In principe maakt het voor deze werknemer niet uit via welke de benodigde reductie wordt behaald. Voor de werkgever, die tevens verantwoordelijk is voor de kosten van de maatregelen, maakt dit echter wel een verschil. In hoofdstuk 9 wordt nader ingegaan op de relatie van geluidwinst en kosten van maatregelen bij verschillende maatregelvarianten.

In variant 1 dient gehoorbescherming ter beschikking te worden gesteld voor de werkzaamheden bij machine M2 en M3. In variant 2 is gehoorbescherming verplicht nabij machine M2.

7. Principes van maatregelen

7.1. Maatregelen in het algemeen

Bij het treffen van maatregelen komt het er meestal op neer dat men de emissie van geluidbronnen als gegeven accepteert en tracht het geluidniveau bij de ontvanger (immissie) te beperken door maatregelen in de overdracht. Voor het in kaart brengen van de mogelijkheden hierbij is het nodig deze overdracht kort te beschrijven; daaruit volgt dan op welke plaatsen en op welke wijze de overdracht kan worden verminderd. Deze problematiek doet zich zowel binnen als buiten gebouwen voor met overeenkomstige en verschillende facetten, met de daaruit voortvloeiende consequenties voor de mogelijkheden tot lawaaivermindering. In de hiernavolgend gegeven samenvatting wordt een overzicht gegeven van de verschillende mogelijkheden, en wel aan de hand van een voorbeeld zoals getekend is in onderstaande figuur 7.1.



Figuur 7.1: Typen maatregelen

7.1.1. Maatregelen nabij de bron

De noodzaak tot maatregelen nabij de geluidbron kan zich zowel binnen als buiten gebouwen voordoen, zowel bij de bedieningsplaatsen dichtbij als verder van de machines of installaties verwijderd. Bij lawaaivermindering denkt men in eerste instantie aan bronnen. Hierbij komt in aanmerking de toepassing van geluid-dempers (A), kappen (B), omkastingen (C) en isolatie van leidingen (D).

Aan de geluidbronnen zelf is vaak ook veel te verbeteren. Men bevindt zich dan op het grensgebied van geluidarm installeren en geluidarm construeren.

7.1.2. Maatregelen binnen ruimten

Het geluidniveau op wat grotere afstand binnen een ruimte wordt in belangrijke mate bepaald door de vorm van de ruimte en de afwerking van wanden en plafond. Verlaging van deze geluidcomponent kan worden bereikt door het aanbrengen van geluidabsorberend materiaal (E) waardoor deze overdracht wordt beperkt danwel door middel van een bedieningscabine (F). Voorts bestaat de mogelijkheid tot het zo gunstig mogelijk indelen van bedrijfsruimten en het aanbrengen van scheidingswanden voor het apart onderbrengen van bedrijfsonderdelen met een verhoudingsgewijs geringere geluidproductie.

7.1.3. Maatregelen bij de waarnemer

Bij maatregelen nabij de waarnemer zelf gaat het om toepassen van persoonlijke gehoorbeschermers in de vorm van watjes, dopjes, autoplastieken of kappen (G).

7.1.4. Maatregelen bij overdracht in de open lucht

De noodzaak tot lawaaibestrijding op arbeidsplaatsen in de open lucht op relatief grote afstand van geluidbronnen komt niet zo vaak voor. Het gaat hierbij vooral om geluidvermindering bij de bronnen (A, B, C en D) danwel om persoonlijke gehoorbescherming (G).

Opgemerkt kan worden dat maatregelen aan de bronnen ook dienstbaar kunnen zijn voor geluidvermindering bij omwonenden. Daarbij is ook de afstand erg belangrijk.

7.1.5. Maatregelen bij de overdracht binnen gebouwen

Een geluidbron binnen een gebouw kan ook problemen geven in aangrenzende ruimten. Ook hierbij is uiteraard verbetering mogelijk d.m.v. maatregelen aan de bronnen (A,B,C,D) of geluidabsorptie in de opstellingsruimte (E). Verder is een goede geluidisolatie van wanden, vloer en plafond nodig (H).

Belangrijk is voorts de invloed van constructiegeluid. Vermindering daarvan is mogelijk door toepassing van veren (I) onder de machines, balgen, slangen of manchetten (K) in leidingen en verende bevestiging daarvan (L).

7.1.6. Maatregelen bij geluidoverdracht via kanalen en leidingen

Geluidoverdracht via kanalen en leidingen, aanzuig- en uitblaasopeningen van lucht, gassen, stoom en via aanzuig- en uitlaatopeningen van motoren kan als regel worden beperkt door middel van geluiddempers (A). Hierbij kan een verende bevestiging (L) nodig zijn alsmede een goede afdichting (M) bij passage door wanden of gevels. De overdracht in met vloeistof doorstroomde leidingen kan worden beperkt met speciale vloeistofgeluiddempers.

Geluidoverdracht langs wanden van leidingen kan worden beperkt d.m.v. de reeds genoemde balgen, slangen of manchetten (K).

7.1.7. Maatregelen bij voer- en vaartuigen

Geluidafstraling door machinedelen en trillende handen e.d. bij voer- en vaartuigen kan worden beperkt door toepassing van trillingdempende materialen in de vorm van zelfklevende lagen of pasta's ("ontdreunen"). Constructiegeluid kan ook bij voer- en vaartuigen worden verminderd door toepassing van veren (I). Ook hierbij behoort gebruik van balgen, slangen en manchetten (K) en verend bevestigen van leidingen (L).

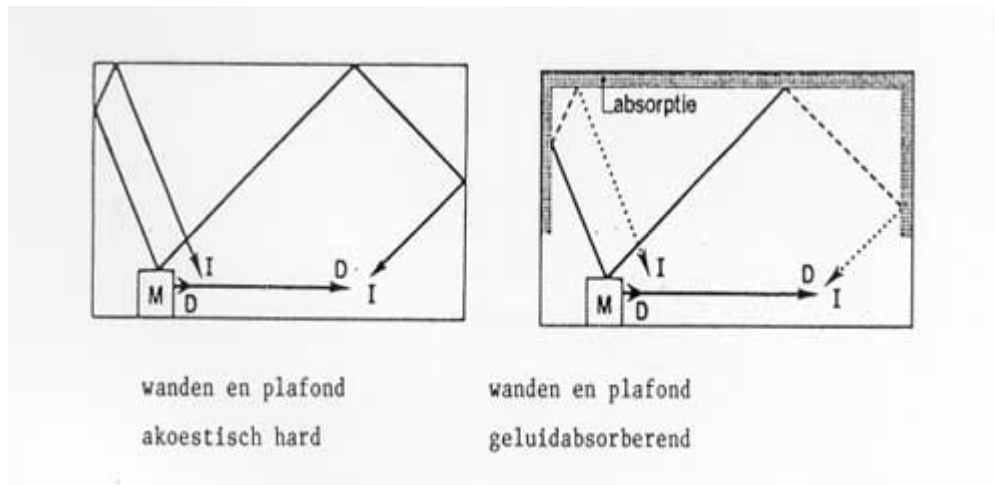
Onderstaand wordt nader ingegaan op diverse vormen van geluidreducerende maatregelen.

7.2. Geluidabsorptie

Geluidabsorberende materialen worden bij de lawaaibestrijding in allerlei vormen toegepast: in samengestelde wanden, voor isolatie van leidingen, in geluiddempers en voor bekleding van wanden en plafonds van ruimten. Laatstgenoemde toepassing is in dit hoofdstuk aan de orde.

In al de genoemde gevallen gaat het om demping (dissipatie) van geluid, een demping die ontstaat door energieverlies wanneer geluidgolven het materiaal treffen (bijv. bij panelen) of binnendringen (bijv. bij poreuze lagen zoals mineraalwol, kunststofschuim, e.d.). De diverse toepassingen komen aan de orde; daarbij wordt ingegaan op de voor die toepassing specifieke materiaalkeuze.

Thans gaat het dus om geluidabsorptie in ruimten door bekleding van wanden en plafond met een geluidabsorberend materiaal. Met dergelijke voorzieningen kan de geluidoverdracht binnen ruimten worden beperkt.



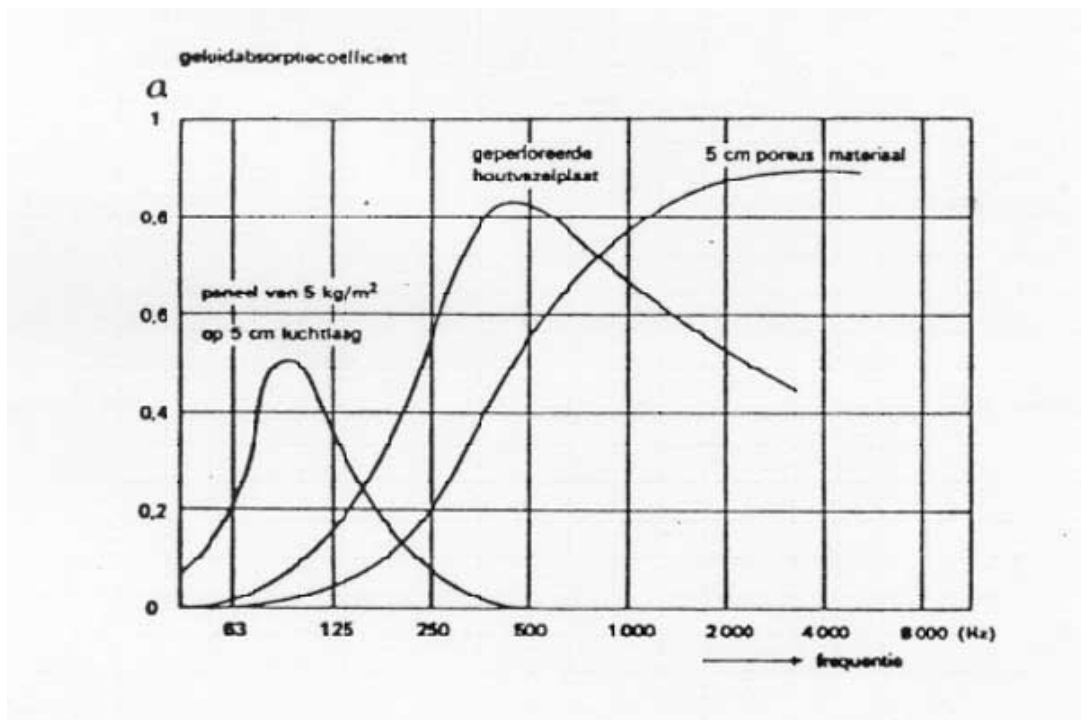
Figuur 7.2: Effect van geluidabsorptie (schematisch)

7.2.1. Soorten materialen

Er bestaat een grote verscheidenheid aan geluidabsorberende materialen. Bij de keuze zal men zich graag laten leiden door overwegingen m.b.t. uiterlijk, wijze van aanbrengen, gewicht, kostprijs, e.d. Men moet zich er dan vooraf echter van vergewissen dat de absorptiekenarakteristiek “past” bij de in het geding zijnde geluidssituatie, m.a.w. dat inderdaad absorptie optreedt in het frequentiegebied waarin dat nodig is. In dit opzicht is de keuze beperkter. In beginsel zijn er slechts twee essentieel verschillende absorptiemechanismen en de daarop gebaseerde typen materialen:

- poreuze lagen;
- resonerende systemen.

Een belangrijke mengvorm zijn poreuze materialen met een front van een gesloten oppervlak waarin gaten of sleuven zijn aangebracht (geperforeerde panelen). In figuur 7.3 zijn drie absorptiecurven getekend waarmee voor de bovengenoemde typen materialen het karakter van de absorptie als functie van de frequentie is gekenschetst.



Figuur 7.3: 3 absorptiecurven

Er bestaan allerlei materialen die qua vorm afwijken van het gangbare type. Vaak hangt dit samen met eisen die aan het uiterlijk worden gesteld, soms speelt de situatie een rol waarbij men met een “gewoon” geluidabsorberend plafond niet uit de voeten kan. Zo bestaan er bijzonder gevormde geluidabsorberende elementen zoals kegels, cilinders, e.d. Veel voorkomend zijn de z.g. baffles, plaatvormige elementen die in verticale stand worden opgehangen in rijen, vierkanten, e.d. Hiermee wordt daglicht via het dak niet afgeschermd.

In het algemeen geldt dat het ene goede materiaal niet effectiever kan zijn dan het andere, afgezien van mogelijk verschil in frequentiekenarakteristiek. Men zij dus gewaarschuwd voor onbewezen eigenschappen waarbij steeds om gewaarmerkte absorptiecijfers gevraagd moet worden. Bij al deze bijzondere vormen kan men het effect toch weer vertalen in een geluidabsorptiecoëfficiënt danwel een equivalent absorptieoppervlak als deel van het beklede oppervlak. De leverancier moet deze cijfers kunnen verschaffen. Daarnaast bestaan er speciale materialen voor bijzondere omstandigheden zoals hoge temperatuur hoge vochtigheidsgraad, bijzondere hygiënische eisen, gering gewicht, wegneembaarheid, e.d. Ook de brandveiligheid speelt in gebouwen een belangrijke rol bij de materiaalkeuze. Over al deze factoren moet de leverancier uitsluitsel kunnen geven.

7.2.2. Aandachtspunten

De geluidverminderende effecten van geluidabsorberende materialen zijn beperkt. Indien de werknemer zich op korte afstand van de geluidbron bevindt, is het effect van geluidabsorptie van wanden en plafond zeer laag. Nadat geluidabsorberende materialen zijn aangebracht dient er op te worden toegezien dat het oppervlak van het materiaal niet vervuult met stof, vet of roetdeeltjes. Het geluidabsorberende vermogen neemt dan enorm af.

Tevens wordt opgemerkt dat geluidabsorberende materialen niet noodzakelijk ook goede geluidsisolerende eigenschappen hebben.

7.3. Geluidisolatie

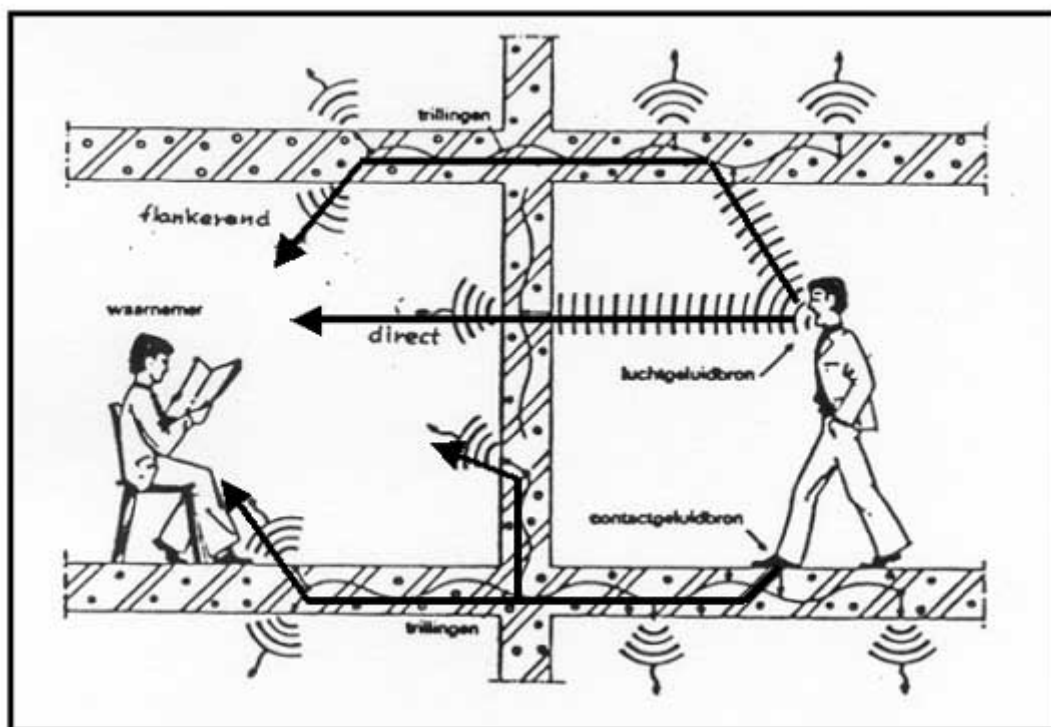
Geluidisolatie is het verschijnsel waarbij het geluidniveau van een geluidsgolf, die doorheen een materiaal of een constructie gaat, vermindert. Alle materialen hebben in mindere of meerdere mate geluidsisolerende eigenschappen. In de regel kan worden gesteld dat constructies met een grote massa per oppervlakte-eenheid (zware materialen en dikke constructies) hoge geluidsisolerende eigenschappen bezitten.

Het geluid dat binnen een ruimte wordt geproduceerd, breidt zich daarin uit en dringt door tot aangrenzende of elders in het gebouw gelegen ruimten. Evenzo kan geluid in beide richtingen via gevels van een gebouw, naar binnen danwel naar buiten worden doorgelaten. De mate waarin dit gebeurt, wordt bepaald door de geluidsisolerende eigenschappen van wanden, vloeren, gevels alsmede van de zich daarin bevindende deuren, ramen, enz.

7.3.1. Soorten geluidoverdracht

Bij de geluidoverdracht van een ruimte naar een andere kan ook sprake zijn van mechanisch voortgebrachte geluiden, afkomstig van bijv. installaties voor klimaatregeling, trillende machines, werkzaamheden in het gebouw, lopen, etc. Men onderscheidt hierbij bronnen van luchtgeluid en bronnen van contactgeluid (mechanische trillingen zie paragraaf 3.9). De manier waarop dergelijke geluiden zich door de gebouwconstructie voortplanten zijn:

- directe overdracht van luchtgeluid, rechtstreeks via de scheidingsconstructie naar aangrenzende vertrekken;
- flankerende overdracht van luchtgeluid, via flankerende wanden naar aangrenzende ruimten en naar vertrekken elders in het gebouw;
- contactgeluidoverdracht, door aanstoting met een trillingbron (contactgeluidbron), meestal via de vloer;
- indirecte overdracht, overdracht via nevenwegen zoals gangen, ventilatiekanalen en liftschachten waardoor vaak een mengsel van overdrachtswegen ontstaat.



Figuur 7.4: 3 typen geluidoverdracht door constructies

Bij de directe geluidoverdracht wordt de scheidingsconstructie door geluid (lucht-trillingen) in beweging gebracht; hierdoor wordt aan de andere zijde een luchtbevinging opgewekt en ontstaat opnieuw geluid. De mate waarin dit plaats heeft, wordt bepaald door de luchtgeluidisolatie van de constructie.

Bij flankerende overdracht verspreiden de trillingen zich eerst via de flankerende wanden, vloer en plafond, waarna verderop afstraling als geluid plaats heeft. Hierbij ontstaat extra verzwakking, in het bijzonder ter plaatse van de verbindingen tussen de diverse constructiedelen (overgangen bij wanden en vloeren).

Contactgeluidoverdracht is vooral van belang voor de ruimte die zich onder de desbetreffende vloer bevindt. Ook deze trillingen zullen zich echter voortplanten door het gebouw en elders geluid veroorzaken.

Hinderlijke stemgeluiden van een aangrenzende ruimte zijn het gevolg van een ongewenst hoge directe geluidoverdracht. Hinderlijke stemgeluiden van ruimten die niet aangrenzend zijn (bijvoorbeeld twee etages hoger) worden veroorzaakt door een te grote overdracht van flankerende geluiden. Het horen van voetstappen vanuit naast- of bovengelegen ruimten wijzen dan weer op een relevante vorm van contactgeluid.

7.3.2. Verbeteren van de geluidisolatie

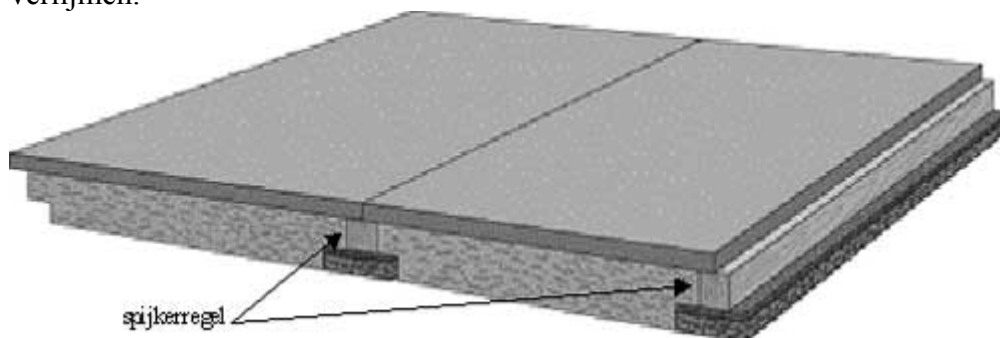
Om de geluidisolatie tussen twee ruimten te verbeteren dient de geluidisolatie van de directe geluidoverdracht en/of de geluidisolatie van de flankerende geluid-

overdracht en/of de geluidisolatie van de contactgeluidoverdracht te worden verhoogd.

Alle genoemde vormen van geluidoverdracht kunnen worden verminderd door het verzwaren van de scheidingsconstructies. Overeenkomstig de in de aanhef van paragraaf 7.3 geciteerde massawet vermindert de geluidtransmissie doorheen 'zware' constructie veel meer dan bij 'lichte' constructies. Met 'zwaar' of 'licht' worden constructies bedoeld met een hoge, resp. lage massa per m² materiaal. De geluidoverdracht kan eveneens in belangrijke mate worden verbeterd door het plaatsen van zogenaamde voorzetconstructies. Deze voorzetconstructies zijn in principe als volgt opgebouwd:

1. Zware binnenplaat (bijvoorbeeld HDF of gipsplaat).
2. Geluidabsorberend materiaal foam, steen- of glaswol van hoge densiteit (minstens 40 mm dik).
3. Bestaande (bouwkundige) constructie.

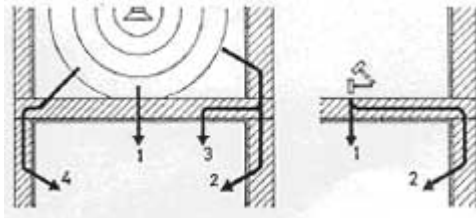
De zware binnenbeplating wordt niet star op de bestaande constructie bevestigd. In figuur 7.5 is een voorbeeld van een constructie met spijkerregels gegeven. De starre verbinding kan eveneens worden vermeden door de binnenplaat op foam te verlijmen.



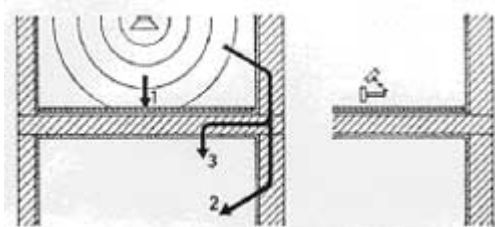
Figuur 7.5: Voorzetconstructie

De geluidtransmissie van direct, flankerend of contactgeluid kan ook selectief verminderd worden. In figuur 7.6 is een en ander schematisch weergegeven. Indien bijvoorbeeld een voorzetwand onder de ruimtescheidende plafond wordt aangebracht, vermindert in belangrijke mate de directe geluidtransmissie, doch niet het contactgeluid en flankerende geluidoverdracht (zie oplossing 1). Indien de ruimtescheidende isolatie echter aan de vloerzijde wordt aangebracht, vermindert naast de directe geluidoverdracht ook de contactgeluidoverdracht (zie oplossing 2).

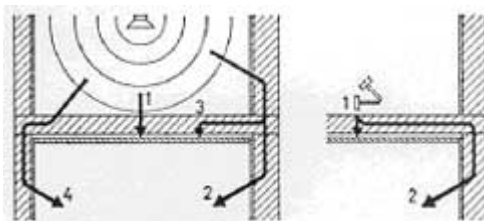
Een optimale akoestische situatie waarbij alle geluidoverdrachten in belangrijke mate verminderen wordt bereikt door middel van een zogenaamde doos-in-doostructie (oplossing 3).



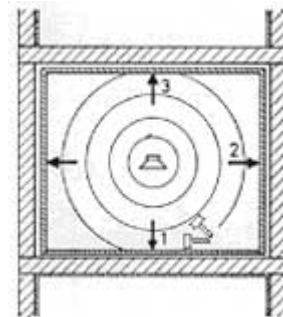
Figuur 7.6.a: Zonder maatregelen



Figuur 7.6.c: Oplossing 2: vloer



Figuur 7.6.b: Oplossing 1: plafond



Figuur 7.6.d: Oplossing 3: doos-in-doo

7.3.3. Aandachtspunten

De geluidsisolerende eigenschappen van materialen kunnen sterk frequentieafhankelijk zijn. De geluidsisolerende eigenschappen zijn voor lage tonen meestal relevant lager dan voor hoge tonen. Bij de keuze van een geluidsisolerend materiaal dient rekening te worden gehouden met het geluidemissiespectrum van de aanwezige geluidbronnen. Openingen in scheidingsconstructies omwille van leidingen, kieren, naden of kleine ventilatieopeningen kunnen dan weer voor een verminderde geluidsisolatie zorgen voor de hogere tonen.

7.4. Geluiddempers

7.4.1. Inleiding

Geluiddempers worden toegepast om geluiduitbreiding in leidingen en kanalen en geluiduitstraling door openingen te beperken. Hoewel er een grote variëteit aan geluiddempers bestaat, zijn de verschillende soorten toch terug te brengen tot enkele basistypen:

- absorptie geluiddempers;
- resonator geluiddempers;
- diffusie- of smoorgeluiddempers.

Geluiddempers kunnen ook als combinatie van de genoemde typen worden opgebouwd waardoor deze worden aangepast aan specifieke eisen van de geluidbron. Behalve de gevraagde demping kunnen deze bestaan uit toelaatbare temperatuur, lucht(gas)snelheid, drukverlies, vervuiling, eisen m.b.t. de vorm, de afmetingen, corrosiegevoeligheid, gevoeligheid voor chemische invloeden, inwerking van schimmels en bacteriën enz.

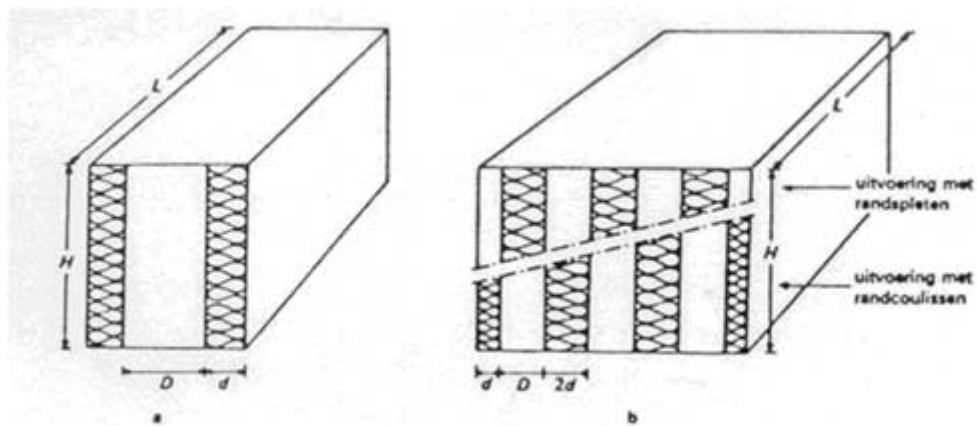
Het geluiddempend effect kan op verschillende manieren worden gemeten en door de leverancier worden opgegeven: als tussenschakelverzwakking (insertion loss, Einfügungsdämm-Masz) of als overdrachtsverzwakking (transmission loss, Durchgangsdämm-Masz).

De tussenschakelverzwakking wordt gevonden uit het verschil in geluidniveau op de plaats waar het geluid wordt waargenomen, vóór en na het aanbrengen van de geluiddemper. De overdrachtsverzwakking is gedefinieerd als het verschil in geluidvermogen tussen de ingang en de uitgang van de demper, gemeten onder condities waarbij geen geluidreflectie aan het einde van het meetkanaal optreedt, dus met een reflectievrije afsluiting. De tussenschakelverzwakking geeft het meest nauwkeurig het effect van de demper bij een concrete toepassing. Onder andere omstandigheden kan het effect daarvan verschillen. De overdrachtsverzwakking kan worden beschouwd als een dempingswaarde ongeacht de situatie. In concrete gevallen echter kan het effect daarvan verschillen ten gevolge van de specifieke eigenschappen van het desbetreffende systeem. Bij de opgaven van fabrikanten en leveranciers is vaak niet duidelijk welke waarde bedoeld is. Bij absorptie- en diffusiedempers is dat niet zo bezwaarlijk, bij volumeresonatordempers kunnen echter van geval tot geval grote verschillen in effect optreden.

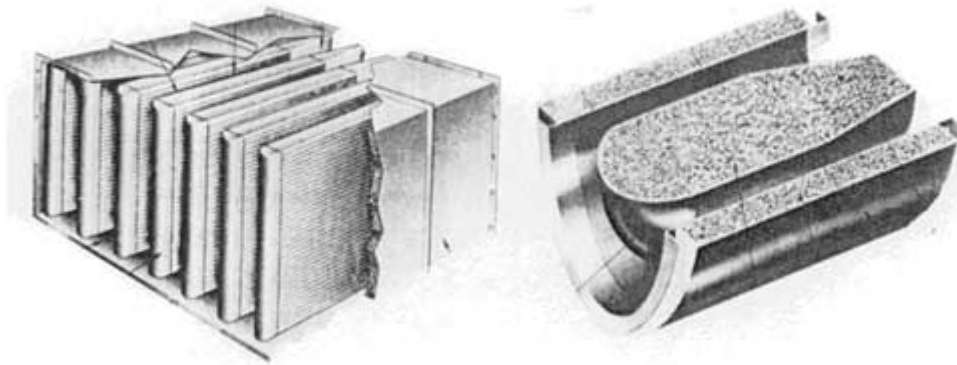
7.4.2. Absorptiegeluiddempers

Absorptiegeluiddempers zijn opgebouwd uit een kanaalstuk met inwendig een bekleding van geluidabsorberend materiaal of uitgerust met geluidabsorberende schotten, coulissen (zie figuur 7.7 en 7.8).

Voor het geluidabsorberende materiaal wordt vrijwel uitsluitend poreus materiaal gebruikt (glaswol, steenwol, e.d.). Behalve de geluidabsorptie speelt ook de luchtweerstand een rol; deze wordt bepaald door de structuur van het materiaal. Dit is vooral van belang bij geluiddempers voor lage frequenties waarin dikke lagen en coulissen worden toegepast.



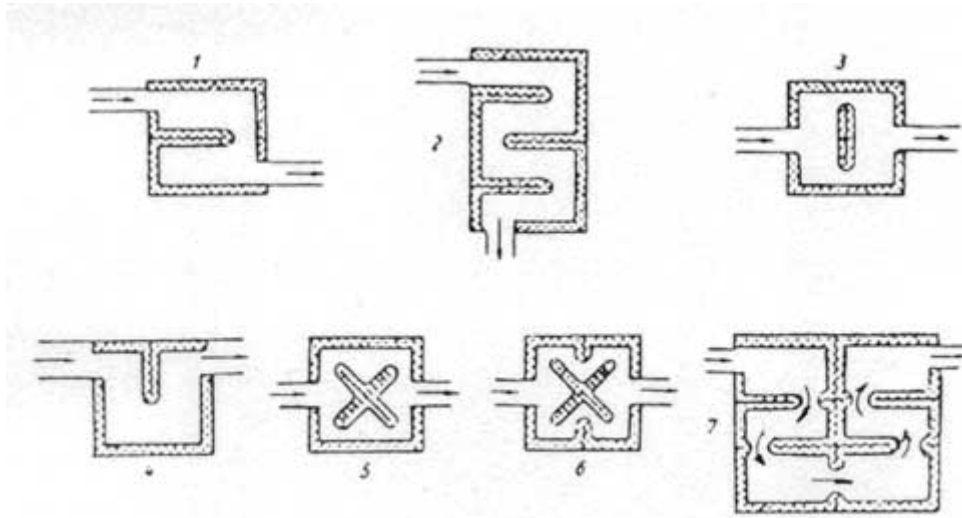
Figuur 7.7: Doorsnede coulissedemper



Figuur 7.8: Vierkante en ronde coulissedemper

7.4.3. Beklede bochten en suskasten (plenums)

Plenums of suskasten komen in allerlei vormen en afmetingen voor. In het algemeen gaat het om min of meer grote ruimten die deel uitmaken van bijvoorbeeld een luchtkanaal van een klimaatregelinginstallatie. Er behoort steeds een geluidabsorberende bekleding aanwezig te zijn en men kan het effect verhogen door een goede positie van in- en uitstroomopeningen en door het plaatsen van schotten die de vrije “doorkijk” blokkeren. Een en ander gaat ook gepaard met drukverlies dat des te groter is naarmate het aantal omwegen voor de lucht toeneemt en de luchtsnelheid groter is. In figuur 7.9 zijn enkele voorbeelden weergegeven van suskasten.



Figuur 7.9: Voorbeelden van suskasten

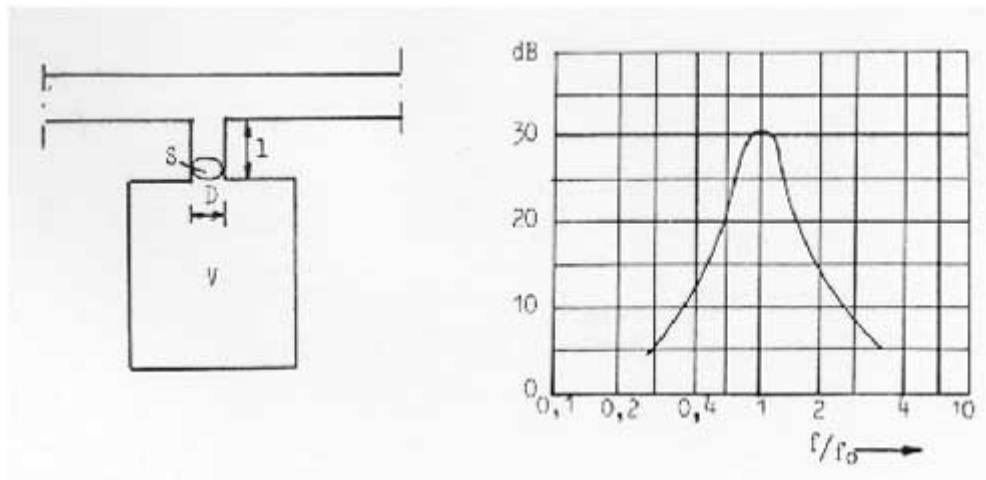
7.4.4. Resonatorgeluiddempers

Onder deze omschrijving valt een groep geluiddempers die allen één ding gemeen hebben: de aanwezigheid van een volume dat als resonatorholte fungeert. Een dergelijk systeem is afgestemd op bepaalde frequenties of frequentiegebieden waarbij energie aan de geluidgolven wordt onttrokken en verzwakking ontstaat. Enkele typen zijn:

- doorstroomde volumens;
- zijtakvolumen;
- kwartgolfleengteresonatoren.

Maatgevend voor de werking van het systeem is niet alleen de demper – het volume – zelf maar ook de aard van de geluidbron (inwendige impedantie), de leidingen vóór en achter het volume (afmetingen) en de uitmonding. Er zijn reken-schema's waarmee, met inachtneming van al deze grootheden, het effect van een resonator geluiddemper in een concrete toepassing als functie van de frequentie kan worden berekend.

Met behulp van computers kunnen dergelijke berekeningen snel worden uitgevoerd. Door variatie van de bepalende grootheden – plaats van de demper, afmetingen, samenstelling – kan met een dergelijke berekening een optimaal ontwerp worden gemaakt. Dit is overigens geen eenvoudige zaak en zal als regel door een deskundige moeten worden gedaan. De geluiddempende eigenschappen zijn meestal sterk frequentieafhankelijk en derhalve niet altijd toepasbaar. In figuur 7.10 is schematisch een resonatordemper met zijn geluiddempende karakteristiek weergegeven.

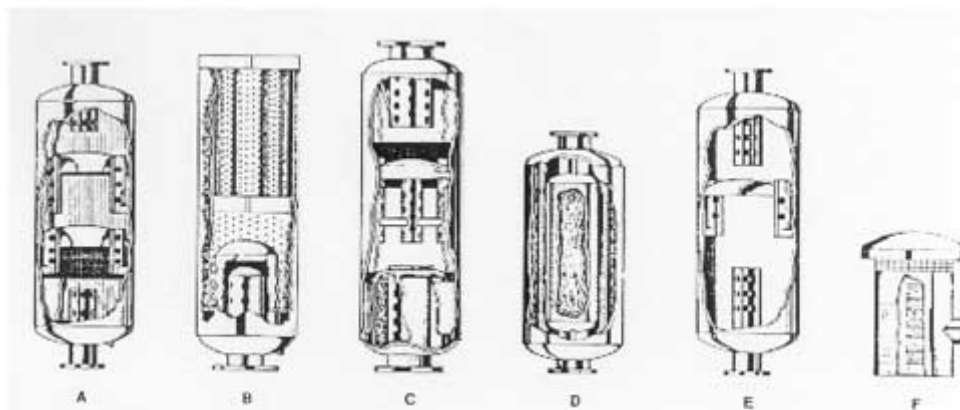


Figuur 7.10: Schematisch weergave van een resonatordemper

7.4.5. Diffusie- of smoorgeluidempers

Het karakteristieke van dit derde type geluidempers is dat het medium en het geluid door het geluiddempende element stroomt waarbij geluidenergie wordt geabsorbeerd. Dit medium is meestal lucht, gas of stoom.

Het geluiddempende element is bijvoorbeeld een geperforeerde plaat of pakket van meerdere platen danwel een laag poreus materiaal zoals staalwol, gesinterd metaal of metaalschuim. Ook toepassing met een trechter waarin zich bijvoorbeeld grindstenen bevinden, treft met wel aan. In het algemeen geldt dat de geluiddemping beter is naarmate de laag dichter is; in dezelfde mate neemt echter ook de stromingsweerstand toe. In figuur 7.11 zijn enkele voorbeelden van smoordempers weergegeven.



Figuur 7.11: Voorbeeld diffusiedempers

7.4.6. Aandachtspunten

Bij de keuze van het type en de afmetingen van de geluiddemper dient er op worden gelet dat geluidempers kunnen leiden tot een verminderd doorstromingsoppervlak. Een kleiner doorstromingsoppervlak leidt tot hogere stromingssnelheden en kunnen aanleiding geven tot stromingsgeluiden in de kanalen. Dempers leiden ook altijd tot extra drukverliezen en als gevolg daarvan tot een verminderde venti-

latie- of transportcapaciteit. De oppervlakte van de absorptiematerialen in absorptiedempers kan verminderen door vervuiling. Deze vervuiling leidt tot een lagere geluidabsorptie en dus tot lagere dempingswaarden.

7.5. Omkastingen, schermen en bedieningscabines

7.5.1. Omkastingen en cabines

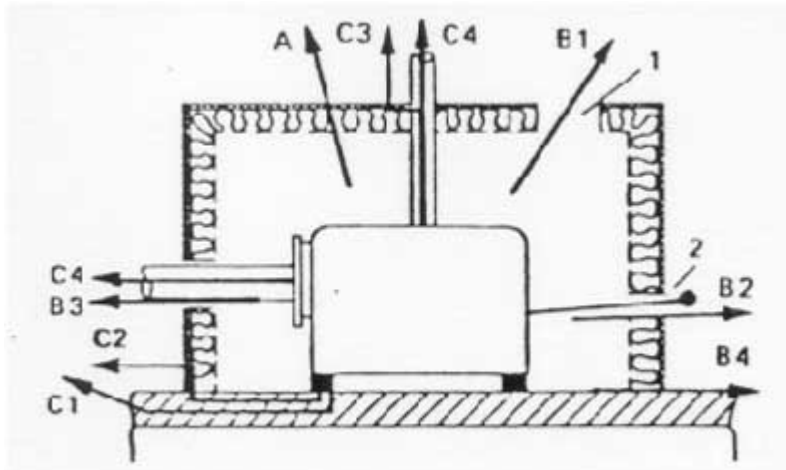
Wanneer de emissie van een geluidbron als een gegeven is geaccepteerd, kunnen de geluidniveaus op de arbeidsplaatsen in de ruimte waar de bron staat opgesteld worden verlaagd door de bron geheel of gedeeltelijk te omkassen of door een scherm tussen bron en ontvanger aan te brengen. De in de ruimte aanwezige personen kunnen ook tegen te hoge geluidniveaus worden beschermd door in plaats van de geluidbronnen de personen in geluidisolerende cabines te plaatsen. De keuze tussen de diverse mogelijke constructies zal behalve van de gewenste geluidniveauvermindering op de arbeidsplaats mede worden bepaald door overwegingen van mechanisch, thermische, bedrijfstechnische (handelbaarheid) en economische aard, alsmede de benodigde mobiliteit van de personen. Het verschil in geluiddrukkniveau op een bepaald punt ten gevolge van een wijziging in de overdrachtssituatie, bijv. het aanbrengen van een omkasting of een scherm, wordt de tussenschakelverzwakking D_t [dB] genoemd (Engels: insertion loss; Duits: Einfügungsdämm-Mass). De grootte van de tussenschakelverzwakking D_t , die dus de akoestische eigenschappen van een omkasting of scherm karakteriseert, is frequentieafhankelijk.

Dit betekent dat het op een bepaalde arbeidsplaats uiteindelijk te bereiken geluidniveau vaak mede worden bepaald door het geluid dat wordt afgestraald door de overige niet omkaste of afgeschermd geluidbronnen die in de ruimte aanwezig zijn.

Het omkassen van geluidbronnen is de meest toegepaste maatregel voor het oplossen van industriële lawaaiproblemen.

De voornaamste parameters die invloed hebben op de akoestische werking van een omkasting zijn behoudens absorptie aan de binnenzijde geluidstekken als gevolg van (zie figuur 7.12):

- de geluidisolatie van de kastwand (A);
- de geluidoverdracht door openingen en spleten (B);
- de constructiegeluidoverdracht (C).



Figuur 7.12: Geluidlekken bij een omkasting

7.5.2. Schermen, kappen en abri's

Een geluidscherm is een vrijstaande wand die als hindernis de geluiduitbreiding beïnvloedt. Schermen worden in de open lucht toegepast o.a. langs wegen, spoorlijnen en industriële installaties, ter bescherming van omwonenden. In gesloten ruimten dienen ze om het lawaai op werkplekken te verminderen. Kappen en abri's zijn bijzondere vormen van schermen.

In een vrij geluidveld vormen geluidschermen evenals lichtschermen aan de van de bron afgekeerde zijde een schaduw. De geluidschaduw is echter veel minder uitgesproken dan de optische schaduw omdat de golflengten van geluid veel groter zijn dan die van zichtbaar licht. Het geluid bereikt de schaduwzijde enerzijds via buiging en anderzijds door de overdracht via het schermvlak. Daarbij kunnen ook reflecties tegen andere vlakken in de nabijheid een rol spelen. Met uitzondering van het frequentiegebied onder 250 Hz, dat in de regel niet het hoofddoel van afschermingen is, kan de overdracht via het schermvlak, indien dit een massa heeft van tenminste 5 kg/m², praktisch worden verwaarloosd.

Voor het bepalen van de met schermen te bereiken verbeteringen wordt onderscheid gemaakt tussen schermen die op wat grotere afstand van de geluidbron zijn aangebracht (schermen in ruimten) en schermen die zich vlakbij (< 0,5 m) de geluidbron bevinden (omkappingen).

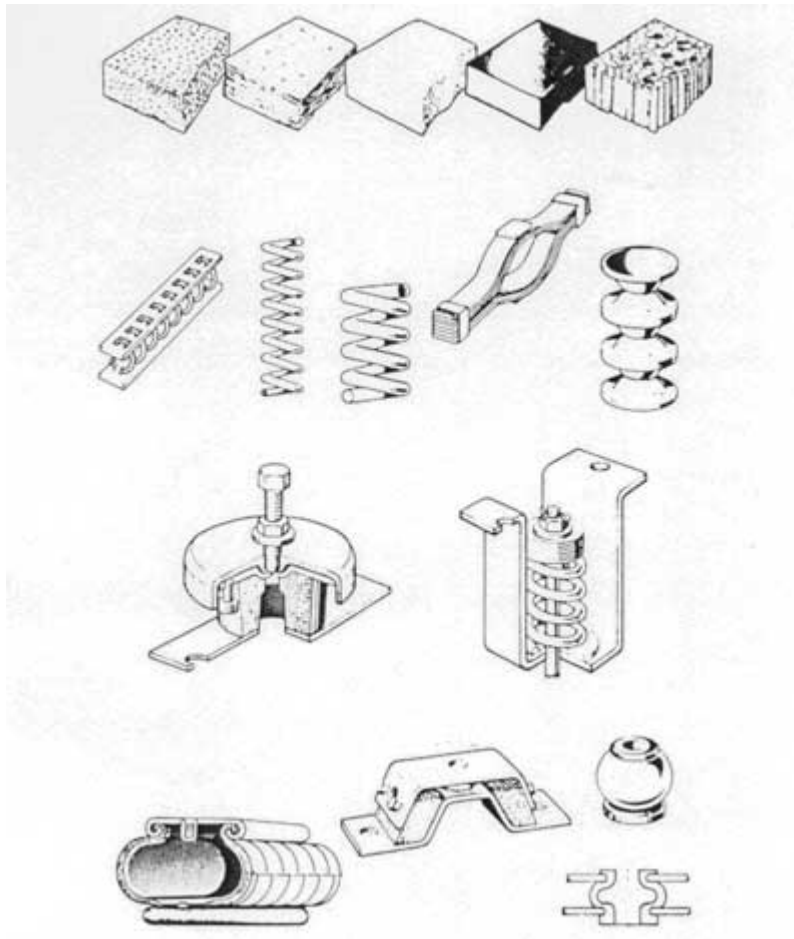
7.6. Isolatie van constructiegeluid

Het in een machine opgewekt constructiegeluid plant zich via de machineconstructie voort naar de fundatie. Het aanbrengen van vering tussen de machine en de fundatie is vaak de effectiefste maatregel om deze overdracht te beperken.

In eerste instantie wordt een machine op veren beschouwd als een ideaal massa – veersysteem met één graad van vrijheid. In werkelijkheid is het systeem veel ingewikkelder, o.a. doordat:

- de machine trilt met meer dan één vrijheidsgraad;
- de machine boven een bepaalde frequentie géén starre massa meer is;
- de veer niet ideaal is.

In figuur 7.13 zijn diverse vormen van veren weergegeven.



Figuur 7.13: Veren

Bij veel verende opstellingen wordt het effect in de praktijk begrensd door geluidoverdracht via zogenaamde “nevenwegen” (kabels, assen, slangen, begrenzers, de lucht om de machine, enz.).

De belangrijkste nevenpaden zijn de overdracht via aan de machine gekoppelde leidingen e.d. en de overdracht via de lucht. De meeste trillingbronnen zijn namelijk ook sterke geluidbronnen: de fundatie wordt niet alleen door de via de veren en de aangesloten leidingen overgedragen trillingen aangestoten, maar wordt ook in trilling gebracht door het door de machine afgestraalde luchtgeluid.

7.6.1. Ontkoppelen van leidingen

Om overdracht van trillingen via aangesloten leidingsystemen te verminderen en tevens te voorkomen dat de aansluitplaatsen van de leidingen aan de verend opgestelde machine te hoog worden belast, dienen elastische pijpverbindingen te worden aangebracht. De voornaamste eisen die aan zo’n elastische pijpverbinding worden gesteld, zijn een voldoende flexibiliteit, een kleine stijfheid en het bij de bedrijfstemperatuur bestand zijn tegen het te transporteren medium.

Elastische pijpverbindingen worden in velerlei constructies geleverd. De voornaamste zijn:

- a. Rubber-metaal constructies
- b. Met textielweefsel versterkte rubber balg constructies
- c. Metalen balg constructies

Uit het oogpunt van constructiegeluidisolatie zijn de niet-metalen materialen beter dan de metalen.

7.6.2. *Aanstraling door luchtgeluid*

De met een goed gedimensioneerde verende opstelling bereikte verbetering wordt in de praktijk vaak begrensd door de luchtgeluidoverdracht. Het trillingniveau van de vloer waarop de machine is geplaatst, wordt dan niet meer bepaald door de trillingoverdracht via de veren maar door de aanstoting van het door de machine afgestraalde geluid. Wil men in zo'n geval een grotere verbetering bereiken dan moet dus ook de luchtgeluidoverdracht worden verminderd. Dit is bijvoorbeeld mogelijk door de machine op een (beton)plaat te monteren, onder deze plaat de veren aan te brengen en de plaat te gebruiken als bodem voor een omkasting.

8. Het beslissingsprotocol

8.1. Inleiding

Bij de totstandkoming van het arboconvenant papier- en kartonindustrie (pkgv-industrie) is onduidelijkheid ontstaan omtrent de interpretatie van het begrip “stand der techniek”.

Daarom heeft Cauberg-Huygen R.I. een protocol uitgewerkt waarmee een beslissing genomen kan worden genomen omtrent het al dan niet investeren in geluidbeperkende maatregelen. In dit hoofdstuk wordt dit beslissingsprotocol beschreven.

Het protocol bestaat uit twee delen:

- Op basis van een aantal criteria wordt een zogenaamde geluidreductiefactor bepaald van de maatregelen waarover een beslissing moet worden genomen.
- Aan de hand van twee grenswaarden kan worden vastgesteld of de maatregelen al dan niet wordt uitgevoerd danwel nader onderzoek nodig is om tot een beslissing te komen.

8.2. De geluidreductiefactor (GRF)

8.2.1. De GRF-formule

De geluidreductiefactor wordt bepaald door middel van onderstaande formule:

$$GRF = \frac{\Delta L}{kfl} \cdot ET \cdot UV$$

Waarbij:

$$\Delta L = \sum_i FTE_i^* \times \Delta L_i \text{ is de gewogen gecumuleerde reductie van het}$$

geluidniveau op de arbeidsplaatsen

ΔL_i = de geluidreductie van de maatregel op arbeidsplaats i

$FTE_i^* = 0$ bij een heersend geluidniveau van 80 dB(A) of minder

$FTE_i^* = FTE_i \times GN_i$ bij een heersend geluidniveau van 80 dB(A) of meer

$$GN_i = 10^{\frac{(L_{p,i} - L_{p,ref})}{10}} \text{ (zie voor uitleg paragraaf 8.2.2. e.v.)}$$

FTE_i = het betrokken aantal FTE's op basis van een arbeidsduur van 8 uur per dienst op de arbeidsplaats i

ET is de gangbaarheid van de maatregel

ET = 1 voor maatregelen die zelden elders worden toegepast;

ET = 1.15 voor maatregelen die regelmatig elders worden toegepast;

ET = 1.25 voor maatregelen die vaak elders worden toegepast.

UV is de uitvoerbaarheid van de maatregel

UV = 1 voor maatregelen die moeilijk uitvoerbaar zijn;

UV = 1.25 voor maatregelen die normaal uitvoerbaar zijn.

Kfl betreft de kosten van de maatregel in duizenden guldens.

8.2.2. *Achtergrond en verantwoording*

ΔL

Uitgangspunt: Een maatregel met een geluidreductie van bijvoorbeeld 10 dB op 1 arbeidsplaats wordt op dezelfde wijze beoordeeld als 2 andere maatregelen met elk een geluidreductie van ieder 5 dB op 1 arbeidsplaats of een maatregel met een geluidreductie van 5 dB op 2 arbeidsplaatsen.

In het protocol wordt de effectiviteit van een maatregel beschouwd op basis van:

- het heersende geluidniveau op de arbeidsplaats² (GN_i) (zie verder);
- het akoestisch effect van de maatregelen op 1 arbeidsplaats (ΔL_i);
- het aantal werknemers op 1 arbeidsplaats (FTE_i).

De akoestische effecten van de verschillende arbeidsplaatsen worden numeriek opgeteld waarbij het aantal FTE's als weegfactor geldt:

$$\Delta L = \sum_i FTE_i \bullet \Delta L_i \quad (\text{gecumuleerde geluidreductie})$$

Eventuele geluidtoenames (bijvoorbeeld door reflecties) worden als een negatieve ΔL_i in de berekening betrokken.

GN_i

Uitgangspunt: Een maatregel met een geluidreductie op een arbeidsplaats waar een hoger geluidniveau heerst krijgt een betere score dan een maatregel met een zelfde geluidreductie op een arbeidsplaats met een lager heersend geluidniveau

De gewichten die aan de geluidniveaus zijn toegekend, zijn gebaseerd op de risico-dosisrelatie die binnen de Arboret- en -regelgeving wordt gehanteerd: "*het risico op gehoorschade verdubbelt bij een verhoging van het geluidniveau met 3 dB*". Deze risico-dosisrelatie en derhalve ook het gewicht dat wordt toegekend aan het geluidniveau (GN_i) kan als volgt worden geformuleerd:

$$GN_i = 10^{\frac{(L_{p,i} - L_{p,ref})}{10}}$$

² Met arbeidsplaats wordt bedoeld: het gehele werkgebied waarbinnen een medewerker zijn arbeid verricht; binnen dit werkgebied kunnen weliswaar verschillende geluidniveaus optreden (tijds- en plaatsafhankelijkheid van het geluid). Met het heersende geluidniveau op 1 arbeidsplaats wordt het exposure level ($L_{EX,T}$) van de werknemer bedoeld. Het akoestisch effect van een maatregel is de vermindering van het exposure level als gevolg van deze maatregel.

Waarbij: $L_{p,i}$ het heersende geluidniveau is op arbeidsplaats i ;
 $L_{p,ref}$ het geluidniveau is waarbij de gewichtsfactor = 1 (referentieniveau)

Als $L_{p,ref}$ is 83 dB(A) gekozen.

(vereenvoudigde methode)

De gewichten voor de geluidniveaus van 80 dB(A) en minder worden gelijk aan nul gesteld. In navolgende tabel 8.1 zijn de gewichten GN_i per geluidniveau weergegeven.

$L_{p,i}$	GN_i	$L_{p,i}$	GN_i
≤ 80	0.0	90	5.0
81	0.6	91	6.3
82	0.8	92	7.9
83	1.0	93	10.0
84	1.3	94	12.6
85	1.6	95	15.8
86	2.0	96	20.0
87	2.5	97	25.1
88	3.2	98	31.6
89	4.0	99	39.8
90	5.0	100	50.1

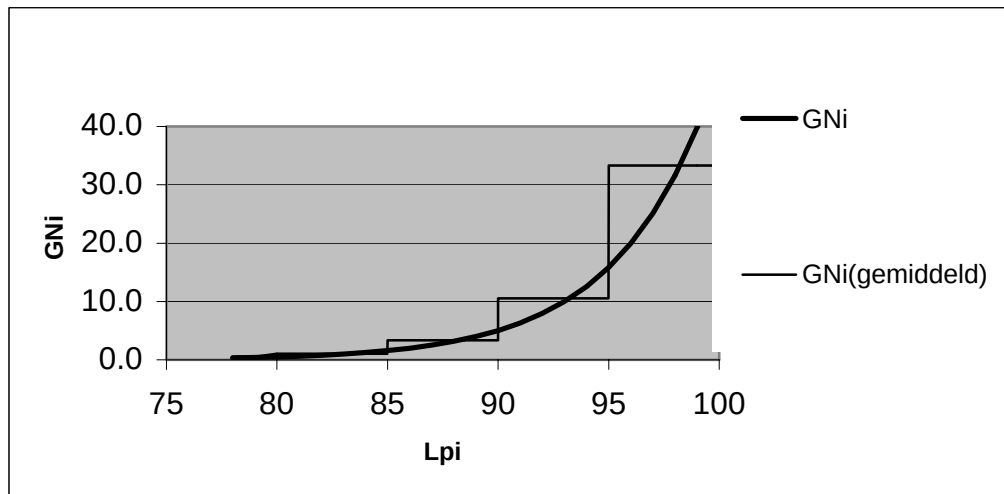
Tabel 8.1: Gewichten GN_i per geluidniveau $L_{p,i}$

In navolgende tabel 8.2 zijn de gewichten GN_i per geluidklasse bepaald:

Geluidklasse	$GN_i(*)$
< 81 dB(A)	0
81 – 85 dB(A)	1.1
86 – 90 dB(A)	3.3
91- 95 dB(A)	10.5
> 95 dB(A)	33

Tabel 8.2: Weegfactoren GN_i per geluidklasse

(*) numeriek gemiddelde van de GN_i 's binnen in de geluidklasse.



Figuur 8.1: Weegfactoren GN_i

De voorgestelde gewichten van de geluidniveaus kunnen als volgt worden beschouwd: het investeren van f 1,-- bij een geluidniveau van 83 dB(A) is gelijkwaardig aan het investeren van f 2,-- bij een geluidniveau van 86 dB(A), respectievelijk f 5,-- bij een geluidniveau van 90 dB(A), f 20,-- bij een geluidniveau

96 dB(A), enz.

UV

Uitgangspunt: een maatregel die gemakkelijk uitvoerbaar is krijgt een hogere GRF-score dan een maatregel die moeilijk uitvoerbaar is.

De weegfactor van UV varieert van 1 tot 1.25. De achterliggende gedachte hierbij is dat een maatregel die moeilijk uitvoerbaar is, doch 25% minder kost, gelijkwaardig is aan een maatregel die normaal uitvoerbaar is.

De uitvoerbaarheid van een maatregel behelst twee aspecten: de technische uitvoerbaarheid en de operationele uitvoerbaarheid. Beide aspecten dienen bij de afweging van het aspect uitvoerbaarheid te worden betrokken.

De technische uitvoerbaarheid heeft betrekking op het invullen van de akoestisch-technische randvoorwaarden (kierdichtingen, gewicht/dikte van materialen, afmetingen, maximale openingen, ...), de constructietechnische aspecten (belasting en/of doorbuiging van constructies,) en indien van toepassing ventilatietechnische randvoorwaarden (drukverliezen, stroomsnelheden, ...).

De operationele uitvoerbaarheid heeft dan weer betrekking op de gevolgen van de maatregel voor het productieproces. Hierbij valt te denken aan kwaliteits- of kwantiteitsverliezen, onderhoud, e.d.

Teneinde beide aspecten van de uitvoerbaarheid op een evenwichtige wijze te betrekken bij de afweging van de maatregel kan er eventueel voor worden gekozen om de 'score' voor UV op te splitsen in:

$$UV = UV_t * UV_o$$

Waarbij: UV_t : de technische uitvoerbaarheid;
 $UV_t = 1$ als de maatregel technisch moeilijk uitvoerbaar is;
 $UV_t = 1.12$ als de maatregel technisch normaal uitvoerbaar is;
 UV_o : de operationele uitvoerbaarheid;
 $UV_o = 1$ als de maatregel operationeel moeilijk uitvoerbaar is;
 $UV_o = 1.12$ als de maatregel operationeel normaal uitvoerbaar is.

ET

Uitgangspunt: een maatregel die elders vaak wordt toegepast krijgt een hogere GRF-score dan een maatregel die elders niet vaak wordt toegepast.

De weegfactor van ET varieert van 1 tot 1.25. De achterliggende gedachte hierbij is dat een maatregel die elders weinig wordt toegepast, doch 25% minder kost, gelijkwaardig is aan een maatregel die elders frequent wordt toegepast.

Het referentiekader voor het beoordelen van de toepasbaarheid van een maatregel is onderstaand gedetailleerd. Deze detaillering leidt tot een objectieve beoordeling van de toepasbaarheid van een maatregel. Het volgende referentiekader wordt hierin gehanteerd:

1. Van gebouwgebonden installaties (binnenklimaatinstallaties e.d.) en procesondersteunende installaties (compressoren, centrale afzuigingen e.d.) die niet specifiek zijn voor de branche geldt als referentiekader: alle bedrijven in Nederland.
2. Van de overige installaties kan worden verondersteld dat ze in mindere of meerdere mate specifiek zijn voor de branche en wordt de gehele branche als referentiekader voorgesteld.

8.3. Grenswaarden

In het kader van dit protocol worden de onderstaande grenswaarden gehanteerd:

Kfl in duizenden guldens:

GRF < 3.4: maatregel niet toepassen;
GRF > 3.4 en GRF < 4: nader onderzoeken;
GRF > 4: maatregel wel toepassen.

Kfl in duizenden euro's:

GRF < 7.5: maatregel niet toepassen;
GRF > 7.5 en GRF < 8.8: nader onderzoeken;
GRF > 8.8: maatregel wel toepassen.

Deze grenswaarden dienen, indien noodzakelijk, nog nader te worden verfijnd op basis van uitgebreider onderzoek van maatregelen waarbij dit beslissingsprotocol wordt toegepast. Vooralsnog worden genoemde grenswaarden aangehouden.

Eventuele aanpassingen van de grenswaarden zullen door de branche begeleidingscommissie worden uitgevoerd, na indiening van de geluidssaneringsplannen per bedrijf.

8.4. Randvoorwaarden

Het beslissingsprotocol is een cruciaal onderdeel van het arboconvenant van de pkgv-industrie. Er moet echter voor worden gewaakt dat het protocol niet ondoordacht wordt toegepast. Een aantal randvoorwaarden dient in acht te worden genomen:

1. Het protocol is niet bedoeld om risicoarbeidsplaatsen aan te merken en verliest zijn kracht indien een onvoldoende aantal maatregelen wordt beschouwd

Het protocol is slechts een onderdeel van een uitgebreid evaluatieproces. Voordat het protocol kan worden toegepast dienen eerst aan de hand van een risicoinventarisatie en –evaluatieonderzoek de arbeidsplaatsen te worden aangemerkt die voor geluidvermindering in aanmerking komen. Vervolgens moet per risicoarbeidsplaats een voldoende groot aantal maatregelen (> 3) en maatregelvarianten worden onderzocht. Nadat deze informatie bekend is kan aan de hand van het protocol een beslissing worden genomen omtrent welke maatregel op de aangemerkte risicoarbeidsplaats bij voorkeur wordt toegepast.

2. Er zijn altijd uitzonderingen op de regel

Het is de bedoeling om het protocol zo breed mogelijk toe te passen. Dit protocol leent zich daar ook toe. Het blijft echter noodzakelijk om voor maatregelen die op basis van het protocol een duidelijke beslissing meekrijgen die niet strookt met de objectieve realiteit als uitzonderingssituatie te beschouwen.

3. Het protocol is niet goed geschikt voor maatregelen met een marginale geluidreductie (< 1 dB) die daarenboven weinig kosten ($< f 1000$)

Bij dergelijke maatregelen is de verhouding $\Delta L/kfl$ en derhalve ook het resultaat van het protocol zonder veel betekenis.

8.5. Voorbeelden

Hiernavolgend is het beslissingsprotocol toegepast op rekenvoorbeelden uit hoofdstuk 5 en 6.

8.5.1. Voorbeeld 1

Bron- c.q. ontvangermaatregel

In dit voorbeeld wordt gesteld dat 8 FTE's op de arbeidsplaats werkzaam zijn en dat de betreffende maatregel die een reductie van 3 dB bewerkstelligt 10.000,- kost. De maatregel wordt regelmatig elders toegepast en is moeilijk uitvoerbaar. De te bepalen grootheden teneinde de GRF te bepalen staan in onderstaande tabel.

Arbeidsplaats	A1
Verblijfstijd werknemer [uur]	8
Bedrijfsduur [uur]	8
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	82
Geluidreductie ten gevolge van maatregel	3
Tijdcorrectiefactor [dB]	0
Partiële dosis [dB(A)]	79
Dagdosis [dB(A)]	79
Aantal FTE's op arbeidsplaats i	8
GN_i	0.8
FTE_i^*	6.4
$FTE_i^* \times \Delta L_i$	19.1
ΔL	19.1
Kosten maatregel [duizenden guldens] Kfl	10
ET (gangbaarheid: 1; 1.15 of 1.25)	1.15
UV (uitvoerbaarheid: 1 of 1.25)	1
Geluidreductiefactor GRF	2.2

Tabel 8.3: Berekening GRF bron- of ontvangermaatregel – voorbeeld 1

Volgens het beslissingsprotocol betekent een GRF kleiner dan 3.4 dat de maatregel in principe niet wordt uitgevoerd.

Organisatorische maatregel

Zoals in het voorbeeld reeds aangetoond, zal de verkorting van de bedrijfsduur van 8 naar 4 uur een reductie van 3 dB op de dagdosis tot gevolg hebben. In rekenvoorbeeld 2 wordt ook uitgegaan van 8 FTE's, de maatregel wordt regelmatig elders toegepast en is moeilijk uitvoerbaar. Het verschil met de vorige berekening is echter dat deze maatregel slechts f 5.000,- kost. In onderstaande tabel 8.4 is de berekening van GRF opgenomen.

Arbeitsplaats	A1
Verblijfstijd werknemer [uur]	8
Bedrijfsduur [uur]	8
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstd machine	82
Geluidreductie ten gevolge van maatregel	3
Tijdcorrectiefactor [dB]	0
Partiële dosis [dB(A)]	79
Dagdosis [dB(A)]	79
Arbeitsplaats	A1
Aantal FTE's op arbeidsplaats i	8
GN_i	0.8
FTE_i^*	6.4
$FTE_i^* \times \Delta L_i$	19.1
ΔL	19.1
Kosten maatregel [duizenden guldens] Kfl	5
ET (gangbaarheid: 1; 1.15 of 1.25)	1.15
UV (uitvoerbaarheid: 1 of 1.25)	1
Geluidreductiefactor GRF	4.4

Tabel 8.4: Berekening GRF organisatorische maatregel – voorbeeld 1

Uit deze berekening volgt $GRF = 4.4$. In dit voorbeeld betekent een maatregel die 5.000 in plaats van 10.000 gulden kost en die dezelfde geluidreductie tot gevolg heeft een GRF van meer dan 4 veroorzaakt. Volgens het beslissingsprotocol dient te maatregel te worden uitgevoerd.

8.5.2. Voorbeeld 2

Bronmaatregel

Als voorbeeld wordt genomen dat op beide plaatsen 4 FTE's werkzaam zijn, de maatregel aan de bron op arbeidsplaats 1 f 22.500,- kost, zelden ergens anders wordt toegepast en moeilijk uitvoerbaar is.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfstijd werknemer [uur]	4	4
Bedrijfsduur [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	86	79
Geluidreductie bron	10	0
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	3
Partiële dosis [dB(A)]	73	76
Dagdosis [dB(A)]	78	
Aantal FTE's op arbeidsplaats i	4	4
GN_i	2.0	0.0
FTE_i^*	8.0	0.0
$FTE_i^* \times \Delta L_i$	79.8	0.0
ΔL	79.8	
Kosten maatregel [duizenden guldens] Kfl	22,5	
ET (gangbaarheid: 1; 1.15 of 1.25)	1	
UV (uitvoerbaarheid: 1 of 1.25)	1	
Geluidreductiefactor GRF	3.5	

Tabel 8.5: Berekening GRF bronmaatregel - voorbeeld 2

Opgemerkt wordt dat de geluidssituatie op arbeidsplaats A2 niet moet worden meegewogen bij de bepaling van GRF. Deze maatregel leidt immers niet tot een vermindering van de geluidsniveaus op arbeidsplaats 2, daarenboven zijn de geluidsniveaus op arbeidsplaats al minder dan 80 dB(A).

Uit deze berekening volgt een GRF van 3.5 wat betekent dat dit specifiek geval de kostenefficiëntie van de maatregel nader onderzocht zal moeten worden.

Ontvangermaatregel

In dit geval wordt uitgegaan van een geluidreductie van 5 dB nabij de ontvanger. Deze wordt gerealiseerd middels een maatregel bij de ontvanger (kosten: f 5.000,-). Er wordt vanuit gegaan dat de maatregel normaal uitvoerbaar is en regelmatig elders wordt toegepast.

Arbeitsplaats	A1	A2
Verblijfstijd werknemer [uur]	4	4
Bedrijfsduur [uur]	4	4
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	86	79
Geluidreductie ontvanger	5	5
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	3
Partiële dosis [dB(A)]	78	71
Dagdosis [dB(A)]	79	
Aantal FTE's op arbeidsplaats i	4	4
GN_i	2.0	0.0
FTE_i^*	8.0	0.0
$FTE_i^* \times \Delta L_i$	39.9	0.0
ΔL	39.9	
Kosten maatregel [duizenden guldens] Kfl	5	
ET (gangbaarheid: 1; 1.15 of 1.25)	1.25	
UV (uitvoerbaarheid: 1 of 1.25)	1.25	
Geluidreductiefactor GRF	12.5	

Tabel 8.6: Berekening GRF ontvangermaatregel - voorbeeld 2

Voor deze situatie betekent een gangbare, makkelijke maatregel een GRF van 12.5. Deze maatregel dient derhalve te worden uitgevoerd.

8.5.3. Voorbeeld 3

Bronmaatregel

In eerste instantie wordt uitgegaan van maatregelen (bijvoorbeeld een geluiddemper) aan machine M1. Ten gevolge van deze maatregel wordt het geluidniveau L_{Aeqw} vanwege deze bron met 5 dB gereduceerd. Op iedere arbeidsplaats zijn 4 FTE's werkzaam. De maatregel wordt zelden ergens anders toegepast en is moeilijk uitvoerbaar. De kosten worden geraamd op f 20.000,-. We krijgen nu:

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	1
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Geluidreductie ten gevolge van maatregel [dB]	5	0	0	0
Geluidniveau L_{Aeqw} inclusief maatregel [dB(A)]	80	88	82	70
Tijdcorrectiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	77	79	76	61
Dagdosis [dB(A)]	82			
Aantal FTE's op arbeidsplaats i	4	4	4	4
GN_i	1.6	3.2	0.8	0.0
FTE_i^*	6.3	12.6	3.2	0.0
$FTE_i^* \times \Delta L_i$	31.7	0.0	0.0	0.0
ΔL	31.7			
Kosten maatregel [duizenden guldens] Kfl	20			
ET (gangbaarheid: 1; 1.15 of 1.25)	1			
UV (uitvoerbaarheid: 1 of 1.25)	1			
Geluidreductiefactor GRF	1.6			

Tabel 8.7: Berekening GRF maatregel aan bron M1 – voorbeeld 3

Ondanks de heersende geluidniveaus vanwege de machines M2 en M3 (meer dan 80 dB(A)) moeten de geluidssituaties van deze werkzaamheden niet betrokken worden bij de bepaling van GRF: de beschouwde maatregel heeft immers geen invloed op de geluidniveaus tijdens deze werkzaamheid.

In dit voorbeeld bedraagt de GRF 1.6 (<3.4) hetgeen betekent dat volgens het beslissingsprotocol de maatregel in principe niet uitgevoerd behoeft te worden.

Ontvangermaatregel

In een tweede rekenvoorbeeld wordt het effect van de geluidafscherming bij de ontvanger geëvalueerd. In het rekenvoorbeeld wordt verondersteld dat door het bouwen van een geluidarme bedieningsruimte de geluidniveaus van alle machines op arbeidsplaats 1 met 10 dB verminderen. Net zoals in de vorige berekening wordt er vanuit gegaan dat deze maatregel zelden ergens anders wordt toegepast, moeilijk uitvoerbaar is en circa f 20.000,- zal kosten.

Arbeitsplaats	A1		A2	
Verblijfstijd werknemer [uur]	5		3	1
Machine	M1	M2	M3	-
Bedrijfsduur [uur]	4	1	2	1
Geluidniveau L_{Aeqw} [dB(A)] tijdens verblijf werknemer en bedrijfstijd machine	85	88	82	70
Geluidreductie ten gevolge van maatregel [dB]	10		0	0
Geluidniveau L_{Aeqw} inclusief maatregel [dB(A)]	75	78	82	70
tijdcorrectiefactor [dB]	3	9	6	9
Partiële dosis [dB(A)]	72	69	76	61
Dagdosis [dB(A)]	78			
Aantal FTE's op arbeidsplaats i	4	4	4	4
GN_i	1.6	3.2	0.8	0.0
FTE_i^*	6.3	12.6	3.2	0.0
$FTE_i^* \times \Delta L_i$	63.4	126.5	0.0	0.0
ΔL	189.9			
Kosten maatregel [duizenden guldens] Kfl	20			
ET (gangbaarheid: 1; 1.15 of 1.25)	1			
UV (uitvoerbaarheid: 1 of 1.25)	1			
Geluidreductiefactor GRF	9.5			

Tabel 8.8: Berekening GRF ontvangermaatregel – voorbeeld 3

Uit bovenstaande tabel 8.8 blijkt dat de GRF nu 9.5 bedraagt. De maatregel dient derhalve te worden uitgevoerd. Het grote verschil in GRF tussen deze en de vorige berekening (voor dezelfde situatie) is toe te schrijven aan het feit dat meer FTE's een geluidreductie 'ontvangen' dat de reductie nu 10 in plaats van 5 dB is.

9. Implementatie van maatregelen

9.1. Inleiding

Nadat, mede aan de hand van het beslissingsprotocol, een besluit is genomen over de geluidreducerende maatregelen die binnen het bedrijf uitgevoerd gaan worden, kan het “invoeringstraject maatregelen” worden ingezet. Tijdens dit invoeringstraject blijft de betrokkenheid van de arbocoördinator noodzakelijk: niet alleen de keuze van de maatregelen is belangrijk, ook het verlenen van uitvoeringsopdrachten aan externe partijen en het begeleiden tijdens de eigenlijke implementatiefase is van cruciaal belang voor het behalen van het beoogde resultaat.

In de beschrijving van dit uitvoeringstraject komen vragen aan de orde zoals:

- hoe moet de actuele akoestische situatie worden vastgelegd;
- hoe moeten de geluidgegevens worden vertaald naar offerteaanvragen bij leverancier;
- hoe offertes van leveranciers evalueren en beoordelen;
- hoe de implementatie van maatregelen begeleiden/opvolgen;
- hoe de akoestische resultaten verifiëren.

9.2. De actuele geluidsituatie (nulmeting)

Om te voorkomen dat men achteraf geconfronteerd wordt met geluidreducties die niet aan het beoogde resultaat voldoen, is het noodzakelijk dat de geluidspecificaties ontegenzeggelijk en verifieerbaar zijn gedefinieerd in de opdrachten aan externe leveranciers.

(vereenvoudigde methode)

Leg de geluidproductie van de machine vast in een geluidsituatie van de bedrijfsruimte waarbij alle andere hoorbare geluidbronnen zijn uitgeschakeld en enkel de te onderzoeken machine in bedrijf is. Meet het geluidniveau op (een) gedefinieerde positie(s) ten opzichte van de machine en onder verifieerbare bedrijfsparameters van deze machine. Na uitvoering van de geluidreducerende maatregelen worden op deze posities en onder dezelfde bedrijfs- en omgevingsparameters hernieuwde metingen uitgevoerd en kan het akoestisch effect van de uitgevoerde maatregelen worden bepaald. Het akoestisch effect wordt vergeleken met de gemaakte afspraken met de leverancier en kunnen eventuele vervolgstappen worden ondernomen.

Dit betekent dat de actuele geluidproductie van een machine (geluidbron) of een onderdeel ervan bekend moet zijn. Niet alleen de hoogte van het geluidniveau is hierbij van belang maar tevens de omstandigheden waaronder dit niveau is bepaald en de locatie waar deze geluidniveaus zijn gemeten. Hierbij valt te denken aan de machinesnelheid, het soort product dat gefabriceerd werd, welke andere geluidbronnen in bedrijf waren en dergelijke.

Bij het vaststellen van de actuele geluidsituatie dient bijzonder aandacht te worden besteed aan de niveaus van de stoorgeluiden en de akoestische complexiteit van de machine.

9.2.1. De niveaus van stoorgeluiden

Het bepalen van de actuele geluidproductie van een geluidbron die voor geluidreducerende maatregelen in aanmerking komt, dient bij voorkeur te geschieden in een situatie met weinig stoorgeluid. Binnen de normale werktijden van een bedrijf is een dergelijke situatie met weinig stoorgeluid soms niet te realiseren en zal vaak na werktijd of in het weekend moeten worden uitgevoerd.

(specialistische methode)

Als geen situatie kan worden gecreëerd om geluidniveaus vast te stellen met een voldoende laag achtergrondgeluid (bijvoorbeeld bij een volcontinue productie) dienen bijzondere meettechnieken te worden toegepast. Voorbeelden van bijzondere meettechniek zijn de zogenaamde aan/uit-methode en referentiemethode.

De aan-uitmethode

Bij deze methode wordt op een bepaalde positie eerst een geluidmeting uitgevoerd met de ter zake doende geluidbron in bedrijf en vervolgens een tweede meting op dezelfde positie met de geluidbron uitgeschakeld. Bij deze laatste meting wordt het geluidniveau gemeten dat op de meetpositie heerst ten gevolge van de stoorbronnen. Uit het verschil van beide metingen kan de geluidbijdrage van de geluidbron terzake worden bepaald. Deze meetmethode is voldoende nauwkeurig mits we te maken hebben met een redelijk constant stoorniveau (continu karakter en weinig in de tijd variërend). Bedenk wel dat na uitvoering van de maatregel, de betreffende bron niet meer dominant kan zijn en het effect van de maatregel, met de aan-uitmethode, niet meer of onnauwkeurig kan worden bepaald.

De referentiemethode

Deze methode houdt in dat de geluidbijdrage van de machine wordt bepaald in een referentiepunt op een kortere afstand bij de machine (korter dan de afstand tot de werkplek) waar hogere geluidniveaus van de betreffende machine optreden. Bij deze methode moet erop gelet worden dat de geluidafstraling van de machine naar het gekozen referentiemeetpunt representatief is voor de geluidafstraling van de machine naar de betreffende arbeidsplaats. Deze meetmethode is minder nauwkeurig dan de aan-uitmethode omdat de informatie over de geluidbijdrage van het stoorniveau ontbreekt. Doordat de meting dicht bij de machine (hoger geluidniveau van de machine zelf) wordt uitgevoerd kan de invloed van het stoorklawaai minder belangrijk c.q. verwaarloosbaar worden. Ook bij de referentiemethode dient het stoorklawaai redelijk constant te zijn (continu karakter en weinig in de tijd variërend) teneinde een voldoende nauwkeurige meting te kunnen doen.

Na uitvoering van de maatregel echter, kan de betreffende bron niet meer dominant kan zijn en kan het effect van de maatregel, met de referentiemethode, niet meer of onnauwkeurig kan worden bepaald.

9.2.2. De akoestische complexiteit van de machines

Een akoestisch eenvoudige machine is een machine waarvan de geluiduitstraling eenvoudig is te omschrijven. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan een ventilator eventueel toerengeregeld. De akoestische situatie van de geluidbron wordt eenduidig bepaald door het toerental van deze ventilator.

Een akoestisch complexe machine is een machine waarbij de geluidproductie afhangt van een veelheid van factoren. Een akoestisch complexe machine omvat meestal meerdere geluidbronnen die niet afzonderlijk kunnen functioneren of waarvan de geluidproductie mede afhankelijk is van het type product dat op de machine wordt gemaakt.

Voor akoestisch complexe machines dient nauwkeurig te worden vastgelegd onder welke machineomstandigheden de geluidproductie in de actuele situatie (zonder maatregelen) is gemeten. Indien na uitvoering van de geluidreducerende maatregel(en) het geluidreducerend effect wordt gecontroleerd door middel van geluidmetingen, moeten deze metingen uiteraard onder dezelfde machine/product-instellingen worden uitgevoerd als waaronder de nulmeting is geschied. De machineomstandigheden moeten derhalve ontegenzeggelijk en verifieerbaar zijn gedefinieerd.

Overleg met de machinebediende is hierbij meestal van groot belang.

Hierbij valt te denken aan:

- de machinesnelheid (producten per minuut);
- het soort product (eventueel productnaam);
- de optionele productieonderdelen;
- de onderhoudsstaat van de machine.

9.3. Offertes aanvragen

De offerteaanvraag voor een geluidreducerend product bij leverancier dient vergezeld te gaan van een geluidspecificatie waarin de navolgende opgaves worden gedaan:

1. Actuele geluidssituatie

- opgave van de actuele geluidbijdrage op de arbeidsplaats van enkel deze machine (zonder maatregelen);
- de positie van de arbeidsplaats dient nauwkeurig te worden omschreven en bij voorkeur vergezeld te gaan van een tekening (bijv. plattegrond op schaal) waarop deze positie en de ligging van de machine is aangegeven;
- opgave van de bedrijfstoestand van de machine, bij regelbare snelheid bijvoorbeeld het toerental of het aantal producten per tijdeenheid; bij akoestisch complexe machines dienen alle parameters die relevant zijn voor de geluidemissie te worden vastgelegd;
- opgave eengetalswaarde van het actuele geluidniveau (b.v. 87 dB(A));
- opgave van het octaafbandspectrum (63 – 8000 Hz) behorende bij deze eengetalswaarde. Hierbij dient duidelijk te worden vermeld of de geluidwaarden in de diverse frequentiebanden in dB of in dB(A) zijn opgenomen.

2. *Gewenste geluidreductie*

- opgave van de gewenste minimale geluidreductie van het te leveren product (bijv. 10 dB(A));
- de leverancier dient in zijn offerte opgave te doen van de daadwerkelijke geluidreductie van zijn product, inclusief een opgave van het maximale geluidniveau op de arbeidsplaats van de betreffende machine, na installatie van zijn product (opgave eengetalswaarde in dB(A), plus het bijbehorende spectrum (63 – 8000 Hz) met vermelding van de waarden in dB of in dB(A));
- verzoek een leverancier te allen tijde om tevens een aanbieding te doen voor alternatieven die akoestisch beter en slechter zijn dan de gevraagde geluidreductie.

3. *Verificatie geluidspecificaties*

- de leverancier dient de geluidproductie van de machine (na installatie van het geluidreducerend product) niet alleen te specificeren, maar ook te garanderen dat de opgegeven geluidproductie niet wordt overschreden;
- opgave van hoe de verificatie zal plaatsvinden (in dit geval onder dezelfde omstandigheden als de geluidmeting in de actuele situatie (zonder maatregel)).

4. *Sancties indien niet voldaan wordt aan de geluidspecificaties*

- bij niet voldoen aan de door de leverancier opgegeven geluidreductie zullen de navolgende sancties worden uitgevoerd.

5. *Onderhoud en consequenties van de akoestische voorziening*

- verzoek een leverancier te allen tijde om een opgaaf te doen welk onderhoud gepleegd moet worden aan de voorziening: vervanging absorptiemateriaal, ...
- verzoek de leverancier tevens om bijzondere bedrijfsomstandigheden kenbaar te maken waarbinnen de akoestische voorziening effectief blijft: luchtvochtigheid, temperatuur, luchtkwaliteit, ...
- vraag eveneens naar technische gevolgen van de voorziening: b.v. drukverliezen bij dempers, ...

9.4. Offertes evalueren en beoordelen

Offertes van akoestische voorzieningen bieden zelden exact aan hetgeen is gevraagd. Het aanbod aan akoestische voorzieningen is immers zo uiteenlopend en de akoestische effecten van al deze mogelijkheden verschillen van type tot type en van leverancier tot leverancier. Het is derhalve absoluut noodzakelijk om te controleren of de akoestische kwaliteit van het aangeboden min of meer overeenstemt met hetgeen is gevraagd. Denk hierbij in hoofdzaak aan:

- Controle van de offerte of voldaan is aan de gewenste geluidspecificaties zoals vermeld in de offerteaanvraag;

- Ga na of met de aangeboden geluidreducerende maatregel geen nieuwe geluidbronnen aangeboden worden.
(bijvoorbeeld: de geluidreducerende maatregel omvat het plaatsen van een omkasting om de machine, waarbij in verband met de warmteafvoer een afzuigventilator geïnstalleerd gaat worden. Deze ventilator is gedacht op een plaats verder van de machine en heeft qua geluidproductie geen invloed op de betreffende arbeidsplaats. Bedenk hierbij dan dat de geluidproductie van de ventilator wel van invloed kan zijn op andere arbeidsplaatsen en/of op de geluiduitbreiding van de inrichting naar de omgeving (hier gelden ook eisen, bijv. geluideisen in het kader van de Wet milieubeheer));
- Is in de aangeboden maatregel rekening gehouden met bereikbaarheid van de machine voor onderhoud en het verhelpen van storingen. Bedenk dat het akoestisch effect en de investering, van een op zich goed geluidreducerende maatregel, verloren gaat indien de toepassing van deze maatregel in de praktijk op allerlei bezwaren stuit en derhalve verwijderd moet worden. Betrek de machinebediende in het proces van mogelijke maatregelen aan de machine. Hij is wellicht de enige die de machine het beste kent;
- Ga na of de leverancier bepaalde standaard leveringsvoorwaarden heeft bijvoorbeeld gedeeltelijke aansprakelijkheid indien niet voldaan wordt aan de specificaties.

Indien wordt vastgesteld dat de akoestische eigenschappen van de aangeboden voorzieningen (relevant) afwijken van het gevraagde, bereken dan het juiste akoestisch effect van de aangeboden voorziening op het geluidniveau op de arbeidsplaats (zie hoofdstuk 6). Andere akoestische eigenschappen kunnen immers ook leiden tot het beoogde resultaat. Evalueer tevens de gevraagde alternatieve voorzieningen. Ga daarbij vooral na:

- in hoeverre (veel) kosten kunnen worden gespaard indien een akoestisch minderwaardig alternatief wordt gekozen dat een (marginale) verslechtering is ten opzichte van de beoogde situatie;
- welke (beperkte) meerkost kan leiden tot een (relevante) extra geluidvermindering.

9.5. Implementatie van de maatregel

De goede implementatie van de maatregel dient door de arbo- en/of de technische coördinator nauwlettend te worden opgevolgd om te verzekeren dat het akoestisch effect van de maatregel ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd. Het effect van akoestische maatregelen wordt pas volledig bereikt als alle uitvoeringsdetails zorgvuldig worden uitgevoerd. Hierbij moet speciale aandacht uitgaan naar:

- contactbruggen tussen machine en omkasting;
- kierdichting rondom deuren;
- makkelijke bediening van de deuren (indien moeilijk of zwaar, dan blijven ze openstaan);
- doorvoeringen in omkasting minimaliseren het akoestisch effect van de voorzieningen die zijn getroffen;
- inbouwen geluiddemper heeft een drukverlies tot gevolg, hoe is dit opgevangen;
- is bij ruimteakoestische maatregelen (bijvoorbeeld akoestisch plafond) ook aandacht besteed aan de gewijzigde bouwfysische eigenschappen van de dakconstructie (gevolg kan zijn, condens tegen onderzijde van de dakconstructie);
- bij het plaatsen van afschermingen nagaan of de veiligheid i.v.m. beperking uitzicht, gewaarborgd blijft;

- bij de toegepaste materialen rekening houden met brandveiligheidseisen;
- bij explosiegevaar moeten de van toepassing zijnde veiligheidsvoorschriften in acht worden genomen, bijvoorbeeld explosieveilige verlichting;
- is de afvoer van warmte en gassen gewaarborgd;
- is bij de materiaalkeuze rekening gehouden met de corrosiebestendigheid (van belang in een vochtige omgeving);
- is bij de keuze van materialen rekening gehouden met eventuele hygiënische aspecten: b.v. moeilijk bereikbare hoeken kunnen niet worden schoongemaakt;
- staan verplaatsbare schermen voldoende stevig, veiligheid/omvallen;
- uitstekende delen kunnen verwondingen veroorzaken;
- zijn in omkastingen op de juiste plaatsen ramen aangebracht i.v.m. het toezicht op de machine;
- bedenk dat een omkasting tot gevolg heeft dat de geluiden van de machine minder goed / niet meer hoorbaar zijn, welke maatregelen en/of signaleringen zijn aangebracht om dit tekort op te heffen;
- bij groot onderhoud aan de machine moet wellicht de gehele omkasting worden verwijderd, is de omkasting hiervoor geschikt en is herplaatsing uitvoerbaar door eigen personeel;
- is de veilige vrije doorgang tussen de machines gewaarborgd gebleven bij het plaatsen van de omkasting;
- zijn beschadigde panelen (omkasting) te vervangen of moeten dan complete wanden worden vervangen.

daarenboven:

- zijn er met de maatregel nieuwe geluidbronnen bijgekomen (bijvoorbeeld een ventilator ten behoeve van de ventilatie van een omkasting en is hierbij rekening gehouden met de geluidafstraling);
- indien de maatregel een voorziening betreft die regelmatig moet worden vervangen of onderhouden, ga dan na of de plek goed bereikbaar is, bijvoorbeeld een geluiddemper
- maatregelen in de vorm van omkappingen of afschermingen kunnen geluidreducties opleveren voor een beschouwde arbeidsplaats, echter ze kunnen voor andere arbeidsplaatsen, vanwege mogelijke geluidreflecties tegen het oppervlak, aanleiding geven tot hogere geluidniveaus. Indien dit het geval is, welke maatregelen zijn dan aanvullend getroffen;
- wat is de mening van de machinebediende over de aangebrachte maatregel, indien hij in het voortraject bij de maatregelen betrokken is geweest dan kan dit een positieve opstelling tot gevolg hebben;
- maak afspraken over hoe de geconstateerde gebreken worden opgeheven;
- leg datum vast voor de controlemeting van het akoestische effect.

9.6. Verificatie van het akoestisch resultaat

Na implementatie van de geluidreducerende maatregelen worden op dezelfde posities als bij nulmeting (zie paragraaf 9.2) en onder dezelfde bedrijfs- en omgevingsparameters, verificatiemetingen uitgevoerd. Uit vergelijking van de resultaten van deze metingen met de nulmetingen, kan het akoestisch effect van de uitgevoerde maatregelen worden bepaald. Afhankelijk van het niveau van de stoorgeluiden moeten desgevallend weer speciale meettechnieken worden toegepast. Het akoestisch effect wordt vergeleken met de gemaakte afspraken met de leverancier en kunnen eventuele vervolgstappen worden ondernomen.

10. Nazorg

Nadat een geluidverminderde voorziening is geïmplementeerd kunnen er aan de machine en de voorziening wijzigingen optreden. Deze wijzigingen kunnen het oorspronkelijk gerealiseerde akoestisch effect in belangrijke mate verminderen. Het betreft hierbij zowel fysieke wijzigingen aan de machine of wijzigingen in het gebruik van de machine. Eveneens gaat het over wijzigingen die worden aangebracht aan de maatregel en het (volgens de arboregels) gewijzigd gebruik van gehoorbescherming.

Geluidverminderde maatregelen op basis van absorptiematerialen vereisen regelmatig onderhoud om de akoestische kwaliteiten te behouden. Geluidmaatregelen kunnen leiden tot andere vormen van gehoorbescherming.

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op punten waarop de aandacht moet worden gevestigd nadat de maatregelen zijn uitgevoerd.

10.1. Aandachtspunten voor het gebruik van gehoorbescherming

De geluidssituatie aan de machine en/of in een bedrijfshal is na uitvoering van de akoestische maatregelen gewijzigd met als gevolg dat de lawaaibelasting van de medewerkers is verminderd.

Dit betekent dat de geluidssituatie opnieuw in kaart moet worden gebracht (Arbo-besluit, artikel 6.7) en de daaraan gekoppelde acties moeten worden ondernomen. Zo kan het zijn dat de verplichting tot het dragen van gehoorbescherming is vervallen en/of de gehoorbeschermingszone is gewijzigd waardoor de afbakening kan veranderen.

10.2. Aandachtspunten bij wijzigingen aan de geluidbron

Om het akoestisch effect van maatregelen voor lange termijn te garanderen dienen de gebruikers van de gesaneerde geluidbron en de onderhoudsploegen goed geïnstrueerd te worden. Deze instructie dient zich vooral te richten op de aspecten die van wezenlijk belang zijn voor de akoestisch kwaliteit van de maatregelen. Hierbij valt te denken aan:

*Instructie **machinebedienden**, zoals:*

- wat is het akoestisch effect van de aangebrachte maatregelen en waar dient op worden gelet dat het effect gewaarborgd blijft;
- bij omkasting moeten deuren natuurlijk gesloten blijven;
- er moet meer visueel toezicht worden gehouden omdat geluiden van machine minder goed hoorbaar zijn en controle op het gehoor moeilijker wordt;
- machinebediende moet melding doen van beschadiging of gebreken aan de maatregel.

*Instructie **onderhoudsafdeling**, zoals:*

- geluidreducerende maatregelen behoeven ook onderhoud, uitgevoerde maatregelen opnemen in onderhoudsprogramma;
- absorptiematerialen van geluiddempers periodiek vervangen bij vervuiling;

- onderdelen van de maatregelen die speciale aandacht verdienen bij onderhoud: slijtage van kierdichtingen, vervuiling van geluiddempers;
- worden beveiligingen kortgesloten (toegangsdeuren tot de omkasting).

10.3. Aandachtspunten bij wijzigingen aan de maatregel

Indien wijzigingen worden aangebracht aan een reeds geïnstalleerde maatregel dan kan dit uiteraard gevolgen hebben voor het akoestisch effect van de betreffende maatregel. Te denken valt hierbij aan:

- het maken van extra doorvoeringen in een geluidsisolerende omkasting;
- het bevestigen van machinedelen aan de wanden van de omkasting;
- het verhogen van luchtsnelheden in geluidgedempte ventilatiesystemen.

Het kan echter voorkomen dat een bepaalde geluidreducerende maatregel niet als zodanig wordt herkend. Zo zijn machines vaak voorzien van afschermingen ten behoeve van de veiligheid en zijn niet primair bedoeld als geluidafscherming, terwijl andere wel primair bedoeld zijn om de geluiduitstraling te reduceren. Geluiddempers kunnen qua afmetingen overeenkomen met de afmetingen van het kanaal waarin ze zijn aangebracht en zijn derhalve eveneens moeilijk te herkennen. Ommantelingen van leidingen/kanalen kunnen aangebracht zijn vanwege thermische doeleinden maar kunnen ook aanwezig zijn om de geluidafstraling te reduceren.

Het is derhalve van belang dat aangebrachte geluidsisolerende voorzieningen voor iedereen als dusdanig zijn te herkennen. Door de voorzieningen op diverse plaatsen te voorzien van een duidelijk herkenbare markering kunnen ongeoorloofde wijzigingen worden voorkomen.

Onderstaand is hiervan een voorbeeld gegeven.



LET OP!

Deze omkasting heeft als doel de geluiduitstraling van de machine te reduceren. Wijzigingen kunnen de geluidreductie nadelig beïnvloeden. Elke wijziging dient te worden gemeld bij”