

Geluidbeheersing in de procesindustrie

door: Ing. C. A. Nierop Azn

M+P Raadgevende ingenieurs bv

Aalsmeer / Den Bosch / Antwerpen

1.	Inleiding	G4230- 3
2.	Het wettelijk kader	G4230- 3
3.	Schatting van de geluidemissie van componenten en functionele eenheden	G4230- 9
3.1.	Nieuw te bouwen installaties	G4230- 9
3.1.1.	Procesovens	G4230-13
3.1.2.	Luchtkoelers	G4230-14
3.1.3.	Koeltorens	G4230-17
3.1.4.	Elektromotoren	G4230-19
3.1.5.	Stoomturbines	G4230-19
3.1.6.	Centrifugaalpompen met aandrijvingen en leidingen	G4230-20
3.1.7.	Zuigercompressoren met aandrijvingen, kanalen en leidingen	G4230-21
3.1.8.	Turbocompressoren met aandrijvingen, kanalen en leidingen	G4230-21
3.1.9.	Regelkleppen en leidingen	G4230-22
3.1.10.	Onlastkleppen en afblaasvoorzieningen	G4230-27
3.1.11.	Fakkels	G4230-29
3.1.12.	Schoorstenen	G4230-29
3.1.13.	Overige veel voorkomende geluidemitterende componenten	G4230-30
3.1.14.	Geluidbronnen binnen gebouwen	G4230-39
3.2.	Bestaande installaties	G4230-39
4.	Geluidemissie complete functionele eenheden voor planologische studies	G4230-42
4.1.	Nieuwe fabrieken	G4230-42
4.2.	Bestaande fabrieken	G4230-45

G4230-2 Geluidbeheersing in de procesindustrie

- | | | |
|----|---------------------|----------|
| 5. | Algemene literatuur | G4230-46 |
| 6. | Literatuuroverzicht | G4230-48 |

1. Inleiding

Petrochemische en Chemische fabrieken behoren tot de lawaaiigste industrietakken, niet in de laatste plaats door de veelal open procesinstallaties met hun geluidemissie direct naar de omgeving.

Dergelijke installaties zijn opgebouwd uit een groot aantal individuele componenten, zoals pompen met aangesloten leidingen, regelkleppen met leidingwerk, compressoren, turbines, elektromotoren, koelmachines, luchtkoelers en koeltorens, ventilatoren, procesovens met fakkels, schoorstenen etc. en wordt in zijn totaal een fabriek of een functionele eenheid genoemd.

Deze installatie-onderdelen kunnen een aanmerkelijke geluidemissie veroorzaken. Geluidvermogens van meer dan $L_{WA} = 120 \text{ dB(A)}$ voor een functionele eenheid zijn niet ongebruikelijk.

Het is dan ook zaak bij het ontwerp van nieuwe fabrieken (de zogenaamde functionele eenheden) het geluidontwerp vanaf het offerte-stadium in het ontwerp van de fabriek te integreren.

Alleen dan kan een, vanuit geluidoogpunt, kostenoptimaal ontwerp worden gerealiseerd.

In bestaande situaties, wanneer geluidreductie noodzakelijk is, is het van belang te beschikken over de noodzakelijke meettechnische kennis alsmede apparatuur om de geluidemissie van individuele componenten binnen een fabriek te kunnen meten, en de geluidtransmissiepaden binnen de installatie goed te kunnen vastleggen. Dit is noodzakelijk om een kostenoptimaal geluidbeheersingsprogramma kunnen ontwikkelen.

In de volgende paragrafen zal op deze aspecten worden ingegaan.

2. Het wettelijk kader

De „Wet milieubeheer (Wm)” [1] is de nieuwe naam voor de Wet algemene bepalingen milieuhygiëne. Hiermee is er een vergunningenprocedure tot stand gekomen die onder meer de procedures van de Hinderwet (HW) en de Wet geluidhinder (Wgh) vervangt.

Door het bevoegd gezag kunnen geluidnormen in vergunningen worden opgenomen die enerzijds gebaseerd worden op een te stellen grenswaarde in de (woon)omgeving en anderzijds gebaseerd zijn op een noodzakelijke geluid-

ruimte voor een inrichting wanneer deze gebouwd zou worden volgens het „ALARA”-principe (As Low As Reasonably Achievable).

Na ingebruikname van de inrichting c.q. installatie zal in vele gevallen de geluidproductie getoetst moeten worden aan een normstelling ter plaatse van geluidgevoelige bestemmingen dan wel een controle-referentiepunt nabij de inrichting.

Ook in die gevallen waar zich geen knelpunt voordoet tussen de veroorzaakte geluidimmissie en de toelaatbare immissie stelt het bevoegd gezag dat onnodige milieubelasting moet worden voorkomen.

Dit impliceert dat in principe in alle gevallen de als „normaal” te bestempelen geluidmaatregelen getroffen dienen te worden (Normaal gangbare maatregelen) (B.P.M.).

Helaas is het begrip „normaal” niet eenduidig gedefinieerd, zodat in sommige gevallen in het overleg met de vergunningverlenende instantie dit aanleiding kan zijn tot verschillen in inzichten wanneer het gaat om de wenselijkheid tot het treffen van specifieke maatregelen.

In gevallen dat er een knelpunt aanwezig is kan het zijn dat in verhouding zwaardere tot zeer zware, technisch maximaal realiseerbare, maatregelen noodzakelijk zijn (Bovennormale maatregelen) (B.T.M.).

De kosten van dergelijke maatregelen kunnen zeer hoog zijn, en in specifieke situaties kan een beroep worden gedaan op mogelijke bijdragen in de kosten vanuit het rijk. Dit geldt met name wanneer het gaat om saneringsmaatregelen in bestaande situaties in het kader van de in de wet opgenomen methodiek van „zonering industrielawaai” [3] [4].

Bij de bepaling welke maatregelen tot de normaal gangbare dan wel de bovennormale behoren kunnen in de loop van de tijd wijzigingen optreden door voortgang in de technische ontwikkeling.

Hiertoe hanteert de Wm het begrip ALARA (As Low As Reasonably Achievable), waarbij met name het woord „Reasonably” van belang is. Bij het toepassen van het ALARA-principe wordt mede gekeken naar de bedrijfseconomische belangen. In sommige gevallen kan niet meer geveerd worden dan volgens BPM te realiseren is. In andere gevallen (bij economische sterke bedrijven) kunnen verdergaande maatregelen geëist worden teneinde het milieu zo weinig mogelijk te belasten.

Door het bevoegd gezag kan worden gesteld dat bij nieuwbouw of vervangende bouw (vernieuwbouw) gebouwd dient te worden conform bovengenoemd „ALARA”-principe.

Het is dus belangrijk enig inzicht te verkrijgen in wat volgens het ALARA-principe het realiseerbare geluidvermogen van petrochemische bedrijven is.

Zonder in te gaan op de specifieke aspecten rond zonering en sanering, zie hiervoor [2, 3, 4], kunnen voor de als zodanig in de Wm gegeven ex categorie A-inrichtingen waaronder de meeste (petro)chemische bedrijven vallen de volgende in de tabellen 1 en 2 gepresenteerde normwaarden (als cumulatie van alle tot de betreffende omgeving bijdragende inrichtingen) worden genoemd.

Tabel 1. Grenswaarden industriegeluid voor woningen in nieuwe situaties; artikelen ef. Wgh.

Situatie woning op moment van zonevaststelling	Voorkeursgrenswaarde dB(A)	Maximale ontheftingsgrenswaarde	Maximaal toelaatbaar binnenniveau dB(A)
geprojecteerd of nieuw te projecteren	50 dB(A) (art. 46)	55 dB(A) (art. 47, lid 1)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)
in aanbouw of aanwezig	50 dB(A) (art. 46)	60 dB(A) (art. 47, lid 1)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)

Tabel 2. Grenswaarden voor industriegeluid voor woningen in bestaande situaties; artikelen ef. Wgh.

Situatie woning op moment zoneringvaststelling	Voorkeursgrenswaarde dB(A)	Maximale ontheftingsgrenswaarde	Maximaal toelaatbaar binnenniveau dB(A)
geprojecteerd huidige geluidbelasting < 50 dB(A)	50 dB(A) (art. 65)	55 dB(A) (art. 66)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)
geprojecteerd huidige geluidbelasting > 50 dB(A)	55 dB(A) (art. 65)	55 dB(A) (art. 66)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)
in aanbouw of aanwezig huidige geluidbelasting < 50 dB(A)	50 dB(A) (art. 65)	60 dB(A) (art. 66)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)

Situatie woning op moment zonering-vaststelling	Voorkeursgrenswaarde dB(A)	Maximale onthef-fingsgrenswaarde	Maximaal toelaat-baar binnenniveau dB(A)
in aanbouw of aanwezig huidige geluidbelasting < 50 dB(A)	55 dB(A) (art. 65)	60 dB(A) (art. 66)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)
in aanbouw of aanwezig huidige geluidbelasting > 55 dB(A)	55 dB(A) (art. 65)	65 dB(A) (art. 72, lid 2)	40 dB(A) (art. 111, lid 1, onder a)
nieuw te projecte-ren	50 dB(A) (art. 67, lid 3 (art. 69a)	55 dB(A) (art. 67, lid 3) (art. 69a)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)
nieuw te projecte-ren (zeehavenont-heffing)	50 dB(A) (art. 67, lid 4)	60 dB(A) (art. 67, lid 4)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)
nieuw te projecte-ren (vervangende nieuwbouw)	50 dB(A) (art. 67, lid 5)	65 dB(A) (art. 67, lid 5)	35 dB(A) (art. 111, lid 1, onder b)

Voor andere geluidgevoelige bestemmingen dan woningen zijn de normwaarden in tabel 3 gepresenteerd.

Tabel 3. Grenswaarden voor andere geluidgevoelige bestemmingen dan woningen

Geluidgevoelige bestemming	Voorkeursgrenswaarde dB(A)	Maximale onthef-fingsgrenswaarde	Maximaal toelaat-baar binnenniveau
a. scholen voor basisonderwijs	50	60	leslokalen: 30
b. scholen voor voortgezet onderwijs	50	60	theorielokalen: 30 ¹
c. instelling voor hoger beroeps-onderwijs	50	60	theorielokalen: 30 ¹

Geluidgevoelige bestemming	Voorkeursgrenswaarde dB(A)	Maximale ontheftingsgrenswaarde	Maximaal toelaatbaar binnenniveau
d. algemene, categorale en academische ziekenhuizen, alsmede verpleeghuizen	50	60	30 ² 35 ³
e. andere gezondheidszorggebouwen	50	55	30 ⁴
f. terreinen die behoren bij gebouwen als bedoeld onder e	50	55	n.v.t.
g. woonwagendstandplaatsen	50	55	n.v.t.

1 Theorievaklokalen: 35 dB(A).

2 Onderzoeks- en behandelingsruimten.

3 Ruimten voor patiëntenhuisvesting, alsmede recreatie- en conversatieruimten.

4 Onderzoeks-, behandelings-, recreatie-, en conversatieruimten, alsmede woon- en slaapruidten.

Wanneer het een gezoneerd terrein betreft en de gestelde voorkeursgrenswaarde in bestaande situaties (etmaalwaarde $L_{EM} = 55$ dB(A)) wordt overschreden, wordt een saneringsstudie noodzakelijk geacht waarbij maatregelen aan de bron binnen zekere randvoorwaarden prevaleren [4].

Daar het in de (petro)chemie veelal gaat om volcontinubedrijven met een over een etmaal min of meer continue geluidemissie, zal de nachtperiode bepalend zijn voor het geluidontwerp. Immers voor de nachtsituatie gelden in het algemeen strengere geluidvoorwaarden. In specifieke gevallen, bijvoorbeeld bij het ontwerpen van luchtkoelers, kan gebruik gemaakt worden van een (soepeler) avond- en dagnormering daar deze bronnen in deze uren veelal minder in bedrijf zijn. Ook door gelijktijdigheidsanalyse kan bespaard worden op maatregelen (bijv. bij akoestische pijpleidingsystemen met grote aantallen kleppen die nooit alle gelijktijdig geopend zullen zijn).

Alle normwaarden die van toepassing zijn op inrichtingen als hier bedoeld zijn omgevingsgerichte waarden, hetgeen wil zeggen dat de betreffende niveaus niet mogen worden overschreden ten gevolge van alle op de betreffende locatie

bijdragende inrichtingen inclusief transportactiviteiten binnen de inrichting. Per individuele inrichting kunnen derhalve strengere voorschriften worden opgelegd. In principe zal de vergunningverlener een vergunning willen verlenen, als maatwerk op de inrichting toegesneden, waarbij het geluidvoorschrift mede kan worden gebaseerd op hetgeen de inrichting redelijkerwijs aan geluidruimte nodig heeft, rekening houdende met het „ALARA-principe”.

Voor het Rijnmondgebied-West, met name Pernis, Botlek, Europoort en de Maasvlakte, waar veel (petro)chemische industrieën zijn gevestigd, zijn tussen het bedrijfsleven en de overheid specifieke afspraken gemaakt inzake een te volgen geluidbeheersingsstrategie (het zogenaamde „convenant Rijnmond”) [5]. Deze afspraken zijn enigszins afwijkend van hetgeen volgens de tot nu toe gehanteerde procedures zou gelden in die gevallen waarbij het gaat om overschrijding van geluidgrenswaarden in de woonomgeving (de zogenaamde „sanering industrielawaai” [4]).

Doel van dit convenant is bij potentiële saneringssituaties (die situaties waar de geluidbelasting op de woningen hoger is dan toelaatbaar, en derhalve maatregelen bij de industrie binnen zekere technisch-economische grenzen getroffen zouden moeten worden) zoveel mogelijk in te spelen op door de industrie op termijn uit te voeren vervangingsinvesteringen. Pas wanneer dit onvoldoende effect zou opleveren zullen bronmaatregelen worden overwogen.

Hiermee wordt aan de bedrijven de nodige flexibiliteit gegeven om eventuele geluidreductie in te passen in hun normale investeringsplannen.

Tevens wordt in de uitwerking van het convenant rekening gehouden met toekomstige ontwikkelingsmogelijkheden, zowel bij de bedrijven als ook in het kader van opvulling van nog braakliggende terreinen.

Voor de omringende gemeenten is het convenant van belang omdat reeds in een eerder stadium dan volgens de reguliere saneringsoperatie (uitvoeren van geluidbeperkende maatregelen) zicht komt op de op langere termijn voor de industrie noodzakelijke geluidruimte, en daarmee potentiële woningbouwlocaties eerder kunnen worden getoetst aan de mogelijkheid tot realisatie en daarmee sneller gebouwd kunnen worden.

Voor meer gedetailleerde informatie omtrent het convenant wordt verwezen naar literatuur [5].

3. Schatting van de geluidemissie van componenten en functionele eenheden

3.1. *Nieuw te bouwen installaties*

Door de grote diversiteit in installaties en bouwlocaties is het niet mogelijk voor complete functionele eenheden (bijv. voor luchtscheidingsinstallaties of een hydrocrackers), afhankelijk van het type en de capaciteit (een doorvoergrootheid zoals t/h, m³/h of oppervlaktegrootheid zoals m² productie-oppervlak en dergelijke) een eenduidig realiseerbaar geluidvermogen te kunnen definiëren, gebaseerd op het bouwen van de betreffende eenheid volgens het „ALARA-principe”.

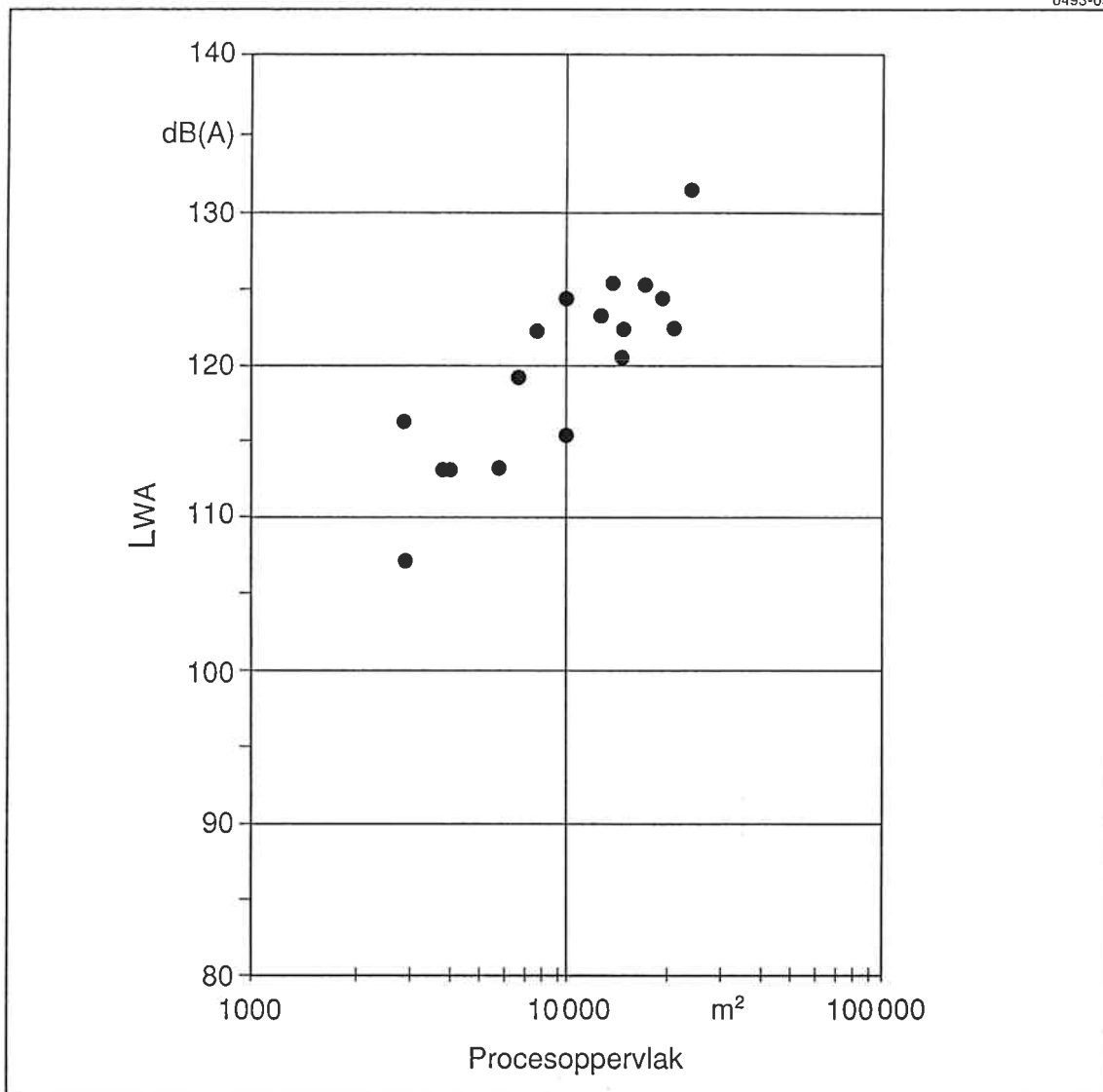
Het zal duidelijk zijn dat het technisch ontwerp van geval tot geval kan verschillen, en in zijn algemeenheid is geen enkele functionele eenheid van een specifiek type (akoestisch) identiek. Dit leidt tot aanmerkelijke verschillen in stand der techniek realiseerbare geluidvermogens, zoals in figuur 1 laat zien voor verschillende ontwerpen van een op zich vergelijkbare procesinstallatie.

Tevens kan de locatie van invloed zijn op de toelaatbare geluidemissie. Een fabriek, gelegen midden op een industrieterrein zou een grotere geluidemissie vergund kunnen krijgen dan een fabriek gelegen aan de rand, dichtbij woonbebouwing. Alhoewel de mening over laatstgenoemde stelling verdeeld is, lijkt het vanwege een optimaal ruimtegebruik en economische benadering zinvol de locatiekeuze te laten meewegen in het ALARA-principe (een immissiegerichte benadering in plaats van een emissiegerichte benadering).

Dit maakt dat het prognostiseren van de geluidemissie van een nieuw te bouwen fabriek alleen „op maat” kan geschieden, en alleen op deskundige wijze kan worden uitgevoerd door specialisten die niet alleen gedegen fundamentele kennis hebben van de akoestiek en geluidbeheersing, maar tevens over voldoende ervaring en proceskennis moet beschikken.

In een eerste prognosestadium (toewijzing geluidemissieruimte naar brongroepen) kan met vrucht gebruik worden gemaakt van op empirische wijze tot stand gekomen formules waarmee de geluidemissie van individuele componenten bij benadering kan worden bepaald.

Bij de basisengineering en detailengineering van een fabriek zal men meer en meer moeten beschikken over voldoende ervaring en kennis op dit specifieke vakgebied teneinde een kostenoptimaal geluidontwerp te kunnen inbrengen in het ontwerpteam, door de geluidruimte steeds detaillistischer, kostenoptimaal, over de verschillende individuele componenten te verdelen [6].



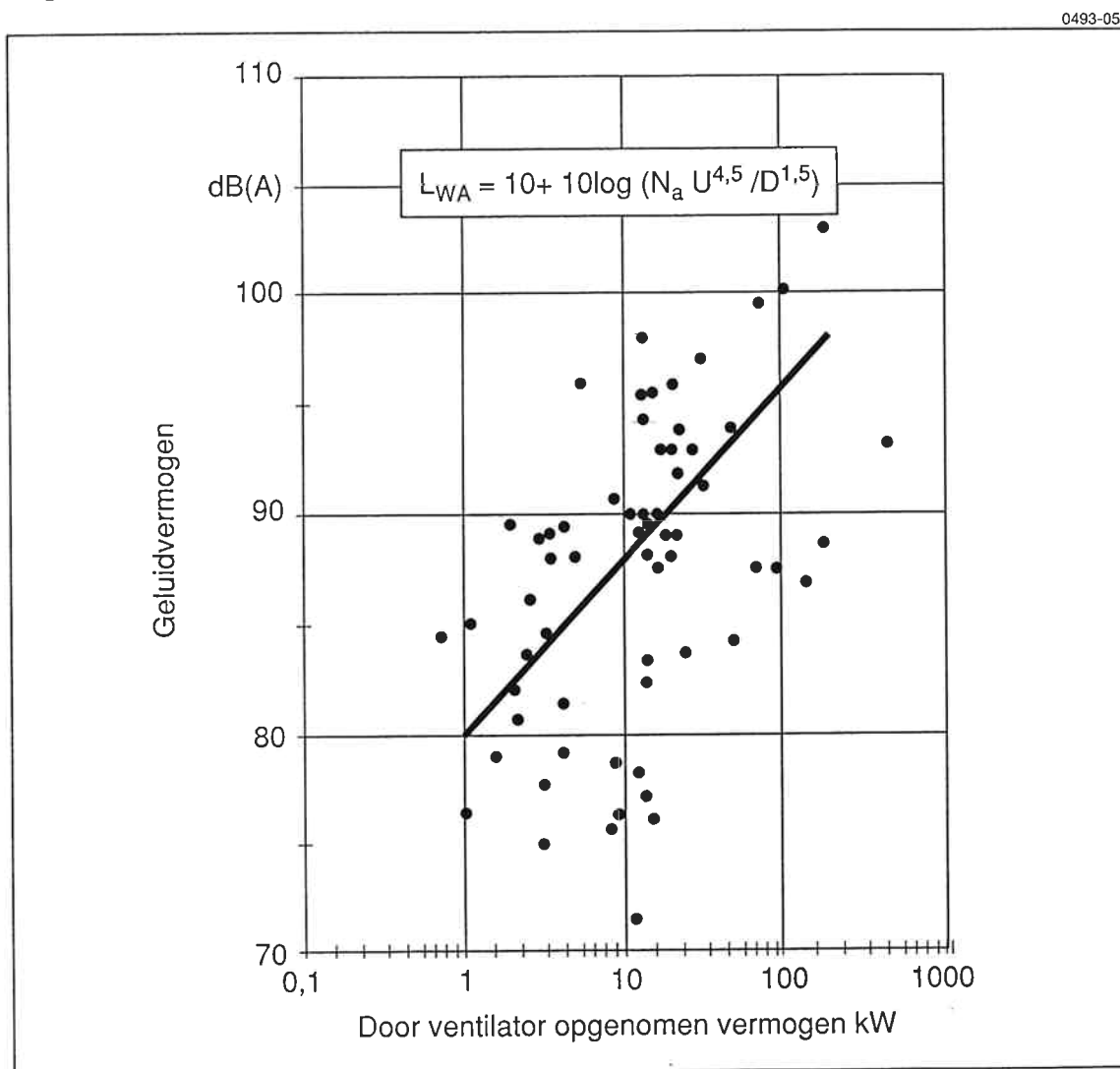
Figuur 1. Geluidvermogens van procesinstallaties zonder tot weinig geluidmaatregelen in relatie tot het procesoppervlak.

In handboeken en literatuur, onder meer [7] [8], worden voor de meest uiteenlopende componenten regressie-formules gepresenteerd. De ingenieursbureaus en contractors voor procesinstallaties en leveranciers van equipment, alsmede op dit specifieke vakgebied opererende adviesbureaus beschikken vaak over eigen empirische formules, gebaseerd op hun specifieke ervaring en producten.

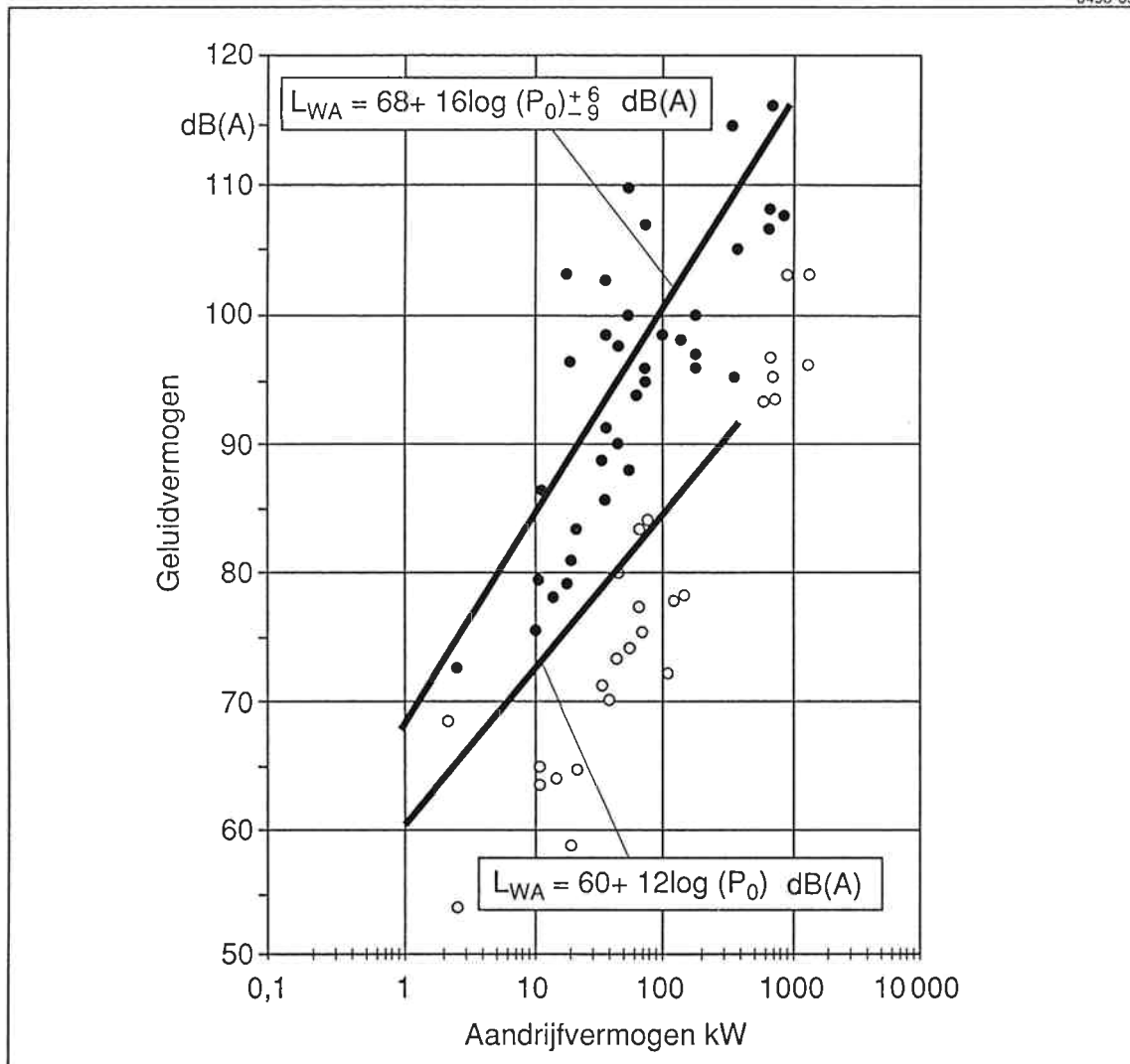
Doordat er nogal wat literatuur aanwezig is waarin prognoseformules voor de bepaling van de geluidemissie zijn vermeld waarvan de herkomst onduidelijk is, en de formules voor dezelfde componenten soms tot uiteenlopende rekenre-

sultaten leidt, is het absoluut noodzakelijk dergelijke prognoseformules met inzicht en kennis te gebruiken.

Figuur 2 en 3 geven twee voorbeelden van onderzoeksresultaten die hebben geleid tot het formuleren van specifieke regressieformules. Uit deze voorbeelden blijkt duidelijk de grote spreidingen en dat de daaruit ontwikkelde regressieformules met de nodige voorzichtigheid moeten worden toegepast. De resultaten van dergelijke berekeningen moeten met kennis van zaken worden gewogen en beoordeeld.



Figuur 2. Methodiek bepaling regressieformule geluidvermogen axiaalventilatoren (luchtcondensors, koeltorens, incl. aandrijvingen) [8].



Figuur 3. Methodiek bepaling regressieformule centrifugaalpomp (incl. aangesloten leidingen en aandrijvingen (•), resp. alleen pomphuis (○) [8].

In deze gevallen zal het zonder kennis van zaken gebruik maken van „toevallig gevonden” formules voor een specifieke component, in de beginfase van een project reeds leiden tot een slechte (en veelal niet kostenoptimale) geluidverdeling over de verschillende brongroepen. Hierdoor is de kans groot dat offertes worden gedaan waarbij het geluidaspect duidelijk ondergewaardeerd wordt. Dit leidt dan vaak tot onverwachte (vaak pijnlijke) overschrijdingen van budgetten.

Algemeen geldt dan dat maatregelen achteraf, vaak afgedwongen door garantieverplichtingen, vaak moeilijk of niet, en alleen tegen zeer hoge kosten nog te treffen zijn.

De volgende installaties en installatie-onderdelen in de procesindustrie gelden als belangrijke geluidbronnen:

3.1.1. *Procesovens*

In de (petro)chemie worden verschillende aardolieprodukten gedestilleerd. Daartoe worden de produkten met behulp van een procesoven tot een zekere procestemperatuur verwarmd.

De in akoestisch opzicht wezenlijke kenmerken bij procesovens, stoomketels en stoomverhitters zijn:

- de vorm, rond of kubusvormig;
- wijze van verbranding, bodem-zijwand of topbranders of combinatie van deze vormen;
- Brandstof, gas (samenstelling) of olie.

De geluidemissie wordt in belangrijke mate bepaald door de verbranding en uitstroom van de gasvormige brandstof uit de geperforeerde branderopening alsmede de uitstroom van waterdamp voor de verstuiving van de vloeibare brandstof.

Verdere belangrijke bronnen zijn (voor zover aanwezig) de rookgasventilatoren met aandrijving, de verbrandingsluchtventilatoren met aandrijving en kanalen, de ontroetingsventilator en de regelkleppen met aangesloten leidingen. De volgende onderdelen van het fornuis dienen bij het geluidontwerp aandacht:

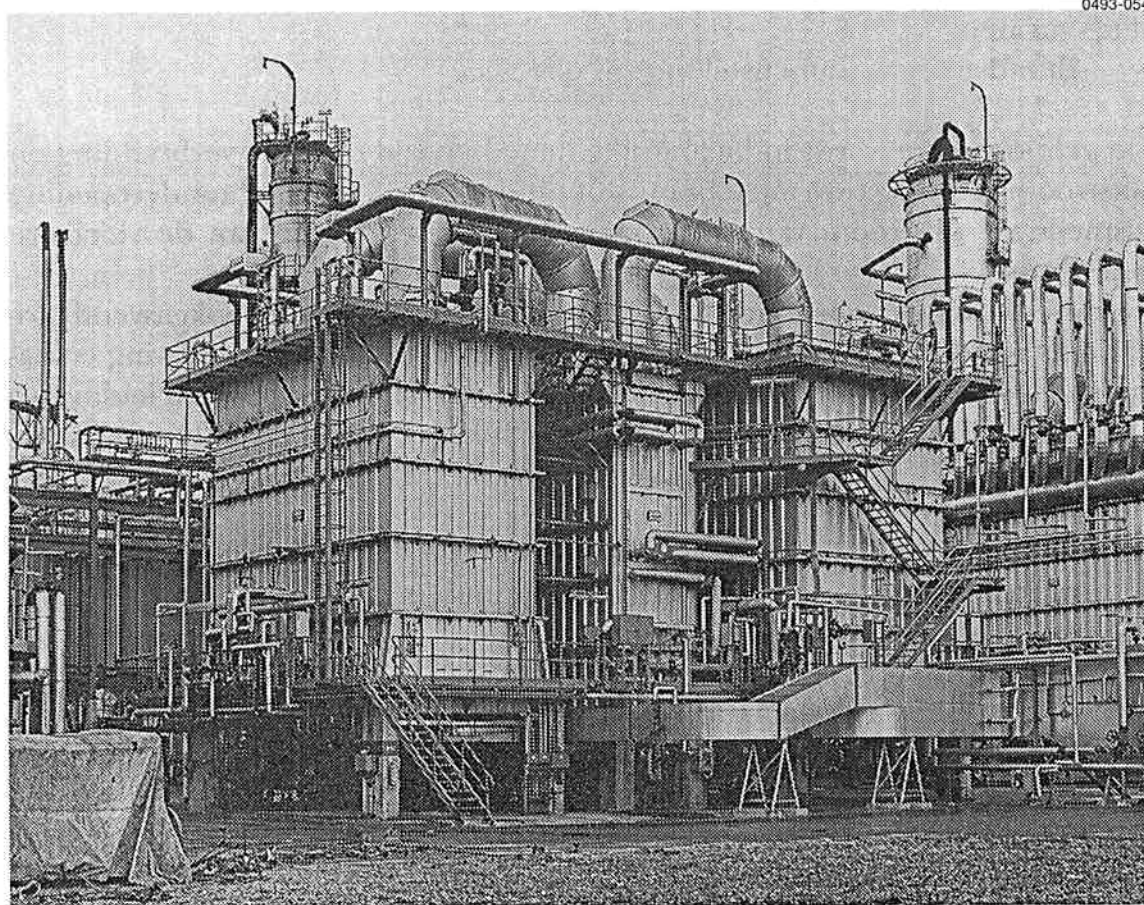
- a. fornuis met zelfaanzuigende branders:
 - primaire en secundaire luchttoevoer branders;
 - ovenwanden en dak;
 - bodem (bij fornuizen met bodembranders);
 - rookgasventilator en aandrijving inclusief kanalen;
 - schoorsteenmantel en schoorsteenmond;
 - gas- en stoomleidingen met kleppen;
- b. fornuis met geforceerde luchttoevoer aan te vullen met:
 - aanzuigopening van de verbrandingsluchtventilator;
 - verbrandingsluchtventilatorbehuizing met kanalen;
 - wanden en dak van de oven.

Geluidvermindering kan onder meer worden verkregen door:

- toepassing van geluidarme branders;
- toepassing van speciale dempers op branders met natuurlijke primaire/secundaire luchttoevoer;

- afscherming onderzijde procesovens met bodembranders;
- gebruik van bemetselde vuurhaarden in plaats van geheel plaatstalen constructies;
- geluidisolerende ommanteling van de kastwanden van de oven;
- aanbrengen van absorptie in de vuurhaard door juiste keuze binnenbemetseling;
- omkasting van rookgasventilatoren;
- leiding- en kanalenisotatie primaire en secundaire luchtventilatoren;
- toepassing schoorsteendemper.

Figuur 4 geeft een voorbeeld van een kastfornuis.



Figuur 4. Kastenfornuis (foto Stork-Comprimo).

3.1.2. Luchtkoelers

Luchtkoelers worden in de procesindustrie gebruikt als warmtewisselaar voor de koeling van vloeistoffen, gasen of stoom of voor condensatie van damp. Figuur 5 geeft een voorbeeld van een luchtkoeler, figuur 6 toont de principiële bouwwijzen.

0493-055



Figuur 5. Luchtkoeler (doc. GEA).

0493-056

Uitvoerings- vorm	Verticaal	Horizontaal	In rijen	Dakvorm
Zuigend				
Drukkend				

Figuur 6. Bouwwijzen luchtcoolers [8].

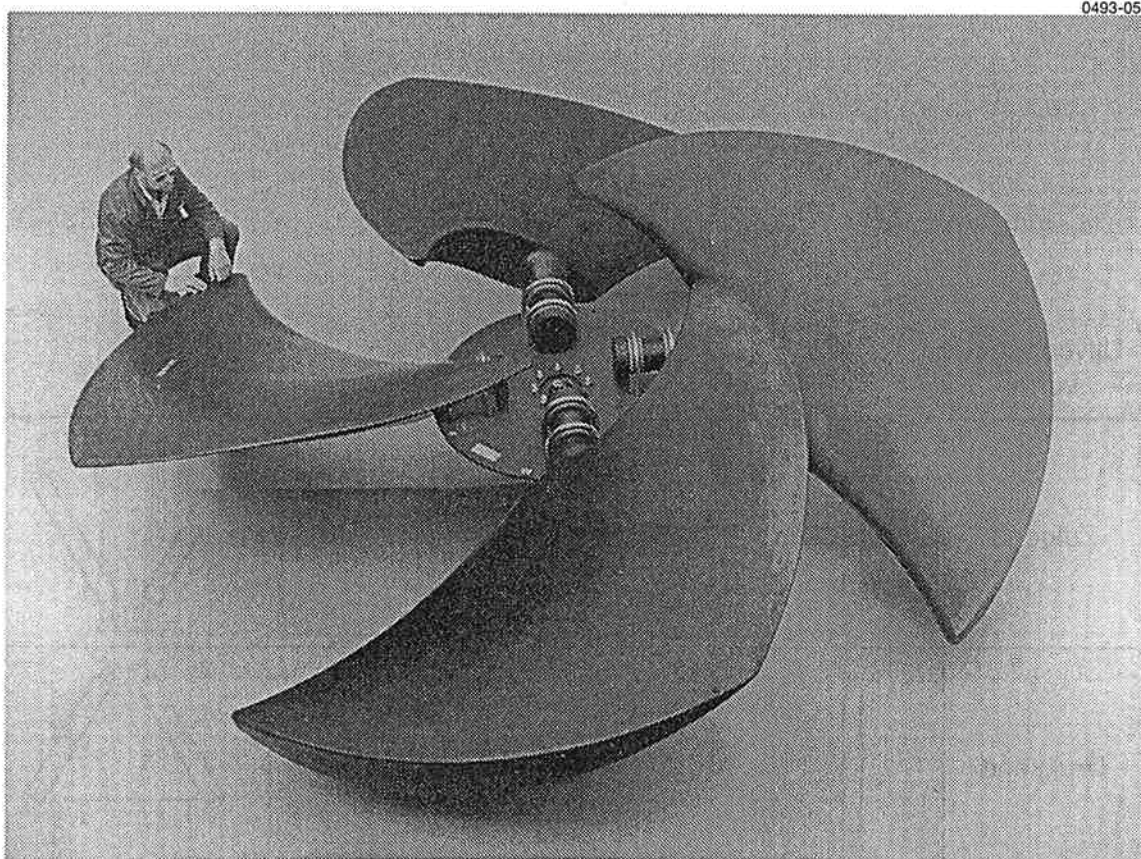
De koeling van het door pijpbundels geleidde medium geschiedt door axiaal-ventilatoren.

Van belang voor de geluidemissie zijn de ventilatoren met aandrijvingen, waarbij zuivere tonen kunnen optreden bij onder meer:

- het aanwezig zijn van vaste obstakels in de nabijheid van de vleugels van de ventilator;
- toepassing van tandwieloverbrengingen;
- contactgeluidoverdracht van de aandrijfmotor via de aandrijfjas en de verdere constructie, afgestraald als luchtgeluid;
- toepassing frequentiegeregelde elektromotoren.

Geluidvermindering kan worden verkregen door onder meer:

- het aërodynamisch uitvoeren van de ventilatorbladen;
- verlaging omtreksnelheid van de ventilatoren;
- geen tandwielkasten of tandriemen toe te passen;
- gebruik te maken van speciaal ontwikkelde vleugelvormen (zie voorbeeld van figuur 7;

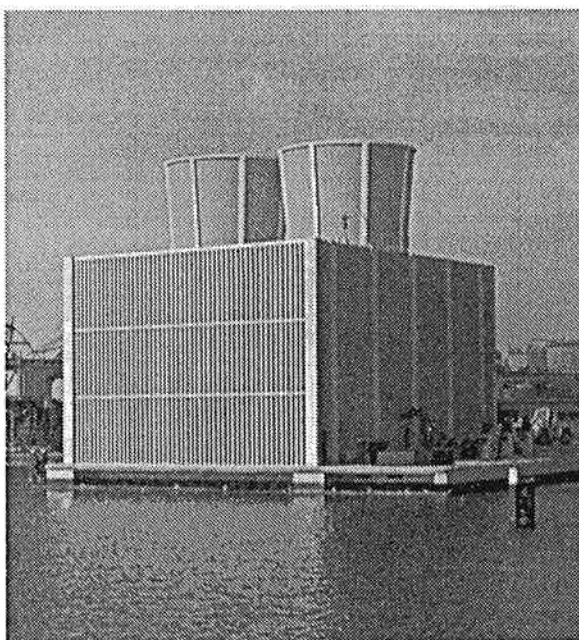


Figuur 7. Voorbeeld van een geluidarme ventilatorvleugel (foto Sirocco-Howden).

- toepassing geluidarme aandrijfmotoren (akoestisch ontkoppeld van de draagconstructie te monteren);
- beschermrooster ten minste 0,5 m vanaf de ventilatorvleugel aan te brengen.

3.1.3. Koeltorens

Voor het gebruik van koelwater wordt in de procesindustrie gebruik gemaakt van open koeltorens, veelal opgebouwd uit compleet in de handel verkrijgbare cellen. Figuur 8 toont een voorbeeld van een typische koeltoren, die meestal bestaat uit een axiaalventilator, gemonteerd boven op de koeltor en aangedreven door een elektromotor via een riem of tandwieloverbrenging of direct door de as van de elektromotor.



0493-058

Figuur 8. Koeltoren, voorzien van geluiddempers (doc. GEA).

Het geluid wordt opgewekt door onder meer:

- de axiaalventilator met aandrijving (zie luchtkoelers);
- vallend water;
- pompen met aangesloten leidingen.

Vooraf wanneer geluidarme ventilatoren worden ingezet kan het watergeluid bepalend worden, waarbij de geluidimmissie op grotere afstanden, vanwege het hoogfrequent karakter van het geluid en de grotere luchtdemping in dit frequentiegebied, vaak minder relevant kan zijn.

Bij het toepassen van koeltorens, gebaseerd op natuurlijke trek, vervalt de ventilator en resteert het geluid van de pompen en het vallende water.

Tabel 4. Maximale geluidvermogens E-motoren in geluidarme uitvoering

Motorvermogen in kW	Toerental in min^{-1}	Geluidarme uitvoering geluidvermogen in dB(A)
0-5	750	< 64
	1000	< 66
	1500	< 63
	3000	< 73
5-10	750	< 67
	1000	< 68
	1500	< 67
	3000	< 75
10-15	750	< 67
	1000	< 69
	1500	< 68
	3000	< 75
15-20	750	< 68
	1000	< 69
	1500	< 68
	3000	< 76
20-30	750	< 70
	1000	< 72
	1500	< 70
	3000	< 77
30-40	750	< 71
	1000	< 73
	1500	< 73
	3000	< 78
40-60	750	< 75
	1000	< 73
	1500	< 76
	3000	< 80
60-100	750	< 75
	1000	< 76
	1500	< 79
	3000	< 85

Geluidreducerende maatregelen kunnen onder meer zijn:

- toepassing geluidarme ventilatoren (brede, aërodynamisch gevormde bladen);
- omtreksnelheid verlagen;
- trillingsgeïsoleerd ophangen aandrijfmotor;
- ontdreuning beplating;
- toepassing geluidarme aandrijfmotoren en overbrengingen;
- pompen, zie paragraaf 3.1.6.

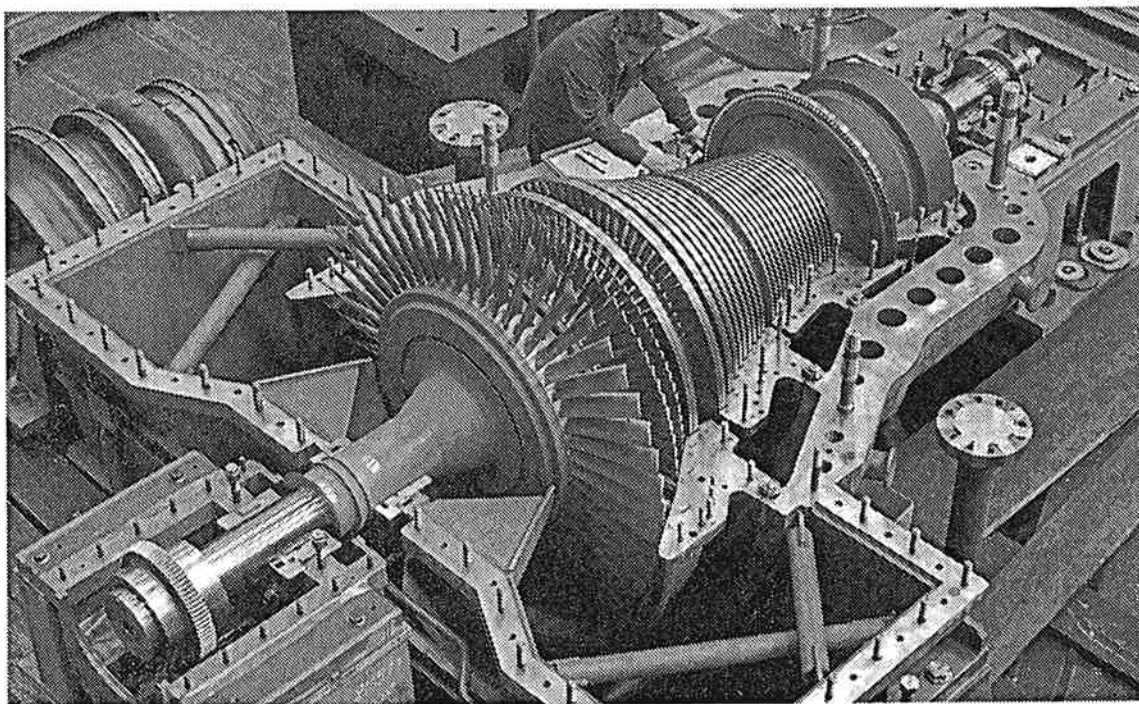
3.1.4. Elektromotoren

Geluidemissie door elektromotoren heeft in deze tijd geen probleem meer te vormen, behoudens wellicht E-motoren met grote vermogens en frequent geregelde motoren.

Door de leveranciers worden E-motoren in verschillende geluiduitvoeringen geleverd, en de in tabel 4 gepresenteerde waarden behoeven niet meer overschreden te worden.

Door toepassing van geluidarme speciaalwaaiers of water voor koeling en geluidarme opbouw van veldpakketten worden de geluidarme en super geluidarme uitvoeringen van elektromotoren steeds meer gemeengoed.

3.1.5. Stoomturbines



Figuur 9. Condens stoomturbine (doc. MAN GHH).

De grotere turbocompressoren worden veelal door stoomturbines aangedreven. Ook pompen en ander groot equipment kunnen door stoomturbines aangedreven worden.

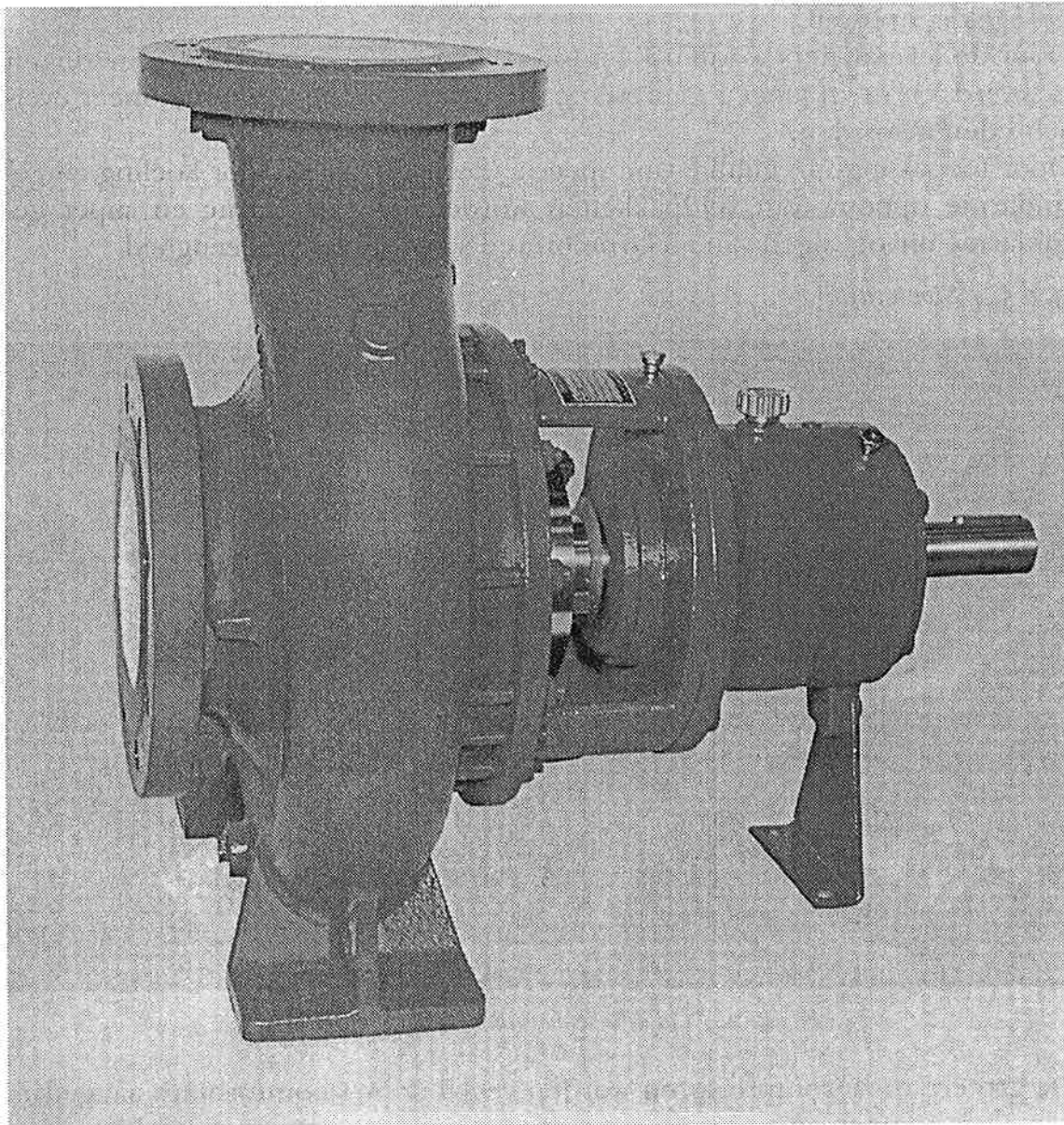
Het geluid wordt hoofdzakelijk opgewekt door het door de turbine veroorzaakte stromingsgeluid alsmede door kleppen en leidingen. Figuur 9 toont het principe van een stoomturbine.

Geluidreductie kan worden bereikt door onder meer:

- omkasting van de turbine;
- geluidsisolerende leidingisolatie;
- toepassing geluidarme kleppen.

3.1.6. Centrifugaalpomp met aandrijvingen en leidingen

0493-060



Figuur 10. Centrifugaalpomp (doc. SIHI).

In de procesindustrie zijn pompen in grote getallen aanwezig.

De belangrijke geluidemittanten zijn de aandrijfmotoren, de leidingen en (vaak in mindere mate) het pomphuis zelf.

Het in het pomphuis ontstane geluid wordt via de leidingen naar buiten afgestraald.

Figuur 10 toont een typische centrifugaalpomp.

Geluidvermindering kan worden verkregen door:

- het toepassen van geluidarme aandrijfmotoren;
- het toepassen van geluidsisolerende leidingommanteling;
- bij stoomgedreven toepassing de stoomturbine omkassen;
- zo nodig pomp met aandrijving omkassen;
- cavitatie voorkomen;
- overbrengingen omkapselen.

3.1.7. Zuigercompressoren met aandrijvingen, kanalen en leidingen

Zuigercompressoren worden vooral ingezet bij hoge drukverschillen in combinatie met kleine hoeveelheden maar worden steeds minder ingezet. De aandrijving geschiedt veelal door elektromotoren, al dan niet via een (tandwiel)overbrenging.

Als belangrijke geluidemittanten kunnen worden genoemd de compressor, de aandrijving met overbrenging, zuig- en persleidingen inclusief regelkleppen. Geluidreductie kan worden bereikt door onder meer:

- toepassing geluidarme aandrijving en overbrenging;
- aangesloten leidingen geluidsisolerend ommantelen;
- eventueel toepassen van geluiddempers (mogelijk te combineren met de pulsatiedemper);
- omkasting compressoren of plaatsing in een gebouw.

3.1.8. Turbocompressoren met aandrijvingen, kanalen en leidingen

Axiale en radiale compressoren worden voor grote volumestromen ingezet, de aandrijving geschiedt door stoomturbines en gasturbines.

Het geluid wordt voornamelijk veroorzaakt door het compressorhuis, de aandrijving, de oliepompen, de koeler en het by-pass-systeem.

De (zeer hoge) geluidemissie wordt tevens via de zuig- en persleidingen en de (eventuele) koeler naar de omgeving afgestraald.

Zuivere tonen ontstaan door de periodische wisselkrachten op de schoepen.

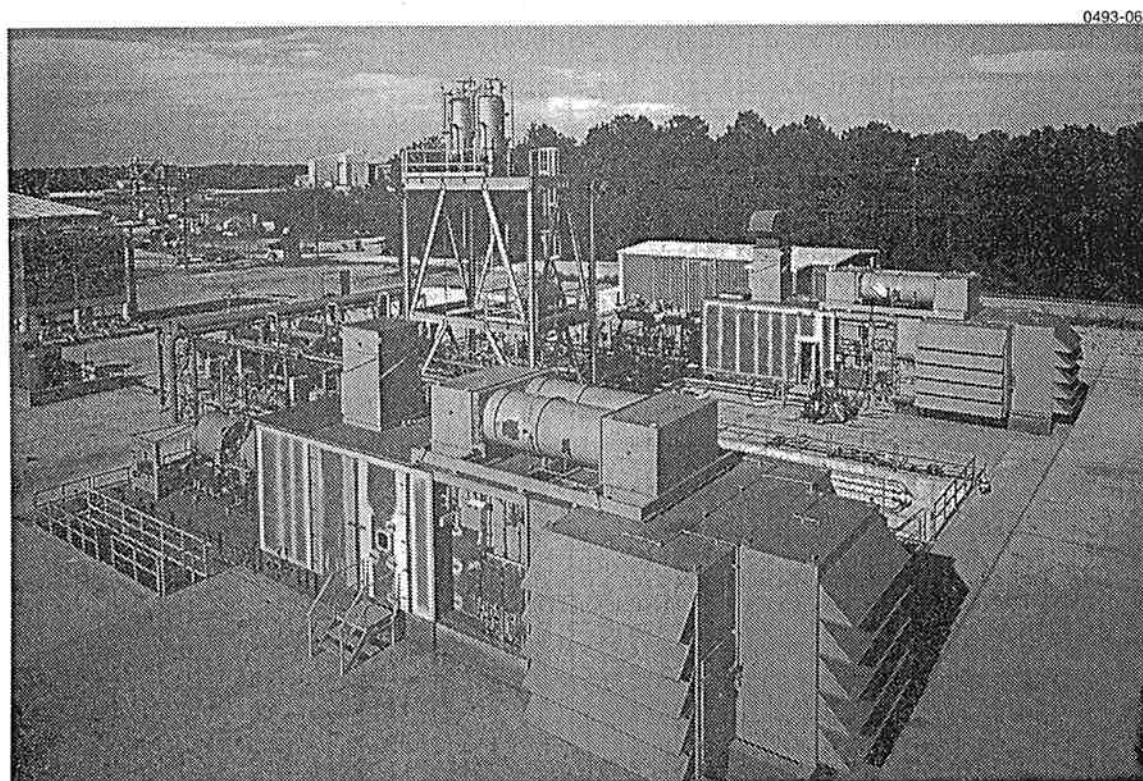
De volgende geluidmaatregelen zijn in zijn algemeenheid mogelijk:

- geluiddempers in pers- en zuigleidingen;
- stoomturbine met stoomleidingen en condensatoren conform de opgave bij de stoomturbine;

- toepassing geluidarme aandrijvingen;
- opstellen compressoren met aandrijving in een omkasting en/of gebouw (meer en meer worden deze eenheden compleet met omkasting aangeboden)
- geluidsisolerende ommantelingen van aangesloten leidingen en kanalen.

Bij toepassing van de compressoren voor het comprimeren van explosieve gas-
sen dient zorg gedragen te worden voor een adequate (geluidgedempte) ven-
tilatie.

Figuur 11 geeft een typisch voorbeeld van een omkaste compressortrein.



Figuur 11. Gascompressorstation (foto MAN GHH).

3.1.9. Regelkleppen en leidingen

Voor flow- en drukregeling van gasvormige of vloeistofvormige media worden kleppen toegepast met vaak kilometers lange leidingen. In chemische- en petrochemische fabrieken kunnen honderden kleppen aanwezig zijn.

Vloeistofkleppen behoeven in principe geen extreme geluidemittant te zijn, mits cavitatie kan worden voorkomen en het juiste type klep wordt geselecteerd. Regelkleppen voor gasvormige media kunnen aanmerkelijke geluidniveaus emitteren, afhankelijk van de drukval over de klep, flow, type klep en inbouwwijze [9] [10] [11].

Het geluid wordt voor het grootste deel afgestraald door de aangesloten leidingen, en kan over grote afstanden praktisch ongedempt plaatsvinden. Verder kan het klephuis en de klepmotor een duidelijke bijdrage leveren aan de geluidemissie.

Het prognostiseren van de te verwachten geluidemissie van kleppen is een specialisme op zich.

Zonder kennis omtrent klepophbouw en fundamentele kennis over geluidontstaansmechanismen is het niet mogelijk om op betrouwbare wijze tot een prognose van de geluidemissie te komen, laat staan adequate maatregelen te kunnen aangeven.

En juist in dit onderdeel is het van essentieel belang om een zo goed mogelijke prognose te kunnen maken. Immers zowel de kosten van het inzetten van (super)geluidarme kleppen, het toepassen van (vaak kilometers lange) akoestische leidingisolatie en het toepassing van speciale dempers voor en na de klep kunnen aanmerkelijk zijn. Een grote geluidarme klep kan meerdere honderdduizenden guldens duurder zijn dan een vergelijkbare standaardklep.

Principes waarmee de geluidemissie kan worden gereduceerd zijn onder meer:

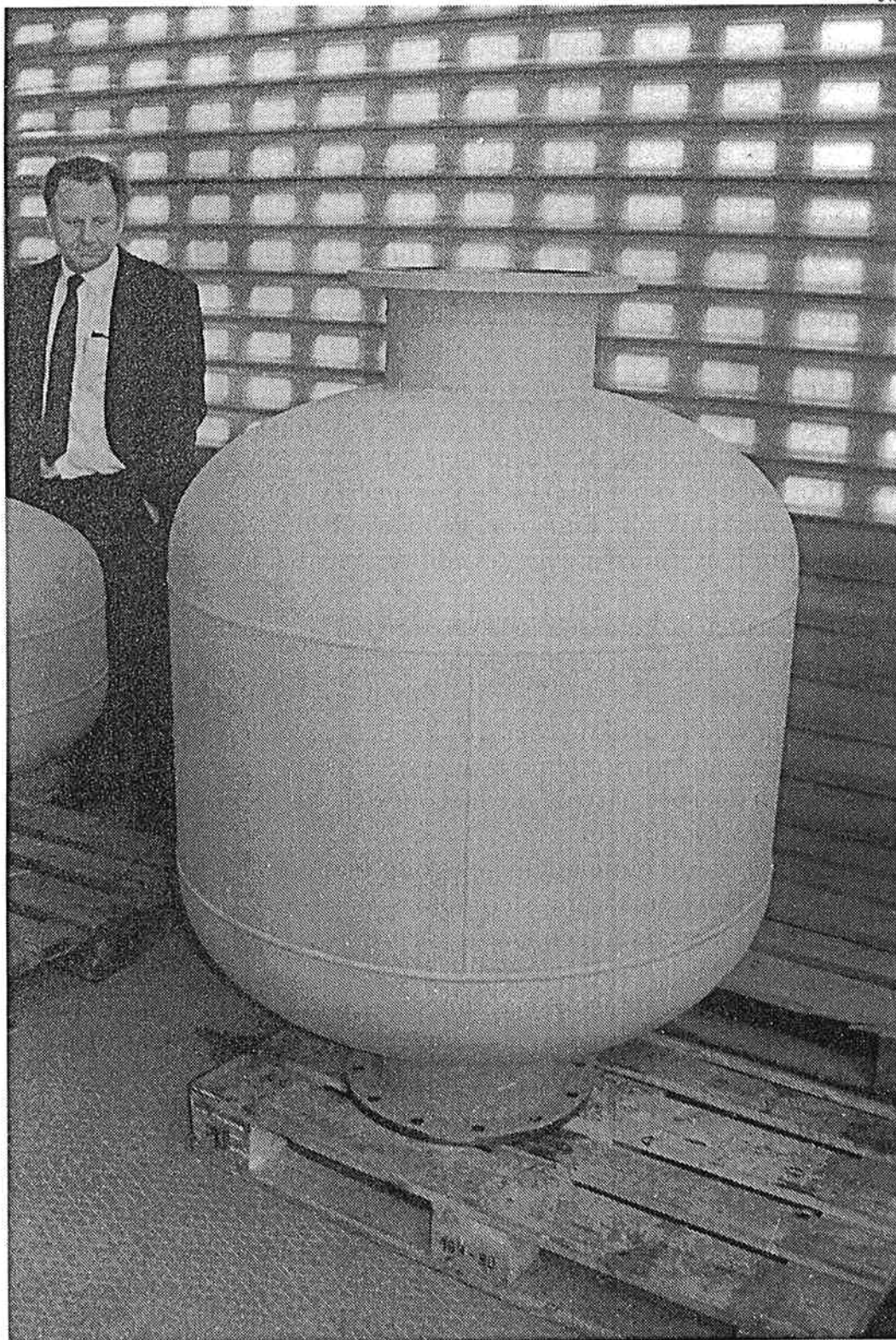
- zwaar uitvoeren van klephuis en motor;
- vrije doorlaat klep in vele kleinere openingen verdelen;
- verdeling van de drukval over de klep over meerdere stappen;
- toepassing van labyrint binnenwerken;
- toepassen van speciaal voor dit doel ontwikkelde geluiddempers [12] waarvan figuur 12 een voorbeeld geeft;
- geluidisolerende ommantelingen rond leidingen en het klephuis, eventueel aangevuld met omkasting klepmotor;
- volledig omkassen van een klep.

Gespecialiseerde ingenieursbureaus en contractors die ervaring hebben met dit type onderzoeken beschikken over (soms in eigen beheer) ontwikkelde prognose-modellen [10], [11] waarmee in meer of mindere mate betrouwbare wijze een akoestisch detailontwerp voor kleppen en aangesloten leidingen kan worden verzorgd.

Aan de hand van PFD-schema's, isometrics, tekeningen en technische specificaties kan een (kosten)optimaal ontwerp worden gerealiseerd, waarbij afwegingen geluidarme klep versus leidingisolatie en/of toepassing van speciaal ontwikkelde geluiddempers op goede gronden kan plaatsvinden. Aangegeven kan worden over welke lengte welke leidingisolatie dient te worden toegepast.

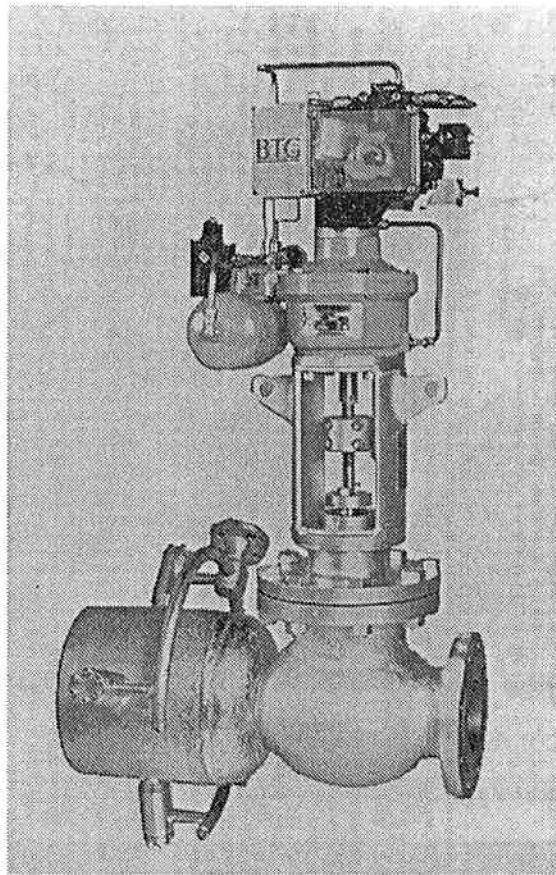
Figuur 13 geeft een voorbeeld van een standaard vlinderklep, figuur 14 van een speciaal ontworpen, super geluidarme uitvoering.

In figuur 15 zijn een drietal voorbeelden gegeven van leiding en klepisolatie.



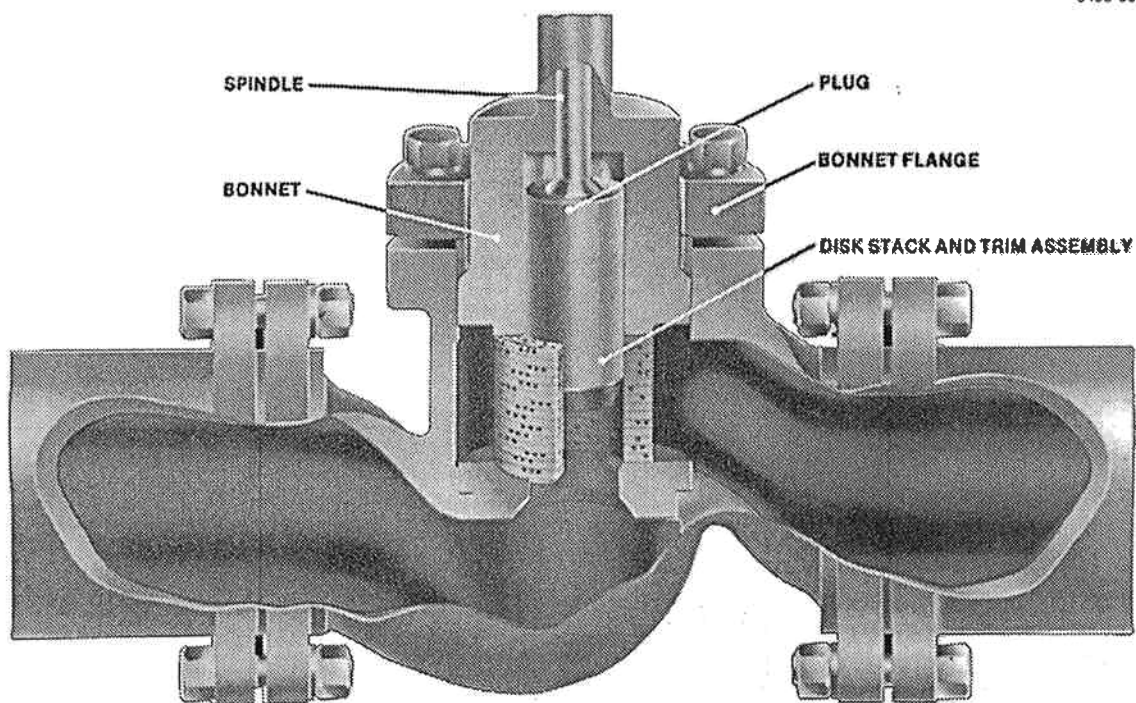
Figuur 12. Leiding geluiddemper voor hoge stroomsnelheden en drukken (foto Müller-BBM).

0493-063



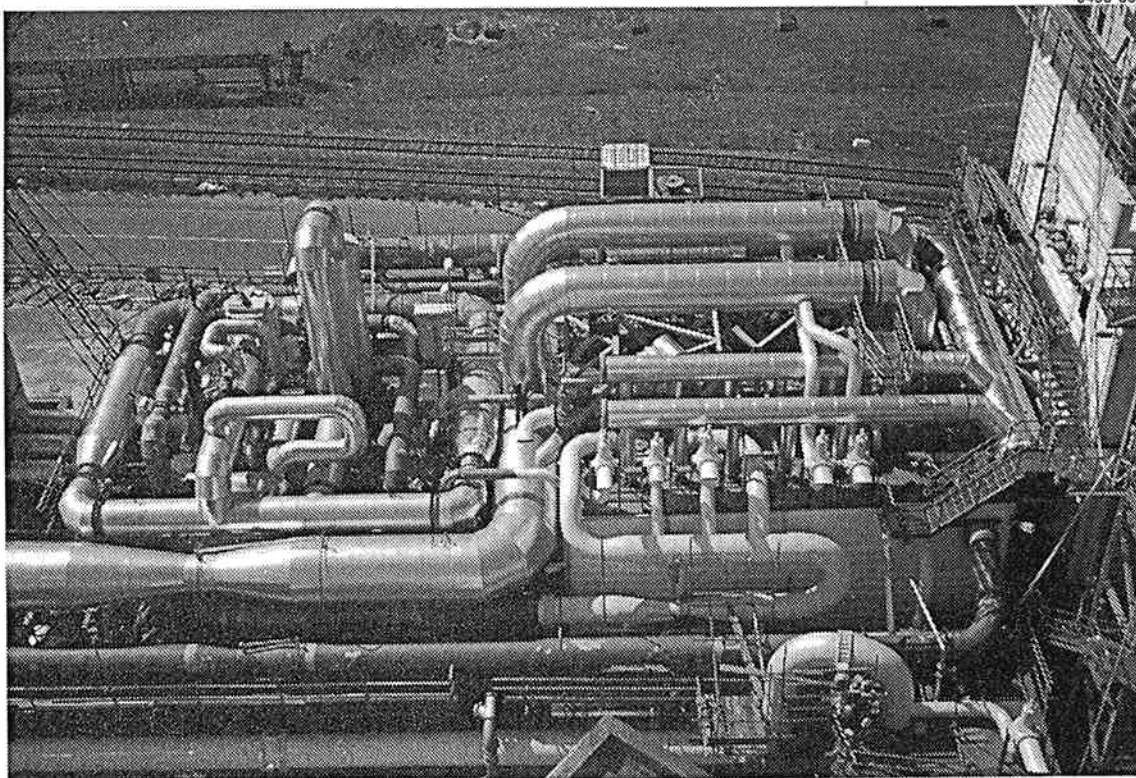
Figuur 13. Regelklep (doc. world valve).

0493-064



Figuur 14. Specifieke geluidarme regelklep (doc. CCI).

0493-065



Figuur 15. Leiding- en klepisolatie (foto M+P Raadgevende ingenieurs bv).

3.1.10. Ontlastkleppen en afblaasvoorzieningen

In de procesindustrie worden vaak gasvormige media via een klep in de omgeving afgeblazen, meestal als veiligheidssysteem en bij opstarten of stoppen van de fabriek, maar soms ook behorende bij het normale productieproces.

Door de vaak grote drukafbouw in combinatie met hoge snelheden kunnen aanzienlijke geluidvermogens optreden.

Overeenkomstig als gesteld voor de regelkleppen kan ook hier alleen door deskundige beoordeling een juiste analyse worden gemaakt, en kunnen adequate maatregelen worden ontworpen. In het geval van incidenteel optredende situaties zullen veelal de te stellen eisen lager zijn dan die aan kleppen voor het normale proces dienen te worden gesteld.

De begrenzing aan geluidimmissie worden meestal gegeven door een maximaal toelaatbaar niveau (L_{Amax} , meterstand „fast”).

Als geluidemitterende onderdelen kunnen worden genoemd het klephuis, de aangesloten leidingen en de uitblaasopening. Maatregelen kunnen in principe zijn:

- geluidarme klepuitvoering;
- geluidisolerende ommanteling leidingen en klephuis;
- toepassing geluiddemper in uitblaasopening.

Figuur 16 geeft een voorbeeld van een typische afblaas geluiddemper.



Figuur 16. Stoomafblaasdemper (foto Gerber Nederland).

3.1.11. Fakkels

Bij het toepassen van fakkels in de procesindustrie onderscheidt men vaak drie bedrijfssituaties:

- a. affakkelen geringe gashoeveelheden veroorzaakt door lekkages en omschakelprocessen;
- b. gecontroleerd affakkelen bij opstarten en afschakelen van de fabriek;
- c. affakkelen bij noodsituaties.

Voor het affakkelen in noodsituaties zullen in het algemeen hoogfakkels moeten worden gebruikt vanwege de hoeveelheid van het af te fakkelen produkt. Bij de onder a) en b) genoemde situaties kunnen bodemfakkels worden gebruikt.

De affakkeling geschiedt daar vele malen milieuvriendelijker dan met een hoge fakkel wordt gerealiseerd en dergelijk bodemfakkels kunnen ook aanmerkelijk stiller worden ontworpen dan een hoge fakkel.

Het geluid wordt opgewekt door verbranding van het gas (laagfrequent) en door turbulentie van de met hoge snelheid uitstromende gassen en stoom (hoogfrequent).

Geluidreducerende maatregelen kunnen onder meer zijn:

- toepassing bodemfakkels voor de normale procestoestand;
- inbouw geluiddemper aan de inlaatzijde van de bodemfakkel;
- toepassing geluidarme branders;
- toepassing geluidarme regelkleppen en/of leidingisolatie;
- verdelen van brander in groot aantal kleine branders.

3.1.12. Schoorstenen

De schoorsteen kan een belangrijke geluidemitter zijn, met name wanneer ongedempt de geluidemissie van een rookgas ventilator of fornuis wordt uitgestraald.

Voor het berekenen van de geluidbijdrage van schoorstenen dient men onder meer rekening te houden met de richtwerking van de uitstroomopening en bij toepassing van stalen schoorstenen met de mogelijke geluidafstraling van de schoorsteenmantel.

In de literatuur vindt men hierover voldoende informatie om tot een goede beoordeling te kunnen komen [13].

Geluidreducerende maatregelen kunnen bestaan uit:

- het toepassen van geluidarme ventilatoren en branders;
- het inbouwen van geluiddempers of dempingssystemen in de schoorsteen.

3.1.13. *Overige veel voorkomende geluidemitterende componenten*

In de procesindustrie verder voorkomende geluidemittenten zijn:

gasturbines;
vaste stof transportsystemen;
ventilatoren;
ejecteurs;
aftappen;
verlading-en transportinrichtingen;
vrachtwagens binnen de inrichting.

Op deze componenten wordt in dit kader niet verder ingegaan, zie hiervoor de beschikbare literatuur (zie literatuuroverzicht).

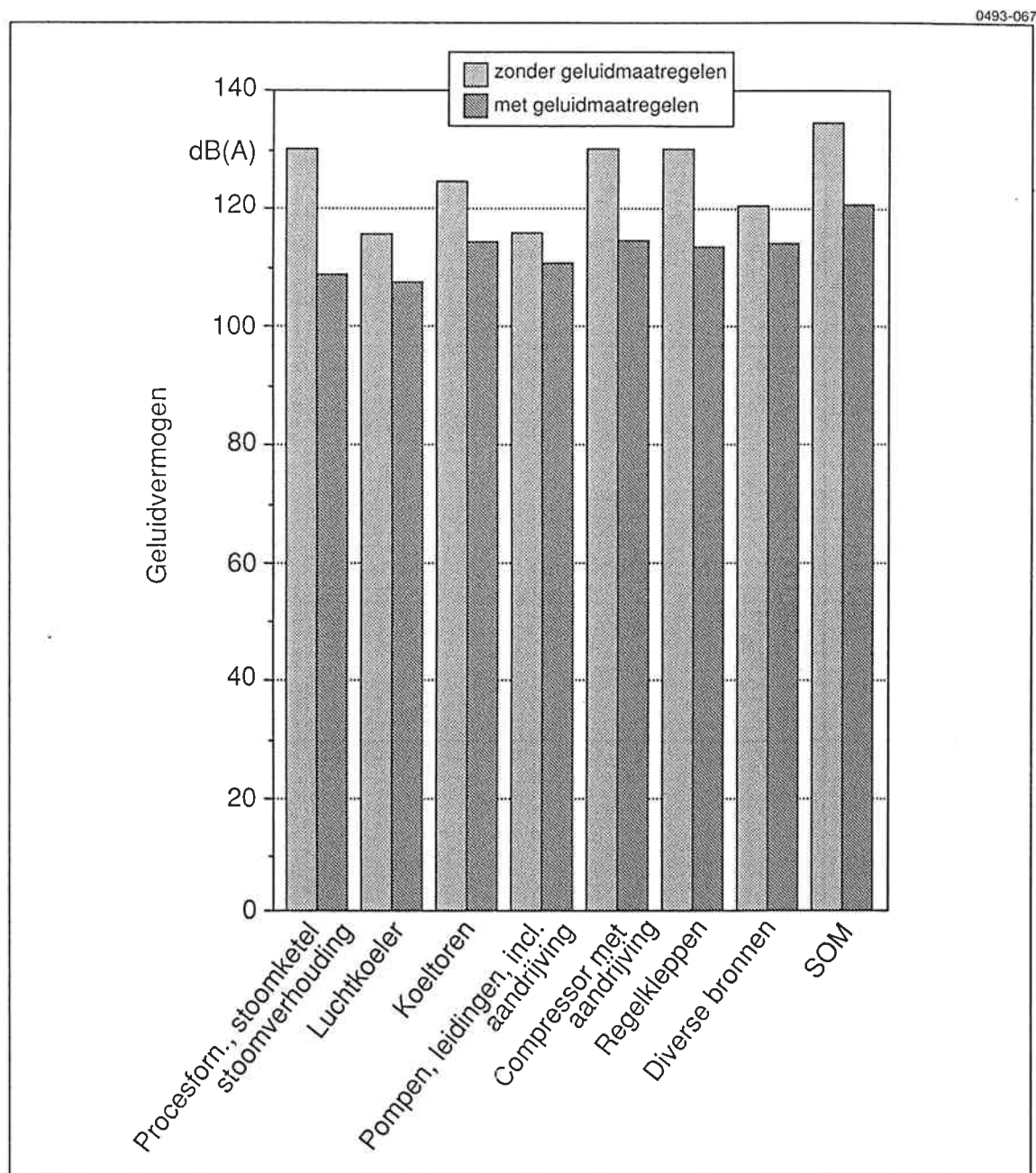
Om een indruk te verkrijgen van de daadwerkelijke immissierelevantie van bovengenoemde bronnen en brongroepen is in figuur 17 een voorbeeld gegeven, gebaseerd op de geluidemissie van enkele ethyleenfabrieken.

Uit de figuur kan worden gezien dat de bijdrage in geluidemissie met name wordt bepaald door de procesovens, compressoren en regelkleppen met aangesloten leidingen, en in mindere mate door de pompen, de koeltoren en luchtkoeler.

Vanzelfsprekend is een dergelijke analyse sterk locatie-afhankelijk, en van geval tot geval zal een bronbijdrage-analyse moeten bijdragen tot een inzicht in welke installatie (onderdelen) bepalend zijn voor de geluidimmissie in de omgeving.

In tabel 5 zijn de voor in de procesindustrie veel voorkomende componenten regressieformules gegeven, gebaseerd op lit. [7], [8], [14], [15], [16].

In het literatuuroverzicht wordt een opgave versterkt van over de verschillende onderwerpen aanwezige literatuur, met name kan worden gewezen op de duitse DIN en VDI richtlijnen en de in Nederland gepubliceerde ICG-reeks.



Figuur 17. Hoofdcomponenten in een ethyleenfabriek met en zonder geluidmaatregelen [7].

Tabel 5. Regressieformules c.q. bereikbare geluidvermogens van componenten binnen een procesinstallatie

Equipment	Technische gegevens	L_{wa} in dB(A)	Benaming
fornuis met natuurlijke of geforceerde luchttoevoer	warmte-opbrengst 3-70 MW	$84 + 10 \log P \frac{+5}{-9}$	P = warmte-opbrengst in MW
luchtcoeler (geen super geluidarme uitvoering)	8-10 bladen $U \leq 30$ m/s	$19 + 45 \log U + 10 \log P$ $- 15 \log D$	P = aandrijfvermogen kW U = omtreksnelheid m/s D = vleugeldiameter
celkoeltorens	waterdoorlaat 100-4000 m ³ < vermogen 15-700 kW doorsnede 3600-20.000 mm omtreksnelheid 30-70 m/s	$64 + 10 \log q \frac{+3}{-3}$	q = waterflow in m ³ /h
stoomturbines incl. omkas- ting	1200-5000 kW	80-90	-
centrifugaalpomp	elektrisch vermogen 5-500 kW	$68 + 16 \log P \frac{+6}{-9}$ incl. leidingen en aandrijving	P = motorvermogen kW
zuigercompressor	volumestroom 50-1000.000 m ³ /h aandrijfvermogen 0,05-100 MW toerental 100-750 omw/min	$83 + 5 \log P \frac{+3}{-6}$ incl. leidingen en aandrijving	
turbocompressoren	volumestroom 50-1000.000 m ³ /h aandrijfvermogen 0,05-100 kW toerental 3000-30.000 omw/min	$86 + 2,5 \log P \frac{+5}{-8}$ incl. leidingen en aandrijving	P = aandrijfvermogen kW

Equipment	Technische gegevens	L_{wa} in dB(A)	Benaming
schroefcompressoren (oliesmering)	aandrijfvermogen 10-700 kW	$70 + 10 \log P \begin{smallmatrix} +3 \\ -6 \end{smallmatrix}$	P = aandrijfvermogen kW
compressoren	-	85-95	-
regelkleppen in geluidarme uitvoering	-	85-100 incl. geluidgeïsoleerde leidingen	-
ontlastkleppen (gas)	-	$95 + 10 \log q \begin{smallmatrix} +5 \\ -15 \end{smallmatrix}$ incl. demper	q = massastroom ontlastklep in t/h
radiaalventilatoren		< 90 incl. omkastingen, geluiddempers in lucht aan- en afzuigopening + kanaalisolatie	-

Het zal duidelijk zijn dat, wanneer de geluidemissie vanwege individuele componenten bekend is, dit nog geen inzicht geeft in de bijdrage van deze individuele componenten naar de omgeving.

Immers deze componenten staan ofwel opgesteld binnen een als een geheel te beschouwen open procesinstallatie (een zogenaamde functionele eenheid) ofwel zijn in een gebouw geplaatst. Bovendien kunnen de overdrachts dempingstermen (met name schermwerking, luchtdemping, bodemdemping) voor de verschillende installatie-onderdelen sterk verschillen.

In het geval de individuele bronnen binnen een open fabriek zijn geplaatst zal er doordat binnen een dergelijke eenheid geluidverstrooiing en afscherming plaatsvindt, monder geluidvermogen naar de omgeving worden afgestraald dan de sommatie van alle individuele geluidvermogens zou doen vermoeden. Een deel zal binnen de fabriek worden gedissipeerd, zie figuur 18.

Hiertoe is het noodzakelijk inzicht te hebben in te verwachten demping binnen een functionele eenheid.

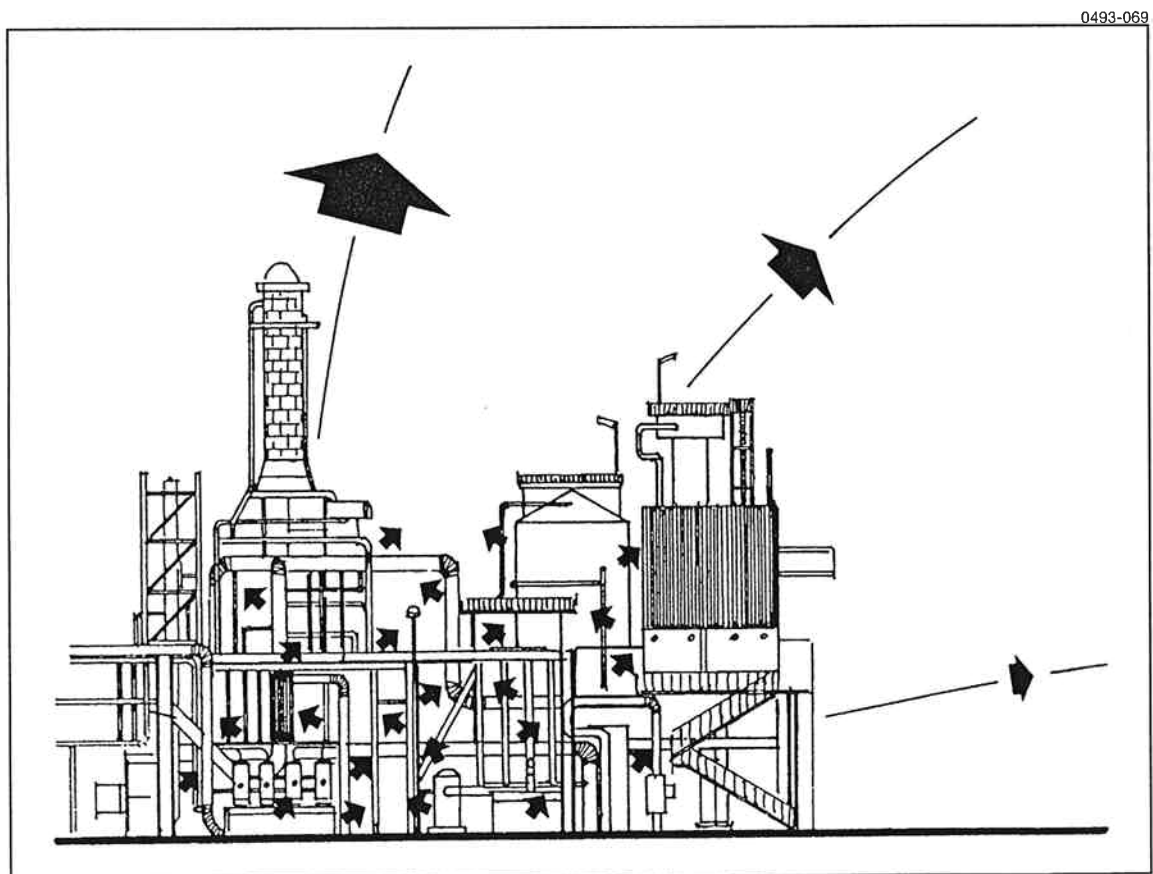
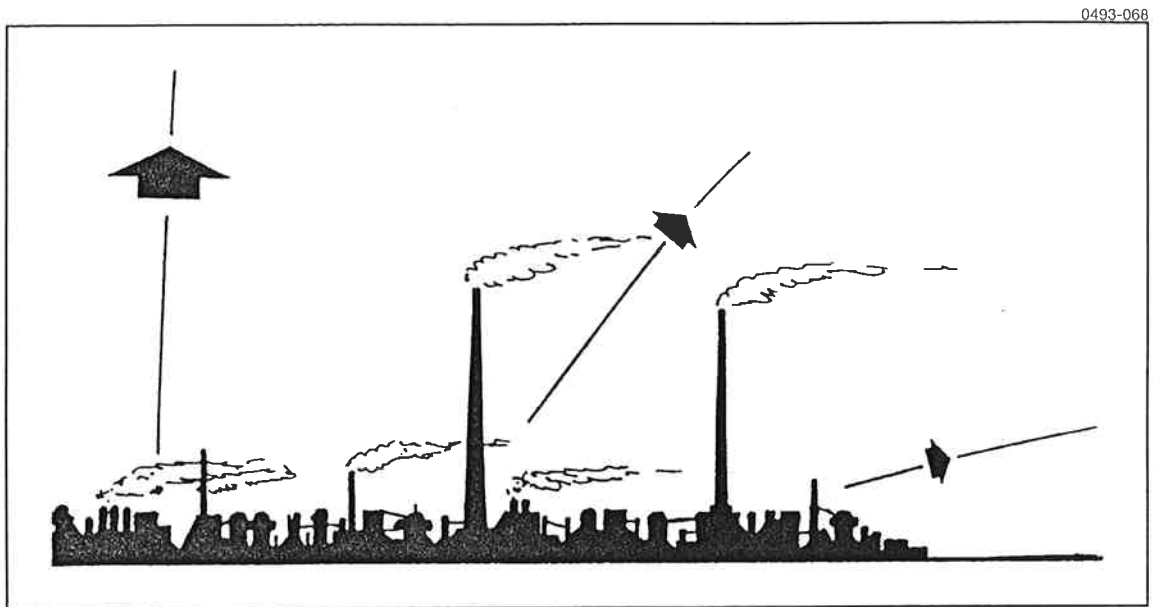
Het zal duidelijk zijn dat de demping mede wordt bepaald door de bebouwingsdichtheid van de fabriek en de lay-out van de individuele bronnen binnen de fabriek.

Van geval tot geval dient dit te worden vastgesteld door middel van prognosestudies (of in bestaande situaties door specifieke metingen). Door gespecialiseerde adviesbureaus worden veelal ervaringswaarden voor terreindempingstermen gebruikt.

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat het verschil tussen de sommatie van alle geluidvermogens van de individuele componenten en het totaal van de functionele eenheid af te stralen immissierelevante geluidvermogen 1 tot 3 dB(A) kan bedragen. Worden er veel hogere waarden aangehouden dan dient men alert te zijn op de juistheid van deze informatie.

In de tabellen 6 en 7 wordt een vereenvoudigd voorbeeld gegeven van een emissiebalans van een open procesinstallatie, waarin tevens de demping binnen de installatie is gegeven en de voor deze specifieke situatie geadviseerde principe-maatregelen.

Het zal duidelijk zijn dat voor het bepalen van maatregelen c.q. het berekenen van de overdracht naar de omgeving een spectrale presentatie noodzakelijk is.



Figuur 18. Geluidverstrooiing binnen een open procesinstallatie.

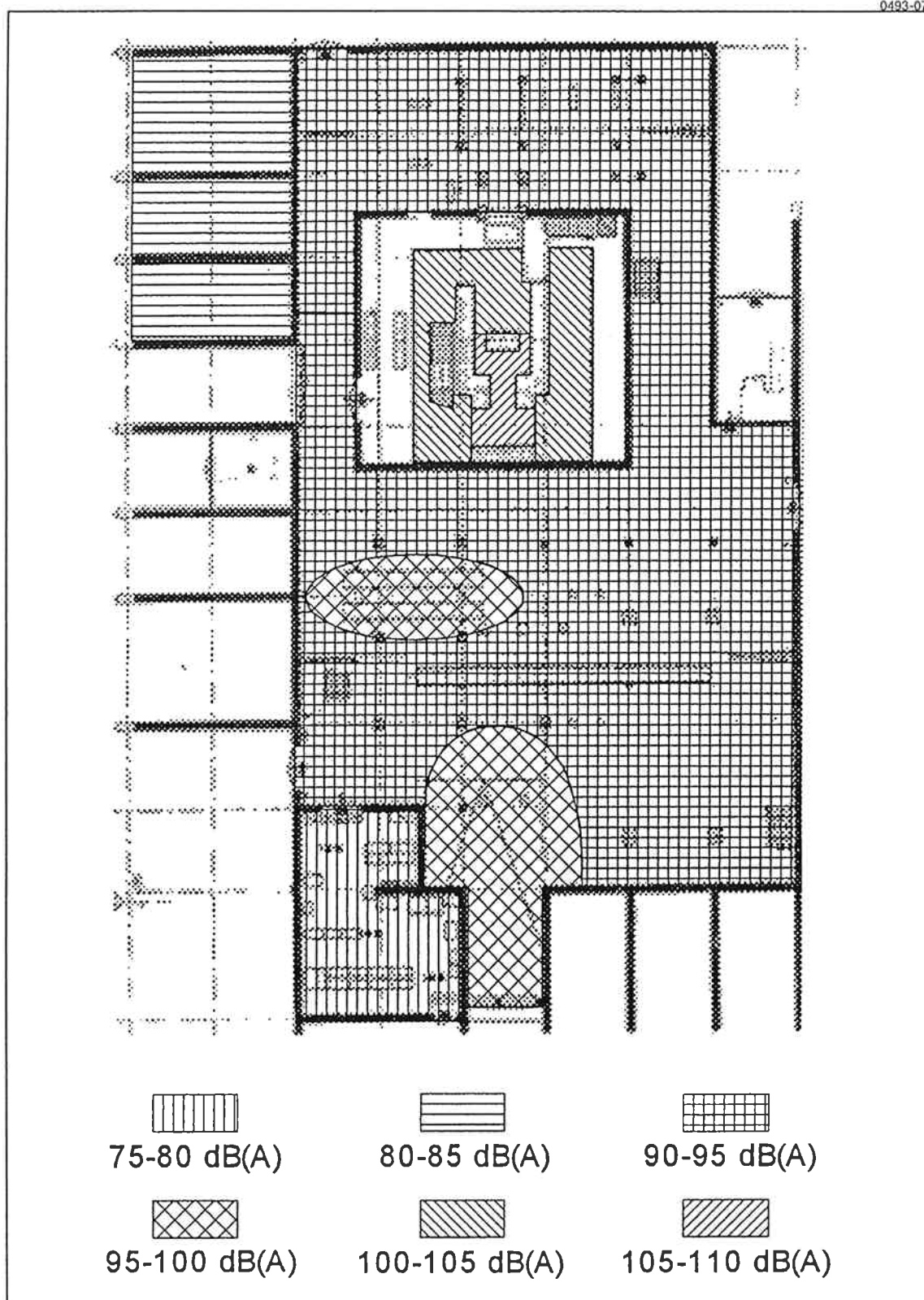
Tabel 6. Voorbeeld geluidvermogens en type akoestische voorzieningen specifieke procesfabriek en daarbij te treffen maatregelen

Equipment	Geluidvermogen L_{wa} in dB(A)	Type maatregel
verbrandingsventilator	93	C,E,F
rookgasventilator	94	C,E,F
schoorsteen fornuis	90	F
fornuis	100	B,C (branders),D
warmtewisselaar	95	C
afvalwater/pomp	90*	B,C,F
A/B olieverzorgingpomp	91*	B,C,F
compressor	94*	A,D
compressor	88	A,B,D
koudebox	85	C
methaanpomp	88*	B,D,E of F
procespomp	86*	B,D,E of F
compressor	85*	A,D
stoomverdeelstations	95*	B,D,E of F,G
instrumentencompressor	88*	B,H
koeltoren, 2 cellen	95	H
koelwaterpomp (2x)	89*	B,F
Chiller unit	83	H
Piping/valves/others	102	D,E
totaal geluidvermogen L_{wa}	106,9	-
$D_{terrein}$	2,0	
immissierelevante bronsterkte L_{wr}	104,9	

* Gegeven geluidvermogens zijn inclusief aangesloten leidingen en kleppen.

Tabel 7. Type maatregel

Type maatregel	Voorzieningen
A	Zware omkasting rond eenheid. Met een invoegverlies van $\Delta L_A \geq 30$ dB, waarbij speciale aandacht is besteed aan: – voorkoming van mechanische koppelingen; – beperking van het aantal deuren en uitneembare panelen in de wanden en dak; – geluiddempende maatregelen in luchtin- en uitlaatopeningen; – specifiek ontwerp van afdichtings- en sluitsystemen; – paneelopbouw die een optimale geluidisolatie kan bewerkstelligen; – maatregelen vanuit veiligheidseisen.
B	Omkasting van equipment zoals pompen en aandrijfmotoren, met een invoegverlies van $\Delta L_A \geq 15$ dB. Ventilatie via eenvoudige geluiddempende constructie.
C	Nauwsluitende omkapseling rond alle geluidafstralende delen van betreffende equipment. Bestaande uit een pakket minerale wol bekleed met 1-2 mm metaalplaat al of niet voorzien van ontdreuning, waarbij speciale aandacht is besteed aan: – het voorkomen van starre verbindingen tussen mantel en equipment. Bij voorkeur gebruik van omega veren of geheel vrijdragend; – voorkoming van mechanische koppelingen; – geluiddichtheid van de beplating, waarbij kieren en naden zorgvuldig worden afgedicht.
D	Ommanteling van kanalen en leidingen met 1-2 mm al of niet ontdreunde metaalplaat rond 60-200 mm minerale wol zonodig zonder starre afstandhouders.
E	Plaatsen van inlaat- en/of persdempers in kanalen of leidingen. Zoals persdempers bij pompen en compressoren; geluiddempers na regelen reduceerklappen; rookgasdemper.
F	Selectie van geluidarme aandrijfmotor en/of overbrenging; E-motor; direct aangedreven of riemaandrijving; selectie van geluidarme waaier; laagtoerige equipment.
G	Selectie van geluidarme kleppen waarbij drukval in meerdere trappen wordt afgebouwd.
H	Selectie van in de handel beschikbare geluidarme equipment zoals, geluidarme koeltoren met ventilatoren met lage toerental; volledig omkaste compressor.



Figuur 19. Voorbeeld presentatie geluidniveaus in ruimten.

3.1.14. *Geluidbronnen binnen gebouwen*

In het geval de componenten in pandig worden opgesteld kan men met behulp van daartoe specifiek ontwikkelde prognosemodellen voor geluiduitbreiding in ruimten [17], [18] op basis van de vastgestelde geluidvermogens van de individuele componenten een binnenniveau worden geprognostiseerd, en met behulp van de geluidisolatie van gevels en daken de geluidemissie naar de omgeving worden bepaald [19]. Figuur 19 geeft een voorbeeld van berekende binnenniveaus in de vorm van geluidcontouren.

De geluidniveaus binnen kunnen worden getoetst aan de Arbo-voorwaarden.

3.2. *Bestaande installaties*

Wanneer bij bestaande installaties inzicht moet worden verkregen in de geluidemissie, en daarmee de geluidimmissie, dienen geluidmetingen te worden doorgevoerd.

Door de overheid is vastgelegd welke meetprocedure gevolgd dient te worden. In het meet en rekenvoorschrift „Meten en Rekenen Industrielawaai IL-HR-13-01” [20] van het voormalig Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne wordt de procedure voor het meten, en de wijze waarop de overdracht naar de omgeving wordt berekend aangegeven.

Het betreft een „receptenboek” dat suggereert dat het vaststellen van de geluidemissie- en immissie „fool-prove” door een ieder kan worden uitgevoerd.

Niets echter is minder waar, met name voor het bepalen van de geluidemissie van functionele eenheden en in sterkere mate van de binnen een functionele eenheid aanwezige individuele componenten, leidingen etc. is gedegen vak-kennis vereist.

Soms volstaat eenvoudige meetapparatuur en enige voldoende akoestische kennis om de bronsterkte te kunnen bepalen, maar in veel gevallen, met name om stoorgeluidinvloeden te kunnen elimineren of om meetfouten te voorkomen, moet men zijn toevlucht nemen tot het gebruik van geavanceerde meetapparatuur, sterke richtmicrofoons, intensiteitsmeettechnieken en trillingsmeettechnieken en dient men te beschikken over ruime akoestische kennis en meetervaring.

Doel van het onderzoek zal in het algemeen zijn het uitvoeren van een meettechnisch brondetectie-onderzoek, meet-of rekentechnische vaststelling van te verwachten „terreindemping” binnen de functionele eenheid en uitvoeren van een bronbijdrage-analyse waarbij de bijdrage per individuele bron wordt bepaald op de totale geluidemissie van de functionele eenheid [21].

Met behulp van methode C2 (geconcentreerde bronmethode) of C3 (Stübermethode) of C4 (aangepast meetvlak) volgens IL-HR-13-01 kan de bronsterkte van de complete functionele eenheid worden gemeten.

Met behulp van de methode C2, C4, C5 (intensiteitsmetingen) of C6 (snelheidsmetingen) wordt het geluidvermogen van individuele bronnen binnen de functionele eenheid gemeten.

De sommatie van de individuele bronnen levert veelal een hoger geluidvermogen dan de gemeten bronsterkte van de gehele eenheid. Het verschil kan als „geluidverstrooiing en absorptie binnen de fabriek worden aangemerkt (D terrein).

Tabel 8 geeft een presentatievoorbeeld waarbij de meetresultaten vergeleken zijn met de prognose waarden, wederom in dB(A). Voor nadere analyses zullen veelal octaafbandwaarden tussen 63 Hz en 4000 Hz nodig zijn.

Tabel 8. Geluidvermogens individuele componenten van een procesfabriek, berekeningen versus metingen

Component	Toerental (rpm)	Vermogen kW	Geluidvermogen L_{wa} (dB(A))	
			Gemeten waarde	Berekende waarde
koelwaterpomp	2900	15	86,5	86,5
reservepomp	2900	15	—	—
procespomp	2935	13	85,4	90,5
procespomp	1400	18	87,3	87,3
procespomp	1400	15	84,4	92,4
procespomp	1481	50	86,0	92,4
procespomp	2900	20	89,1	89,0
procespomp	2935	13	93,6	91,0
procespomp	2900	40	95,4	95,0
procespomp	2900	22	—	—
reservepomp	2900	22	89,5	89,5

Component	Toerental (rpm)	Vermogen kW	Geluidvermogen L_{wa} (dB(A))	
			Gemeten waarde	Berekende waarde
procespomp	2900	22	–	–
reservepomp	2900	6	78,1	80,0
reservepomp	2900	6	–	–
procesfornuis			113,6	115,0
roerwerk			93,5	93,5
roerwerk			81,35,4	81,3
stoomklep + leidingen			102,0	100,0
stikstofklep + leidingen			104,0	101,4
uitlaat			99,0	95,4
luchtkoeler	600		92,0	93,5
luchtkoeler	750		94,0	93,0
pomp	1400	30	94,0	95
koelmachine		175	102,4	100
ventilator		45	85,6	90
HCL compressor			105,0	102
koelmachine			108,0	108,0
totaal geluidvermogen			118,0	117,7
$D_{terrein}$			2,4	2,0
totaal bronsterkte			116,6	115,7

In principe is deze presentatie te vergelijken met die van tabel 6 uit paragraaf 3.1., waarbij alleen de geluidvermogens (en soms de terreindemping) niet door empirische formules tot stand zijn gekomen, maar meettechnisch. Een vergelijking tussen beide kan plaatsvinden wanneer voldoende technische gegevens voor handen zijn.

Ook kan een bijdrage-analyse wordt gemaakt van individuele bronnen binnen een functionele eenheid over grote afstand naar de omgeving.

Alhoewel een dergelijke immissiegerichte benadering voordelen biedt (in verband met frequentie-afhankelijke overdrachtdempingen) boven een emissiebijdrage-analyse kunnen hier grote beoordelingsfouten door ontstaan.

In beide benaderingsmethoden (beoordeling maatgevendheid op emissiebijdrage dan wel immissiebijdrage) dienen met deskundigheid de resultaten te worden geanalyseerd alvorens tot maatregelen te besluiten.

Voor meet- en rekenmethodieken wordt verwezen naar [20] en het literatuuroverzicht.

4. Geluidemissie complete functionele eenheden voor planologische studies

4.1. *Nieuwe fabrieken*

De te verwachten geluidemissie van functionele eenheden in totaliteit is niet eenduidig aan te geven. Zoals uit figuur 20 is te zien kunnen de tussen geluidemissie vanwege op zich vergelijkbare functionele eenheden grote spreidingen optreden. Dit is ook te verwachten daar tussen de verschillende eenheden vergelijkbare grote ontwerpverschillen kunnen optreden, veroorzaakt door verschillen in proces, lay-out en keuze equipment.

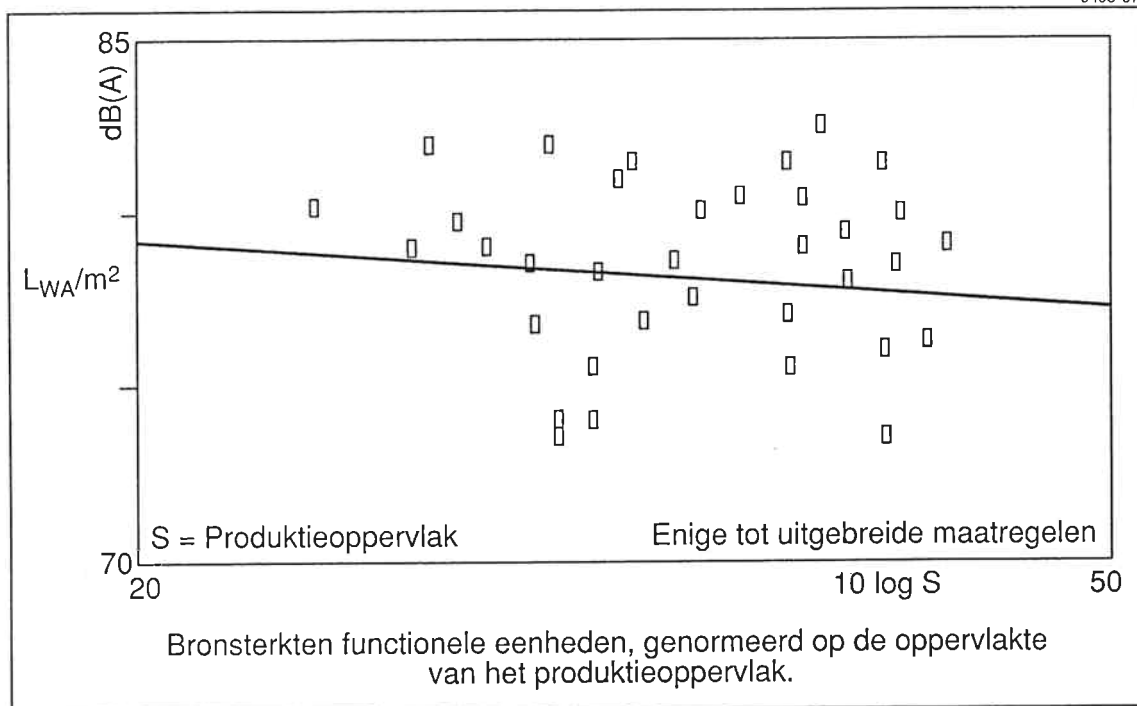
Per geval dient telkens de verwachte geluidemissie te worden geprognostiseerd.

Alleen voor planologische doeleinden [22], [23], [24] wanneer het gaat om grote industrieterreinen met een gemêleerde samenstelling van procesinstallaties kan gebruik worden gemaakt van een gemiddelde bronsterkte. In dat geval zal een uitmiddeling plaatsvinden en zal de beschikbare geluidruimte kunnen worden voorspeld.

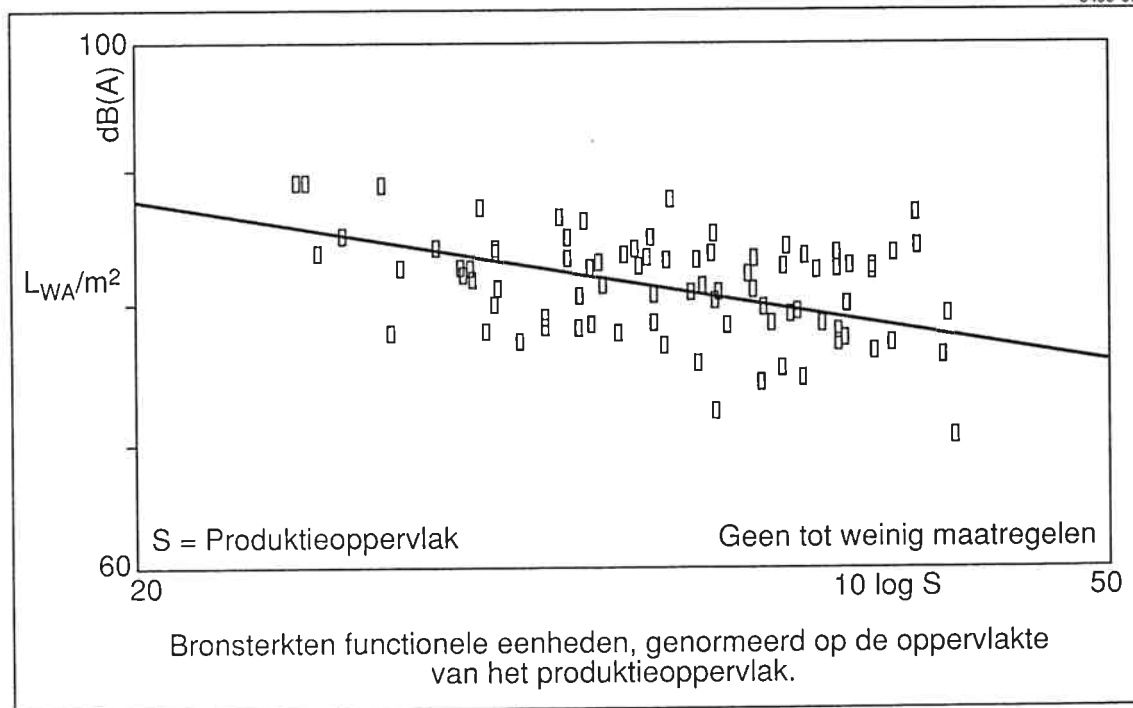
In [24] en [25] zijn onderzoeksresultaten gepresenteerd waaruit voor functionele eenheden in onder meer de procesindustrie een kental is ontwikkeld.

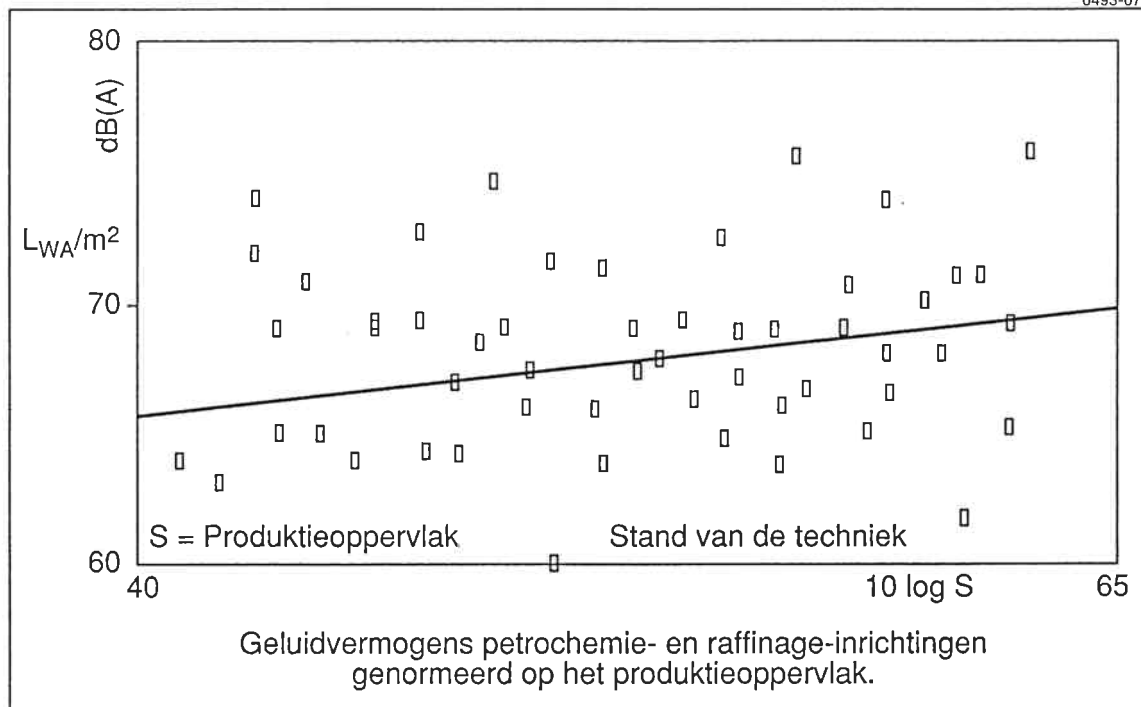
Zonder uitgebreid in te gaan op de achtergronden van het ontstaan van de kentallen mag worden geteld dat, wanneer in het betreffende industriegebied alle functionele eenheden worden gebouwd volgens de „stand van de techniek” de over het gehele gebied gemiddelde geluidemissie per oppervlakte-eenheid ongeveer overeen kan komen met de gepresenteerde kentallen.

0493-071



0493-072





Figuur 20. Geluidvermogens functionele eenheden in de procesindustrie [24, 25].

Het moge duidelijk zijn dat deze kentallen niet gebruikt kunnen worden om individuele functionele eenheden of inrichtingen te toetsen.

Voor de procesindustrie is vastgesteld [24], [25] dat als kental voor petrochemie en raffinage (gemiddeld) bij volledige nieuwbouw (kaalslag-herbouw) een bronsterkte gerealiseerd kan worden van:

$L_{WA} = 68 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ produktie-oppervlak.

Voor pure chemie kan als gemiddeld te verwachten waarde worden gevonden:

$L_{WA} = 66 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ produktie-oppervlak.

Deze waarden resulteren in een op het totaal oppervlak van de gehele inrichting betrokken bronsterkte van:

petrochemie: $L_{WA} = 63 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ terreinoppervlak;

raffinage: $L_{WA} = 58 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ terreinoppervlak;

chemie: $L_{WA} = 61 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ terreinoppervlak.

Wanneer geen scheiding tussen de categorieën mogelijk is kan voor de inrichting een waarde van:

$$L_{WA} = 62 \text{ dB(A)}/\text{m}^2 \text{ terreinoppervlak}$$

worden aangehouden.

Voor de beoordeling van deze getallen dient men de grondoppervlakken goed te definiëren.

productie-oppervlak: dat oppervlak waarop de functionele eenheid (fabriek) is gebouwd, inclusief leidingstraten, controlekamer, veiligheidszone, echter exclusief onbebouwde niet relevante nog braakliggende gebieden. Dit is veelal het gebied dat door wegen rond de functionele eenheid wordt omsloten.

terreinoppervlak: dat oppervlak dat behoort tot de gehele inrichting, inclusief kantoorbebouwing, opslag, tankparken, parkeergelegenheid, echter exclusief nog braakliggende terreinen.

Het totale geluidvermogen van de inrichting c.q. de functionele eenheid kan worden berekend met de formule $L_{WA, \text{tot}} = K + 10 \log S$, waarin K het op het terrein oppervlak betrokken kental en S het terrein oppervlak van de inrichting voorstelt.

4.2. Bestaande fabrieken

Wanneer het gaat om bestaande installaties waaraan additionele maatregelen moeten worden getroffen zal de te bereiken reductie en daarmee de te bereiken bronsterkte per oppervlakte-eenheid sterk afhangen van de aanwezige situatie. Immers bij een eenheid waaraan nog geen geluidmaatregelen getroffen zijn, dan wel in het ontwerp geen geluidmaatregelen zijn meegenomen zal een grotere reductie realiseerbaar zijn dan wanneer reeds enige aandacht aan het geluidaspect is besteed.

Uit ca. 25 uitgevoerde maatregelenstudies aan 10 tot 20 jaar oude installaties, bleek een emissiereductie van gemiddeld 5 dB(A) realiseerbaar (spreiding van 2 tot 9 dB(A)), tegen hoge kosten (gemiddeld ca. 8 à 9 miljoen per functionele eenheid).

Van geval tot geval dient, wanneer een emissiereductie wordt gewenst, te worden bepaald welke maatregelen tegen welke kosten welke reductie bewerkstelligd, om zodoende een kostenoptimaal pakket te kunnen ontwikkelen.

In bestaande situaties zullen verder op langere termijn de bestaande functionele eenheden geheel zijn vervangen, veelal door geleidelijke vervangingsin-

vesteringen waarbij individuele componenten binnen de eenheid worden vervangen. Door de vaak ruimtelijke begrenzingen, procescondities en andere randvoorwaarden mag verwacht worden dat door additionele maatregelen en vervangingsinvesteringen voor bijvoorbeeld ombouw van de fabriek, hier op termijn niet dezelfde resultaten behaald kunnen worden als met kaalslag herbouw kan worden bereikt.

In deze gevallen („vernieuwbouw”) mag uit uitgevoerd onderzoek aan ca. 15 functionele eenheden [25] worden verwacht dat gemiddeld over vele functionele eenheden een bronsterkte kan worden gerealiseerd van:

- petrochemie en raffinage $L_{WA} = 71 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ produktie-oppervlak
- chemie $L_{WA} = 69 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ produktie-oppervlak,

met een gemiddeld voor de gehele inrichting (zonder onderscheid in categorie) te realiseren waarde van:

$L_{WA} = 65 \text{ dB(A)}/\text{m}^2$ terreinoppervlak.

5. Algemene literatuur

- Deutsche Normenausschuß Bauwesen, DIN 18 005 E Teil 1 Schallschutz im Städtebau, Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen.
- Haeberle H., „Sound Emission from Chemical Production Plants, Applied Acoustics, Vol. 13, blz. 413-423 (1980).
- Grashof, M., Kauth, R., Smolen, H., Akustische Planung von petrochemischen Freianlagen – Möglichkeiten, Grenzen, Erfolge, Chem.-Ing.-Tech. Vol. 50, nr. 5, blz. 362-371 (1978), und VDI-Berichte nr. 315, blz. 160-169 (1987).
- Zink, D., Lärmtechnische Planung und Abwicklung von Lärmschutzmaßnahmen in petrochemischen Anlagen DAGA – congres '78, blz. 237-242 (1978).
- Beck, W., Petersen, J., Planungshinweise für Lärmarme Anlagen der Raffinerie und Petrochemie Erdöl und Kohle – Erdgas – Petrochemie, Vol. 31 nr. 9, blz. 404-411 (1978).
- Kraus, H., Lärminderung in Äthyleenanlagen, DAGA – congres 1980, Müller-BBM GmbH, blz. 253-256 (1980).
- Michelsen, R., Stüber, B., Lang, F., Ermittlungen zum Stand der Technik bei der Lärminderung in Kohleveredelungsanlagen, Müller-BBM GmbH, Umweltbundesamt bericht 105 03 101/102 (1986).
- Melke, J., Verschiedene Meßmethoden zur Bestimmung der emittierten Schalleistung Technische Überwachung, Vol. 18, nr. 7/8, blz. 245-251 (1977).

- Bordet, F. le Quere, Contribution à l'étude du bruit et à la prévention dans les raffineries Pétrole et Techniques, eerste deel: nr. 241, blz. 55-57, tweede deel: nr. 242, blz. 51-71 (1977).
- Dunker, H. W., Grashof, M., Wilde, G. E., Measures to reduce the emission of noise from open-air plants in refineries and petrochemical installations, World Petrochemical Congress Bucharest, Vol. 5, blz. 65-73.
- Schupp, G., Jacobs, A., Maßnahmen zur Verminderung der Schallabstrahlung von Kühlturm-Diffusoren, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Umweltbundesamt, Forschungsbericht 10503102/16 (1982).
- Fasold, W. e.a., Tachenbuch Akustik, Teil 1 und 2, VEB Verlag Technik Berlin.
- OCMA NWG-1, Noise Procedure Specification, OCMA NWG-5 Acoustic insulation of Pipes, Valves and Flanges, Oil Companies Materials Association, Heyden & Son Ltd. Londen NW4 2JQ, Engeland.
- CONCAWE, „Study of Noise from Steel Pipelines”, rep. 85155, CONCAWE, Den Haag.
- Choyce, A. B., „Geluid- en pulsatiedemping in de industrie”, Petrochem nr. 2 (1989).
- Nierop, C. A., Vos, P. H. de (1982) „Toepassing van de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai”, NAG-publikatie nr. 64.
- ICG-publikatie IL-HR-03-01, „Geluidemissie van ventilatoren”, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- ICG-publikatie IL-HR-03-02, „Geluidemissie van compressoren en mogelijkheden tot vermindering”, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- ICG-publikatie IL-HR-03-03, „Geluidemissie van dieselmotoren en mogelijkheden tot vermindering”, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- ICG-publikatie IL-HR-03-05, „Geluidemissie van hydraulische componenten en systemen voor energieoverdracht en mogelijkheden tot vermindering”, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- ICG-publikatie IL-HR-04-01, „Indeling industrieterreinen bedrijfsterreinen. Akoestisch gunstige indeling en veel gemaakte fouten”, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- Diverse DIN-normen met emissiekentallen en rekenprocedures voor industriële installaties, Beuth Verlag GmbH, 100772 Berlin (fax 0302601-1231), verkrijgbaar via het Nederlands Normalisatie Instituut, Postbus 5059, 2600 GB Delft.
- Diverse VDI-richtlijnen met emissiekentallen en rekenprocedures voor industriële componenten, Beuth Verlag GmbH, 100772 Berlin (fax 0302601-1231), verkrijgbaar via het Nederlands Normalisatie Instituut, Postbus 5059, 2600 GB Delft.

- Diverse ISO-standaards met meetprocedures voor industriële installaties, International Organisation for Standardization, verkrijgbaar via het Nederlands Normalisatie Instituut, Postbus 5059, 2600 GB Delft.

6. Literatuuroverzicht

- [1] Besluit van 5 januari 1993, houdende uitvoering van de hoofdstukken 1 en 8 van de Wet geluidhinder en hoofdstuk V van de Wet geluidhinder (Inrichtingen en vergunningenbesluit Milieubeheer).
- [2] Sanering industrielawaai, informatie voor bedrijven. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- [3] Handleiding zonering industrieterreinen (bestaande situaties), publikatiereeks Milieubeheer nr. 15. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1985).
- [4] Leidraad sanering industrielawaai, publikatiereeks Milieubeheer nr. 18. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (is herzien): Handboek sanering industrielawaai, Samsom H.D. Tjeenk Willink, (1995).
- [5] Bestuursovereenkomst Rijnmond-West, inzake de uitvoering van de hoofdstukken IV en V Industrielawaai van de Wet geluidhinder. Provincie Zuid-Holland, Dienst Water en Milieu.
- [6] Baars, R (1994) „Kosteneffectief geluidontwerp van warmte-krachtcentrales”, Petrochem nr. 6, 45-47.
- [7] Lärmbekämpfung '88 (tendenzen-probleme-losungen) Materialien zum Vierten Immissionsschutzbericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag. Erich Schmidt Verlag Berlin.
- [8] Heckl, M., Müller, H. A. „Taschenbuch der Technischen Akustik”, 2e Auflage, Springer Verlag Berlin.
- [9] Jansen, R. P. M. „Flow induced noise in gas piping”, Petrochem nr. 5 (1993).
- [10] Stüber B., Lang, F. „Gasdurchstromte Stellventile, näherungsweise Berechnung der Schallabstrahlung der angeschlossenen Rohrleitungen”. Müller-BBM Bericht 11461, MURL NWR Forschungsbericht III B 2-8824.3-RI.
- [11] ANSI/ISA-S75.01-1985, „Flow Equations for sizing Control Valves, American National Standard”. ISA-S75.17.1989, „Control Valve Aerodynamic Noise Prediction”, American National Standard, instrument society of America, P.O. Box 12277, North Carolina 27709.
- [12] Stüber B., „Schalldämpfer für gasdurchstromte Rohrleitungen mit breitbandiger Dämpfung auch für den Körperschallweg”. Müller-BBM studie, VDI bericht 938, Schalltechnik '92.

- [13] Reinicke W., Danner J., Kurze U. J., „Schallabstrahlung von Schornsteinen-Messungen und Technische Möglichkeiten zu ihrer Minderung“, Umweltforschungsplan des Bundesministeris des Innern, Forschungsbericht 105-03-301, Müller-BBM/München.
- [14] Stüber B., Fritz K., Lang F., „Stand der Technik bei der Lärminderung in der Petrochemie, Müller-BBM, Bundesministerium der Innern, Forschungsbericht 79-105-03-302;
- [15] Grashof M., Strunz D., Wilde G., Leitfaden für die akustische Planung von Freianlagen in Raffinerien und petrochemischen Werken, Bayer AG, DGMK-project 208, (1982).
- [16] Lärmschutz bei Erdölraffinerien. Planungshinweise. Herausgegeben: Minister für Arbeit, Gesundheit und soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Ausgearbeitet: Lurgi-Mineraltechnik GmbH, Frankfurt (1977).
- [17] Meier, A. von, Jovicic, S. (1976) „Geluiduitbreiding in fabriekshallen“, NAG-publikatie nr. 37.
- [18] Jovicic, S., „Untersuchungen zur Vorausbestimmung des Schallpegels in Betriebsgebäuden“ (opdrachtgever: Minister für Arbeit, Gesundheit und soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, No. III B 2-8824.3) Rapport No. 2151 door Müller-BBM, München, van 30 nov. 1971.
- [19] ICG-publikatie IL-HR-13-02, „Geluidafstraling van wanden en gebouwen“, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- [20] ICG-publikatie IL-HR-13-01, „Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- [21] Nierop, C. A., Meier, A. Von (1975) „Measuring techniques for source identification in industrial plants“, NAG-publikatie nr. 33.
- [22] Stüber, B., Fläxl, P., Deutsche Gesellschaft für Mineralölwissenschaft und Kohlechemie E.v. „Flächenbezogene A-Schalleisungspegel von Raffinerien und petrochemischen Werken, Müller-BBM, Bericht nr. 5596/4.
- [23] Schreiber, L., „Schallabstrahlung von Chemie-Anlagen“, Verband der chemische Industrie E.v. Müller-BBM, Bundesministerium der Innern, Forschungsbericht 79-105-03-302.
- [24] Nierop, C.A. (1995) „Noise Prediction Method for Allotting Emission Quotas to Industrial Areas“ International Congress on Acoustics (ICA '95) Trondheim, Norway, 26-30 June 1995.
- [25] Nierop, C. A., „Kentallen „Stand van de techniek“ industriële inrichtingen“, M+P rapport MVM.91.5.1, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.