

Science Park Eindhoven 5634

5692 EN SON

Postbus 26

5690 AA SON

T +31 (0)40-3031100

F +31 (0)40-3031101

E eindhoven.ch@dpa.nl

www.chri.nl

K.v.K 58792562

IBAN NL71 RABO 0112 075584



Vervolgonderzoek Geluid Binnenvaartschepen Eindrapport - definitief

Datum 31 maart 2015
Referentie 20140720-06

De Rondon 10

5612 AP Eindhoven

T: +31 (0)40 2472700

E: info@levelacoustics.nl

www.levelacoustics.nl

Kvk nr: 17196196



Referentie 20140720-06
Rapporttitel Vervolgonderzoek Geluid Binnenvaartschepen
Eindrapport - definitief

Datum 31 maart 2015

Opdrachtgever Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Plesmanweg 1-6
2597 JG DEN HAAG
Telefoon 070 456 1028
Telefax 070 456 1694
Contactpersoon De heer R. Vermeulen

Behandeld door C.J. Ostendorf
dr. ir. N. Geebelen
DPA Cauberg-Huygen B.V.
Science Park Eindhoven 5634
5692 EN SON
Postbus 26
5690 AA SON
Telefoon 040-3031100
Fax 040-3031101

Drs. A. Koopman
Ir. C.E. Laudij
Level Acoustics BV
De Rondon 10
5612 AP Eindhoven
Telefoon 040-2472700

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	4
2	Inleiding	6
2.1	Scope	6
2.2	Onderzoeksvragen	7
2.3	Leeswijzer	7
3	Geluidmetingen schepen	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Geluid op het schip	8
3.2.1	Selectie schepen	8
3.2.2	Uitvoering metingen	10
3.2.3	Meetresultaten	10
3.2.4	Vergelijking met vooronderzoek	11
3.2.5	Samenvattende conclusies	12
3.3	Geluid naar de omgeving	13
3.3.1	Algemeen	13
3.3.2	Meet- en rekenresultaten uitlaat	13
3.3.3	Meetresultaten langsvarende schepen	14
3.4	Samenvatting	16
4	Geluidreducerende maatregelen	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Trillingsmetingen	17
4.2.1	Uitvoering	17
4.2.2	Wijze van analyse	17
4.2.3	Meetresultaten	18
4.3	Theoretisch effect maatregelen	21
4.3.1	Algemeen	21
4.3.2	Mogelijke reductie door trillingsgeïsoleerd opstellen motor en/of keerkoppeling	24
4.3.3	Mogelijke reductie door ontdreuningsmatten	24
4.3.4	Mogelijke reductie door antigeluid	25
4.4	Reductie in de praktijk	26
4.5	Kosten maatregelen	28
4.6	Keuze van maatregelen	28
4.7	Effect volgorde maatregelen	31
4.8	Maatregelen catalogus scheepvaart	37
4.9	Samenvatting	38
5	Flexibilisering normstelling	40
5.1	Inleiding	40
5.2	Enquête	40
5.2.1	Opzet	40
5.2.2	Resultaten	40

5.3	Voorstel ontheffingssystematiek	41
5.3.1	Voorkeursgrenswaarde en maximale ontheffingswaarde	41
5.3.2	Doelmatigheid maatregelen	43
5.4	Representatieve blootstelling	44
5.4.1	MCR-mix	44
5.4.2	Saldering	44
5.5	Advies	46
6	Meetprotocol	48
6.1	Inleiding	48
6.2	Meetprotocol inspecteur	48
6.2.1	Opzet Meetprotocol	48
6.2.2	Meetprotocol ter controle geluidniveau	49
6.2.3	Stroomschema per ruimte	50
6.2.4	Digitaal meetformulier	51
6.2.5	Verdere aanbevelingen	51
6.3	Meetprotocol adviseur	52
6.4	Advies	54
7	Conclusies en aanbevelingen	56

Bijlagen

Bijlage I	Plattegronden en doorsneden schepen
Bijlage II	Ingevulde vragenlijsten schepen
Bijlage III	Resultaten geluidmetingen
Bijlage IV	Resultaten geluidmetingen op 25 m
Bijlage V	Resultaten trillingsmetingen
Bijlage VI	Resultaten enquête
Bijlage VII	Verklarende begrippenlijst

1 Samenvatting

Binnenvaartschepen op de internationale Rijn moeten voldoen aan technische eisen, afgesproken in de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) en vastgelegd in het Reglement voor onderzoek van schepen op de Rijn (ROSR). In 2003 is besloten dat schepen gebouwd voor het jaar 1976 ook moeten gaan voldoen aan deze eisen. Hieronder vallen enkele eisen die worden gesteld aan de productie van geluid van binnenvaartschepen. Door de brancheorganisaties voor de binnenvaart is bij het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) gesignaleerd dat het voldoen aan de geluideisen zal leiden tot technische en/of financiële knelpunten. Onderzoek door TNO en Level Acoustics¹ bevestigt bovenstaand beeld (dit onderzoek heet verder het 'vooronderzoek').

Het voorliggende onderzoek geeft antwoord op vier hoofdvragen:

1. Bevestigen aanvullende metingen bij meer schepen de conclusies uit het vooronderzoek?
2. Met welke geluidreducerende maatregelen kan het geluidniveau worden verlaagd, wat is het effect van deze maatregelen en wat zijn hiervan de kosten?
3. Kan, onder bepaalde voorwaarden, een meer flexibele toetsingsnorm worden aangehouden?
4. Is het bestaande meetprotocol werkbaar of zijn aanpassingen gewenst rekening houdend met de mogelijk flexibele toetsingsnorm?

Geluidniveaus

Voor de 9 schepen die gemeten zijn (4 in het vooronderzoek en 5 in het huidige onderzoek) wordt in de machinekamer en de stuurhut op alle schepen en onder alle condities voldaan aan de normen. In de woon- en slaapkamer vinden overschrijdingen plaats bij 95% MCR (maximaal motorvermogen). Wanneer de MCR-mix wordt toegepast, voldoet het geluidniveau in de woonkamer bij veel schepen. In de slaapkamers wordt de overschrijding bij gebruik van de MCR-mix beperkter (6-16 dB), maar is nog wel aanwezig. De geluidmetingen op 25 meter afstand tonen aan dat de schepen nu al voldoen aan de geluideisen.

Maatregelen

De motor is op alle schepen de meest dominante bron. De schroef en keerkoppeling zorgen ook voor relevante geluidniveaus, maar zijn minder dominant. Als maatregelen worden aangeraden: het op veren zetten van de motor en het verstevigen van de fundatie van de motor in combinatie met het toepassen van ontdreuningsmatten in ontvangruimtes. Het treffen van maatregelen aan de motor heeft vanuit technisch oogpunt de voorkeur (effect op alle ruimten), maar brengt hogere kosten met zich. Alleen ontdreunen is relatief goedkoop, maar het effect is beperkt tot de ruimte waar de ontdreuning wordt toegepast en de te behalen reductie is veel minder dan in combinatie met maatregelen aan de motor.

Om de maximale niveauverlagingen daadwerkelijk te behalen, dienen analyse en uitvoering van maatregelen deskundig te gebeuren.

Normstelling

Geluidniveaus op schepen worden nu beoordeeld op een momentaan geluidniveau bij 95% MCR. Veel schepen varen niet of nauwelijks met dit vermogen.

¹ Rapport 2013 R11830, juli 2014, Overgangstermijnen geluidsnormen binnenvaart - Geluidstechnische en financiële consequenties van het toepassen van de normen – Definitief rapport

Het ligt voor de hand om de beoordeling van het geluidniveau uit te voeren bij representatieve omstandigheden. In het vooronderzoek is daartoe al het voorstel gedaan voor de MCR-mix.

Bezien vanuit het licht van bescherming van schippers is het daarnaast goed mogelijk te salderen over tijd en ruimte. Vervolgens wordt een ontheffingssystematiek voorgesteld die gebaseerd is op de systematiek uit de Wet geluidhinder die al lang wordt gebruikt bij andere vormen van geluid. De ontheffingssystematiek bestaat uit een voorkeursgrenswaarde (de huidige eisen uit de ROSR) en een hoger gelegen maximale ontheffingswaarde. Boven de maximale ontheffingswaarde moeten altijd maatregelen worden getroffen. Onder de maximale ontheffingswaarde worden maatregelen beoordeeld op hun doelmatigheid. Als ultieme maatregel worden aanpassingen bij de ontvanger voorgesteld. Ook bestaat de mogelijkheid om gebruik te maken van exploitatiewijze A1, waardoor eisen aan de slaapkamers vervallen (voor uitleg van begrippen zie begrippenlijst).

Meetprotocol

Voor de controlemetingen door ILT wordt in dit rapport een digitaal meetformulier voorgesteld voor het meten volgens de MCR-mix. Daarbij hoeft niet de hele mix gemeten te worden; de meting vindt plaats tot wordt voldaan. Verder is bekeken welk meetprotocol minimaal aangehouden moet worden om bronnen en maatregelen aan te kunnen wijzen. Het voorgestelde meetprotocol bevat naast geluidmetingen ook trillingsmetingen aan wanden, plafond en vloer om te bepalen aan welke vlakken maatregelen moeten worden getroffen.

2 Inleiding

2.1 Scope

Binnenvaartschepen op de internationale Rijn moeten voldoen aan technische eisen, afgesproken in de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) en vastgelegd in het Reglement voor onderzoek van schepen op de Rijn (ROSR).

Wanneer het reglement wordt aangevuld met nieuwe technische eisen, gelden deze nieuwe eisen in principe voor schepen die vanaf dat moment nieuw worden gebouwd. Voor schepen die dateren van voor de totstandkoming van dergelijke nieuwe voorschriften, wordt in de regel een overgangstermijn vastgesteld die op een bepaalde datum afloopt. Bij verlenging van het Certificaat van Onderzoek na de einddatum van de overgangstermijn moeten ook deze oudere schepen aan de voorschriften voldoen.

Bovenstaande systematiek is ingevoerd in 2003. Voor die tijd golden nieuwe eisen per definitie alleen voor nieuw te bouwen schepen. Met de invoering van deze systematiek is tevens besloten dat alle bestaande binnenvaartschepen op enig moment aan het reglement van 2003 moesten voldoen.

Het onderhavig onderzoek heeft betrekking op de eisen die worden gesteld aan de productie van geluid van binnenvaartschepen. Meer in het bijzonder gaat het om de volgende bepalingen uit het ROSR:

- Artikel 3.04, zevende lid, geluidsdruk machinekamer;
- Artikel 7.01, tweede lid, geluidsdruk in stuurhut;
- 8.10, tweede en derde lid, geluidsdruk 25 meter afstand schip;
- 12.02, vijfde lid, geluidsdruk woon- en slaapruidten.

Deze eisen zijn ingevoerd in 1975. In 2003 is de overgangstermijn gesteld op 1 januari 2015. Inmiddels is deze verlengd tot 1 januari 2020.

Door de brancheorganisaties voor de binnenvaart is bij het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) gesignaleerd dat het voldoen aan de geluideisen zal leiden tot technische en/of financiële knelpunten voor diverse categorieën van oudere binnenschepen. Onderzoek door TNO en Level Acoustics² bevestigt bovenstaand beeld (verder 'vooronderzoek'). Metingen op een viertal schepen wijzen uit dat het met name in woon- en slaapruidten niet mogelijk is om aan de geluidnormen uit het ROSR te voldoen. Maatregelen om de optredende geluidniveaus te reduceren zijn kostbaar en het is nog maar zeer de vraag of na toepassing van deze maatregelen de normen wel worden gehaald.

² Rapport 2013 R11830 v5 d.d. 21 mei 2014, Overgangstermijnen geluidsnormen binnenvaart - Geluidstechnische en financiële consequenties van het toepassen van de normen

2.2 Onderzoeksvragen

Het resultaat van het TNO/Level onderzoek was voor I&M aanleiding om een vervolgonderzoek uit te laten voeren dat antwoord geeft op vier hoofdvragen:

1. Bevestigen aanvullende metingen bij meer schepen de conclusies uit het vooronderzoek?
2. Met welke geluidreducerende maatregelen kan het geluidniveau worden verlaagd, wat is het effect van deze maatregelen en wat zijn hiervan de kosten?
3. Kan, onder bepaalde voorwaarden, een meer flexibele toetsingsnorm worden aangehouden?
4. Is het bestaande meetprotocol werkbaar of zijn aanpassingen gewenst rekening houdend met de mogelijk flexibele toetsingsnorm?

Het vervolgonderzoek is uitgevoerd door de combinanten DPA Cauberg-Huygen B.V. en Level Acoustics in samenwerking met de onderaannemer Rubber Design. In voorliggende rapportage worden de bevindingen van het onderzoek uiteengezet en wordt antwoord gegeven op bovenstaande vragen.

2.3 Leeswijzer

In de hoofdstukken 3 t/m 6 wordt ingegaan op de invulling van de vier onderzoeksvragen. De rapportage sluit af met hoofdstuk 7: conclusies en aanbevelingen.

3 Geluidmetingen schepen

3.1 Inleiding

De eerste onderzoeksvraag luidt: bevestigen aanvullende metingen bij meer schepen de conclusies uit het vooronderzoek? In de voorbereiding van de uitvoering van het voorliggende onderzoek is deze onderzoeksvraag anders geformuleerd: 'Zijn de conclusies uit het vooronderzoek ook geldig voor andere (soorten) schepen?' Om deze vraag te kunnen beantwoorden, zijn in eerste instantie aanvullende metingen uitgevoerd op vijf schepen. In paragraaf 3.2.1 is omschreven op welke wijze de betreffende schepen zijn geselecteerd. Het streefdoel was meetdata te verzamelen voor een zo breed mogelijk spectrum van type schepen. Zoals omschreven in paragraaf 2.1 zijn in het vooronderzoek 4 type schepen doorgemeten. In totaal is nu het beeld bekend van de geluidsituatie aan boord van 9 verschillende type schepen. De resultaten en beoordeling van de geluidmetingen zijn gerapporteerd in paragraaf 3.2.3 en 3.2.4.

Daarnaast zijn ook aanvullende geluidmetingen uitgevoerd met betrekking tot het geluid van binnenvaartschepen naar de omgeving. De uitgangspunten en resultaten zijn gegeven in paragraaf 3.3.

Gelijktijdig met de geluidmetingen zijn ook trillingsmetingen uitgevoerd op alle schepen. De resultaten van de trillingsmetingen, met als doel het vaststellen van de maatgevende overdrachtspaden, zijn in hoofdstuk 5 verder uitgewerkt in relatie tot de analyse van de geluidreducerende maatregelen.

3.2 Geluid op het schip

3.2.1 Selectie schepen

Het gaat om schepen met een bouwjaar vóór 1976. Het vooronderzoek heeft betrekking gehad op een viertal schepen:

- Marina, verlengd Dortmund-Eems kanaalschip, motortankschip;
- Twillis, verlengd Rijn-Herne schip, motorschip.;
- Estero, Kempenaar, motorschip;
- Valé, Rijn-Herne schip, motorschip.

In voorliggend onderzoek is de steekproef verder uitgebreid met vijf schepen. Oorspronkelijk was uitgegaan van zes schepen maar de spits 'Westropa' (zie tabel 3.1) is uiteindelijk niet gemeten. Het bleek niet mogelijk om binnen de bedrijfsvoering van het schip en de loop van het project tot een consensus te komen omtrent een meetdatum. Omdat het gaat om een validatie, is het belangrijk in de breedte, dus over het aantal type schepen, een dekkende steekproef te doen, onafhankelijk van het aantal van een type schip dat rondvaart. De schepen zijn dan ook met dat doel geselecteerd in samenspraak met de klankbordgroep en het ministerie. Het overleg met de klankbordgroep heeft plaatsgevonden op 2 september 2014 in Rotterdam. De selectie van het type schepen is op dat moment bepaald. Vervolgens hebben de leden van de klankbordgroep onder hun eigen leden en relaties gezocht naar schippers die bereid waren hun schepen te laten meten. Met deze schippers is contact opgenomen en een afspraak gemaakt voor een meetdag. Niet alle opgegeven schepen bleken beschikbaar binnen de meetperiode (oktober – november 2014, januari 2015). Dit heeft uiteindelijk geleid tot het overzicht van geselecteerde schepen zoals weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1: Selectie schepen

Naam schip	Type schip	Foto	Inventarisatie	Meetdatum
Melvin	Dortmunder, motorvrachtschip		06/10/2014	20/10/2014
Bobo	Duwboot		22/09/2014	24/10/2014
Kreeft	Kraanschip		06/10/2014	27/10/2014
Virginia	Passagiersschip		04/11/2014	26/11/2014
Viator	Rijn-Herne schip, motorvrachtschip		22/09/2014	10/12/2014
Westropa	Spits		10/11/2014	Niet gemeten, binnen looptijd project geen afspraak kunnen maken

Om inzicht te krijgen in de opbouw van het schip zijn de schepen geïnterviewd en volledig ingemeten alvorens de metingen uit te voeren. Dit heeft geresulteerd in de plattegronden en doorsneden die per schip zijn terug te vinden in bijlage I. Aan de schippers is gevraagd een vragenlijst in te vullen met betrekking tot diverse karakteristieken van het schip en het feit of al dan niet geluidreducerende maatregelen zijn getroffen in het verleden. De ingevulde vragenlijsten zijn terug te vinden in bijlage II.

3.2.2 Uitvoering metingen

Voor de uitvoering van de geluidmetingen is gebruik gemaakt van klasse I meetapparatuur³ (B&K 2250) die op regelmatige basis door een externe instantie wordt gekalibreerd.

Geluidmetingen zijn per ruimte uitgevoerd in één meetpunt, centraal in de ruimte. De microfoon is hierbij rustig heen en weer bewogen om de invloed van eventuele staande golven (lokale versterkingen of verzwakkingen van het geluid in een ruimte) te voorkomen. In de slaapkamers is aanvullend een geluidmeting uitgevoerd ter hoogte van het hoofdkussen.

De metingen op het schip hebben een aantal doelen:

- a. vaststelling of aan de normen wordt voldaan;
- b. identificeren van de dominante bronnen en paden om daaruit de meest efficiënte maatregelen voor dat schip af te leiden (zie ook hoofdstuk 5);
- c. bepalen hoe de meetprotocollen (waarin bedrijfscondities, meetpunten en andere zaken worden geregeld) kunnen worden vereenvoudigd (zie ook hoofdstuk 6).

3.2.3 Meetresultaten

In onderstaande tabel 3.2 zijn per schip de meetresultaten weergegeven.

De meetresultaten in tabel 3.2 zijn weergegeven bij zowel 95% van het maximaal continue beschikbare motorvermogen (verder 'MCR'), conform de ROSR voorschriften, als bij de voorgestelde MCR-mix.

De MCR-mix is een voorstel uit het vooronderzoek waarbij het geluidniveau wordt bepaald bij een mix van reële vermogens/toerentallen van de motor. Geen enkel schip vaart namelijk langdurig met 95% van het maximale motorvermogen. De MCR-mix bestaat uit een samenstelling van verschillende MCR's te weten 85%, 55%, 25% en 5%. Elk van deze percentages heeft een eigen weegfactor. In voorliggend onderzoek is het effect van de MCR-mix geëvalueerd. Daarom zijn de geluidmetingen uitgevoerd bij verschillende percentages van het motorvermogen.

De tabel geeft de resultaten voor de machinekamer, de stuurhut, de maatgevende woonkamer (in geval het schip meerdere woonkamers heeft) en de maatgevende slaapkamer. Grijs gearceerd zijn de waarden die niet aan de normen voldoen. In bijlage III worden de uitgebreide meetresultaten per schip gegeven.

³ Klasse 1 geluidmeters voldoen aan de specificaties uit de norm IEC 61672-1:2002. Ze hebben een gegarandeerde nauwkeurigheid over een breed temperatuurbereik, luchtvochtigheidsbereik en luchtdrukbereik. De afwijking voor een klasse 1 geluidmeter bedraagt slechts 0,5 tot 1,0 dB(A) in het middenfrequentiegebied.
Vervolgonderzoek Geluid Binnenvaartschepen
Eindrapport - definitief

Tabel 3.2: Meetresultaten geluidmetingen op het schip

Schip			Geluidniveaus in dB(A)			
	Ruimte		Machinekamer	Stuurhut	Woonkamer	Slaapkamer
	<i>Eis ROSR</i>		110	70	70	60
MELVIN	Meetconditie	85% MCR*	109	68	79	80
		MCR-mix	104	62	72	74
BOBO	Meetconditie	95% MCR	109	69	74	81
		MCR-mix	105	64	70	76
KREEFT	Meetconditie	95% MCR	104	64	73	73
		MCR-mix**	--	--	--	--
VIRGINIA	Meetconditie	95% MCR	103	51	75	72
		MCR-mix	99***	48***	70	70
VIATOR	Meetconditie	95% MCR	108	60	75	72
		MCR-mix	103	56	67	66

* 85 % MCR maximaal haalbaar

** andere percentages van het MCR niet relevant en ook niet gemeten

*** niet bij alle percentages van het MCR kunnen meten, MCR-mix bepaald o.b.v. interpolatie

Tabel 3.2 laat zien dat in de slaapkamer en woonkamer bijna altijd een overschrijding van de norm plaatsvindt. In de machinekamer en de stuurhut wordt altijd voldaan aan de norm.

3.2.4 Vergelijking met vooronderzoek

In onderstaande tabel 3.3 zijn op een gelijkaardige manier de meetresultaten van de 4 schepen uit het vooronderzoek gepresenteerd.

Tabel 3.3: Meetresultaten vooronderzoek

Schip			Geluidniveaus in dB(A)			
	Ruimte		Machinekamer	Stuurhut	Woonkamer	Slaapkamer
	Eis ROSR		110	70	70	60
MARINA	Meetconditie	95% MCR	107	64	78	74
		MCR-mix	--*	--*	--*	--*
TWILLIS	Meetconditie	100% MCR**	109	69	78	81
		MCR-mix	--*	--*	--*	--*
ESTERO	Meetconditie	100% MCR**	106	66	75	80
		MCR-mix	101	61	70	74
VALÉ	Meetconditie	92% MCR	109	66	67	70
		MCR-mix	105	62	65	68

* noodzakelijke percentages van het MCR niet gemeten

** 100% MCR gemeten i.p.v. 95 % MCR

3.2.5 Samenvattende conclusies

Voor de 9 schepen die gemeten zijn, kunnen onderstaande conclusies worden getrokken:

- **In de machinekamer en de stuurhut wordt op alle schepen en onder alle condities voldaan** aan de normen;
- In 89% van de gevallen wordt in de woonkamer niet voldaan bij conditie 95% MCR. De geconstateerde overschrijdingen bedragen 2 tot 9 dB;
- Wanneer voor de woonkamers de MCR-mix wordt toegepast, zijn er minstens 4 schepen extra die kunnen voldoen. De 'winst' die op deze manier kan worden behaald, bedraagt in de woonkamers 2 tot 8 dB.
- **In 100% van de gevallen wordt in de slaapkamer niet voldaan bij conditie 95% MCR.** De geconstateerde overschrijdingen bedragen 10 tot 21 dB;
- Wanneer voor de slaapkamers de MCR-mix wordt toegepast, kunnen ze nog steeds niet aan de normen voldoen. De overschrijdingen zijn wel beperkter: 6 tot 16 dB.

Opmerking: Tijdens het tweede overleg met de klankbordgroep op 16 maart 2015, is naar voren gekomen dat geen schip is geselecteerd waarbij de stuurhut zich direct boven de machinekamer bevindt. Bovenstaand wordt geconcludeerd dat op alle schepen en onder alle condities in de stuurhut aan de eisen wordt voldaan. De verwachting is dat dit niet altijd het geval zal zijn bij schepen die de stuurhut gepositioneerd hebben direct boven de machinekamer. Aannemelijk is dat de resultaten voor deze schepen in de stuurhut vergelijkbaar zullen zijn met de woonkamers van de gemeten schepen. Alleen door middel van aanvullende metingen kan hierover echter een definitieve uitspraak worden gedaan.

3.3 Geluid naar de omgeving

3.3.1 Algemeen

In het vooronderzoek is geen aandacht geschonken aan het geluid naar de omgeving. De rapportage vermeldt: “Aangezien de overschrijding van het toelaatbare geluidsniveau in de buitenlucht in de nabijheid van het schip direct gerelateerd blijkt te zijn met de overschrijding van de toelaatbare geluidsniveaus in de verschillende ruimten van het schip, behoeft geen apart onderzoek naar de geluidsniveaus in de buitenlucht te worden uitgevoerd.”

Op basis van onze ervaringen met het geluid van schepen blijken de uitlaat en in een aantal gevallen de uitstraling van de motorruimte, van belang voor de geluiduitstraling naar de omgeving. Voor de motorruimte ligt een directe relatie tussen geluidniveau in de ruimte en de geluiduitstraling voor de hand. Voor de motoruitlaat is die relatie minder duidelijk. Tijdens de metingen op het schip is daarom tevens het bronvermogen van de uitlaat bepaald om vervolgens op basis van berekeningen een inschatting te kunnen maken van het ontvangen geluidniveau op 25 meter.

Om de bewering uit het vooronderzoek te staven, zijn aanvullend gedurende één dag geluidmetingen uitgevoerd aan langsvarende binnenschepen waarbij per schip tijdens de passage elke seconde het gemiddelde en maximale geluidniveau spectraal is vastgelegd. Verder zijn de afstand, vaarsnelheid en het type schip vastgelegd. Op basis van de meetgegevens is conform de algemene eis het geluidniveau op 25 meter afstand berekend en beoordeeld.

3.3.2 Meet- en rekenresultaten uitlaat

Tijdens de metingen is op een afstand $1,5 \cdot d^4$ (met d = diameter uitlaat) het geluidniveau gemeten. Op basis hiervan is het bronvermogen van de uitlaat berekend. Dit bronvermogen is dan weer input geweest voor de berekening om te bepalen welk geluidniveau op 25 meter verwacht kan worden. Tabel 3.4 vat de resultaten van deze berekeningen samen. Tevens worden de eisen het de ROSR gegeven. Per schip is aangegeven wat het akoestisch bronvermogen is van de uitlaat (eventueel in combinatie met een rooster van de machiniekamer) en tot welk geluidniveau dit leidt op 25 meter afstand van de zijkant van het schip. Indien mogelijk is het geluidniveau weergegeven bij 95 of 85% MCR (varend schip) en bij 25% MCR (bijna stil liggend schip).

Voor varende schepen geldt een eis van 75 dB(A) uit het ROSR en voor schepen die stil liggen een eis van 65 dB(A).

⁴ volgens methode II.2 uit de Handleiding meten en rekenen industrielawaai, geconcentreerde bronnen
Vervolgonderzoek Geluid Binnenvaartschepen
Eindrapport - definitief

Tabel 3.4: Rekenresultaten

Schip		bronvermogen Lw [dB(A)]			Lp 25m [dB(A)]
		Rooster	Schoorsteen	Totaal	
Kreeft	95% MCR	95,6	102,1	103,0	62,4
Bobo	85% MCR		102,5	102,5	62,8
Bobo	25% MCR		93,6	93,6	53,9
Melvin	85% MCR		91,4	91,4	51,5
Melvin	25% MCR		78,8	78,8	38,9
Virginia	85% MCR		94,6	94,6	54,6
Virginia	25% MCR		75,6	75,6	35,6
Viator	85% MCR		92,2	92,2	52,0
Viator	25% MCR		79,7	79,7	39,5

Tabel 3.4 maakt duidelijk dat voor alle gemeten schepen geldt dat hun geluiduitstraling naar de omgeving voldoet aan de eisen uit het ROSR.

3.3.3 Meetresultaten langsvarende schepen

De geluidmetingen zijn uitgevoerd op 25 november 2014 lang het Julianakanaal bij Berg aan de Maas. Op de meetplaats was ruim zicht op de schepen, heerste een constant achtergrondniveau en was een voldoende groot aanbod van schepen mogelijk. Figuur 3.1 toont een impressie van de meetlocatie.



Figuur 3.1: meetlocatie passagemetingen Berg aan de Maas

In het totaal zijn ruim 40 passerende schepen gemeten waarbij per seconde het gemiddelde geluidniveau is vastgelegd gebruikmakend van de B&K 2250 geluidanalyzer.

Tijdens de passage werden de schippers gebeld om gegevens omtrent hun schip tijdens de passage op te vragen. Helaas wilden niet alle schippers meewerken en van een aantal schepen kon geen telefoonnummer of andere informatie worden gevonden.

Tabel 3.5 geeft de meetresultaten voor de schepen van voor 1976. Dit zijn 29 schepen. De resultaten in de tabel zijn gerangschikt van hoog naar laag geluidniveau. Een volledig overzicht van alle meetgegevens, ook van schepen van na 1976, is opgenomen in bijlage IV. Voor ieder schip is naast de naam en het type schip (soms aanname), het geluidniveau op 25 meter weergegeven evenals het percentage van het maximale toerental, de snelheid van het schip en het bouwjaar. Het geluidniveau op 25 meter is bepaald op basis van het hoogste geluidniveau per seconde tijdens de passage en gecorrigeerd voor het achtergrondniveau en de grotere meetafstand tot het schip.

Tabel 3.5: resultaat passagemetingen Nederlandse schepen

Naam schip	Type schip	L _{Aeq} [dB(A)] geme- ten op 25 meter	% van max toerental	Snelheid schip [m/s]	Bouwjaar
Stern	Dortmunder	75	72	2,3	1922
St. Agatha/Ram	Duwboot	72		2,7	1943
Laco9/Farley	Duwboot	72		2,3	1923
Wanssum/Ram	Duwboot	72		2,9	1943
Willie	Motorbeunschip	71		3,5	1967
Zwerver	Kempenaar	69	87	4,3	1954
Jan Cornelis	Brusselaar	68	100	4,1	1914
Poseidon	Europaschip	66		2,9	1955
Mover 4	Duwboot	66		3,3	1957
Ruan	Kempenaar	65	70	2,9	1966
Gelderland	Dortmunder	65	84	3,1	1966
Arta	Kempenaar	64	82	2,9	1966
Okinawa	Europaschip	64		3,5	1959
Brisant	Kempenaar	64		4,0	1962
Keiko	Spits	64		2,8	1951
Ecce-homo	Kempenaar	64		3,0	1959
Dorine	Europaschip	64		2,6	1958
Corja	Koenigfelbre	64	67	3,4	1935

Naam schip	Type schip	L _{Aeq} [dB(A)] geme- ten op 25 meter	% van max toerental	Snelheid schip [m/s]	Bouwjaar
Seolto	Kempenaar	63		2,9	1957
Loana-calista	Europaschip	62		3,1	1947
Alida	Kempenaar/Dortmunder	62	61	2,8	1961
Martyna	Dortmunder	61		4,1	1951
Vertrouwen	Kempenaar	61	61	2,8	1975
Peroli	Europaschip	61		1,9	1926
Miarca	Kempenaar/Dortmunder	61		3,1	1965
Calcit 3	Tankschip	61	56	2,6	1953
Diamond	Europaschip	61	63		1973
Farmsum	Dortmunder/Europaschip	57		3,2	1972

Tabel 3.5 toont dat van lang niet alle schepen het toerentalpercentage is achterhaald. Het gemiddelde percentage bedroeg 70%. De gecontacteerde schippers gaven aan zelden met meer vermogen te varen op het Julianakanaal dan nu opgegeven. Wat dat betreft biedt de meting een representatief beeld van de werkelijke situatie.

De meeste schepen (circa 83%) blijven onder de 70 dB(A) tijdens hun passage. Op basis van de meetgegevens is bovendien afgeleid dat een stijging in toerental van 70 naar 95% niet meer dan 3 dB(A) toename zal betekenen van het geluidniveau. In zijn algemeenheid volgt daaruit de conclusie op basis van tabel 3.5 dat **bijna alle schepen voldoen aan de eis van 75 dB(A) uit het ROSR**. Uitzondering hierop vormt de Stern. Haar motorgeluid klonk echter dusdanig afwijkend van de andere schepen dat de verwachting is dat er een probleem met de uitlaatdemper speelde. De schipper wilde hierover geen mededelingen doen.

3.4 Samenvatting

De geluidmetingen op en aan de schepen tonen aan dat de trend die in het vooronderzoek is geconstateerd, zich doorzet op de vijf onderzochte schepen:

- **in de stuurhut en machine kamer wordt voldaan aan de geluideisen;**
- **in de woonkamer meestal niet;**
- **in de slaapkamer nooit.**

De overschrijdingen kunnen oplopen **tot 20 dB(A)**. Met toepassing van de MCR-mix voldoet een aantal woonkamers wel aan de eis maar de daling in geluidniveau is niet zo groot dat daardoor alle overschrijdingen worden opgeheven. Het algemene beeld blijft bestaan en toont aan dat de geluideisen in het schip zonder geluidreducerende maatregelen niet haalbaar zijn.

De MCR-mix geeft wel een reëler beeld van de werkelijke geluidssituatie aan boord en vormt derhalve een goed vertrekpunt voor de maatregelen.

De veronderstelling uit het vooronderzoek dat de geluiduitstraling van de schepen naar de omgeving voldoet aan de eisen, wordt door de uitgevoerde geluidmetingen onderschreven.

4 Geluidreducerende maatregelen

4.1 Inleiding

De geluidmetingen hebben tot doel gehad om eventuele overschrijdingen van de eisen uit de ROSR te registreren onder verschillende gebruikscondities. De volgende stap is dat voor deze overschrijdingen gezocht wordt naar de oorzaak, zodat doelgerichte geluidreducerende maatregelen kunnen worden voorgesteld. Daartoe zijn op alle gemeten schepen trillingsmetingen uitgevoerd.

4.2 Trillingsmetingen

4.2.1 Uitvoering

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd in alle ruimten waarvoor geluideisen zijn gesteld in de ROSR. De trillingsmetingen hebben tot doel de dominante bronnen te bepalen vanuit de bronkant (de machinekamer) en de dominante afstralende vlakken aan de ontvangkant (stuurhut, woonkamer en slaapkamers). Hiertoe zijn de metingen verricht op alle zes vlakken van de ruimtes (vloer, plafond en vier wanden). In de stuurhut is enkel op de vloer gemeten. In de machinekamer is ook rondom de motor en de schroef gemeten. Er is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- Rion DA-21 4 kanaals data recorder;
- Bruel & Kjaer Triaxial deltatron accelerometer type 4506;
- Rion NL-52 sound level meter.

Uit de geluidmetingen is gebleken welke vermogensniveau (%MCR) maatgevend is voor de mate van overschrijding. De trillingsmetingen zijn in elk geval voor dit meest maatgevende vermogensniveau uitgevoerd en aanvullend op één ander vermogensniveau. Ook is op de meeste schepen een achtergrondmeting verricht en een meting tijdens het stationair draaien van de motor. Synchroon met de trillingsmetingen zijn geluidmetingen uitgevoerd om de trillingen aan te relateren.

4.2.2 Wijze van analyse

De geluid- en trillingsmetingen zijn zo uitgevoerd en geanalyseerd dat ze antwoord geven op de volgende vragen:

- welke bronnen zijn verantwoordelijk voor de overschrijdingen?
- wat zijn de afstralende vlakken in de ruimte die verantwoordelijk zijn voor de overschrijding?

Aan bronnen en afstralende vlakken zijn in meer of mindere mate maatregelen te nemen. Aan de overdrachtspaden, die bronnen en vlakken verbinden, is dat veel minder het geval. Ook zijn deze paden vaak complex en daardoor lastig te ontwarren. Paden zijn daarom niet de focus van dit onderzoek.

De formulering van de vraag impliceert dat er kwantitatief beantwoord moet worden hoeveel een bron of vlak bijdraagt aan de overschrijding, omdat alleen dan duidelijk is of meer dan 1 bron of vlak moet worden aangepakt, terwijl bovendien voorspeld kan worden wat het effect van een maatregel gaat zijn.

De procedure van de analyse is onderstaand samengevat. Een uitgebreide beschrijving van de analyse is te vinden op de eerste pagina van bijlage V. De belangrijkste technische begrippen zijn terug te vinden in de begrippenlijst in bijlage VII.

1. Benoemen van mogelijke bronnen (motor, keerkoppeling, schroef en cavitatie) zodat duidelijk is aan welke bronnen metingen moeten worden verricht. Ook wordt gemeten wat het achtergrondgeluid is met alle bronnen uit, zodat zeker is dat tijdens het varen puur naar de bijdrage van de op het schip aanwezige bronnen wordt gekeken.
2. Er wordt genoteerd welke bronnen duidelijk hoorbaar zijn in alle ruimtes, bijvoorbeeld doordat er een 'rattle' aanwezig is (een duidelijk ratelend geluid).
3. en 4. Vervolgens dient bepaald te worden wat het trillingsniveau is van de bronnen en de wanden in ontvangruimtes. Er is onder twee bedrijfscondities gemeten. Van de gemeten trillingen worden twee soorten spectra gemaakt, smalbandspectra en breedbandspectra.
5. Eerst wordt met smalbandspectra gekeken wat de tonale bronnen zijn. Tonale geluiden zijn voor het menselijk oor het meest herkenbaar en zorgen om die reden vaak voor de meeste overlast. Ze zijn vaak maar één of enkele frequenties breed.
6. Motor, schroef en keerkoppeling hebben allemaal tonale componenten. Soms zijn deze afzonderlijk als frequentie te herkennen. Indien dit niet mogelijk is, dan vormen deze bronnen voor de rest van de analyse een gezamenlijke bron, met een holistische aanpak tot gevolg.
7. Vervolgens wordt de breedbandige bijdrage geanalyseerd. Daarbij wordt gekeken naar trillingen die zich in het spectrum over meer frequenties verspreiden. Dit gebeurt over het algemeen in octaafbanden. Vaak zijn tonale componenten sterker dan breedbandige componenten. Daarom wordt vooral gekeken hoeveel de breedbandige componenten nog bijdragen in vergelijking met de tonale componenten.
8. en 9. Er wordt per wand in de ontvangruimte bekeken wat de bijdrage is in afstraling van geluid. Daarbij wordt dus bepaald hoe effectief een bepaalde wand meedoet in het creëren van geluidniveaus in de ruimte.
10. Tot slot wordt gekeken wat de geluidniveaus zullen zijn bij het wegnemen van bronnen.

4.2.3 Meetresultaten

In onderstaande Tabel 4.1 staat voor alle schepen de meest dominante bronnen weergegeven. Met "XX" is de meest dominante bron aangegeven, met "X" de overige dominante bronnen. Onder de tabel wordt per schip een toelichting gegeven op de analyse. Voor de volledige analyse van de meetresultaten conform paragraaf 4.2.2 wordt verwezen naar bijlage V.

In tabel 4.1 is te zien dat de motor op alle schepen de meest dominante bron is. De schroef zorgt ook voor geluidniveaus, maar is minder dominant. De keerkoppeling is met name verantwoordelijk voor niveaus bij hogere toerentallen. In de analyses is deze verhoging vooral breedbandig te zien. Een breedbandig niveau van de keerkoppeling duidt onder andere op cavitatiegeluid. Cavitatiegeluid wordt breedbandig buitenlangs doorgegeven aan de scheepswand richting de ontvangruimtes. Ruimtes dichtbij de schroef (dit zijn in de gemeten schepen de slaapkamers aan de achterkant van het schip) kunnen hierdoor extra hoge niveaus ontvangen. Cavitatie en schroef(huid) zijn daarom benoemd als belangrijke bron voor slaapkamers (en niet voor de woonkamer). Voor de woonkamers is alleen de verhoogde trilling van de keerkoppeling zelf de reden voor hoge niveaus.

Tabel 4.1: Dominante bronnen gemeten schepen

Schip	Ontvangende ruimte	Dominante bronnen					
		Motor	Keer- koppe- ling	Schroef (as)	Schroef (huid)	Cavitatie	Overige
MELVIN	Woonkamer	XX	X	X			
	Slaapkamers	XX	X	X	X	X	
BOBO	Woonkamer	XX	X	X			
	Slaapkamers	XX	X	X	X	X	
KREEFT	Woonkamer	XX	X	X			
	Slaapkamers	XX	X	X	X	X	
VIRGINIA	Woonkamer	XX	X	X			
	Slaapkamers	XX	X	X	X	X	
VIATOR	Woonkamer	XX	X	X			
	Slaapkamers	XX	X	X	X	X	

Meetresultaten Melvin

In de woonkamer is duidelijk te zien dat via de zijwanden geluid uit de motorkamer wordt overgebracht naar de ontvangruimte. Breedbandig lijkt ook de vloer een rol te spelen. De belangrijkste bron is de motor. Op hogere toerentallen is ook de keerkoppeling een belangrijke bron.

In de bakboord slaapkamer zijn de belangrijkste vlakken de achterwand en bakboordwand. Deze wanden worden via de scheepswand in trilling gebracht. Pieken zijn duidelijk afkomstig van de motor.

In de stuurboord slaapkamer was een 'rattle' (ratelend geluid) te horen in de achterwand. De achterwand geeft de grootste trillingen (door de 'rattle'), daarna de vloer en de stuurboordwand. De grootste pieken bevinden zich op de motorfrequenties.

Opmerkelijk is dat harmonischen van een enkele cilinderontsteking relatief hoge amplitudes geven, wat een indicatie kan zijn van een slechter lopende cilinder.

Meetresultaten Bobo

Voor de achterste slaapkamer in de Bobo lopen de overdrachtspaden voornamelijk via de wanden aangrenzend aan de machinekamer. De buitenwanden van het schip zijn het dominante pad voor trillingen in de voorste slaapkamers. Dit is geconcludeerd uit het feit dat voor de bakboord slaapkamer de bakboordwand het meest is geëxciteerd en voor de stuurboord slaapkamer de stuurboordwand. De vloer is in alle gevallen ook een belangrijk vlak. De excitaties worden voornamelijk veroorzaakt door de motor maar de schroef is met minder sterke trillingen ook te herkennen in het signaal. Er treedt een sterke resonantie (hevige trilling) op rond 50-60 Hz bij de lage toerentallen. De schipper bevestigde dit op basis van zijn eigen waarnemingen. De motor is als bron over het algemeen dominant maar de schroef is ook zichtbaar.

Al met al zijn de overdrachtspaden duidelijk te identificeren. De motor is de voornaamste bron en de trillingen worden via de motorbasis en koppeling doorgegeven aan de scheepswand. Het pad loopt via de buiten- en tussenwand naar de buiten- en achterwanden van de voorste slaapkamers en woonkamer.

De achterste slaapkamer bevindt zich dicht bij de motor, waardoor vele wanden worden aangeslagen, maar voornamelijk de voorwand, waar de machinekamer zich ook aan bevindt. Toename van trillingen bij hogere toerentallen zijn toe te schrijven aan de koppeling en motor.

Meetresultaten Kreeft

Voor de Kreeft geldt dat er in veel gevallen meerdere dominante vlakken zijn per kamer, wat te verklaren kan zijn door de plaatsing van de machinekamer ten opzichte van de ontvangruimtes. De 4^e orde van de motor is duidelijk zichtbaar in de frequentieanalyse op 1650 toeren (maximale gemeten toerental). Motorfrequenties zijn duidelijk zichtbaar. Paden zijn weer via de dragende wanden naar de slaapkamers (buitenwanden). In de woonkamer telt de vloer het meeste mee. Toename van trillingen bij hogere toerentallen is voornamelijk in laagfrequent en hoogfrequent gebied, minder in de relevante 1 kHz band. Toename van trillingen bij hogere toerentallen zijn toe te schrijven aan de koppeling.

Meetresultaten Virginia

De Virginia heeft twee motoren met verschillende verhoudingen in de tandwielkasten. Zodoende varieert het motortoerental. Dit is te merken aan de pieken in het spectrum. In bijlage V is een vergelijkend overzicht weergegeven van de karakteristieken van de motoren. Eén van de motoren droeg meer bij qua trillingen dan de andere. De stuurboordmotor lijkt iets dominanter, vanwege hogere pieken in dwarsrichting. Het weinige verschil in geluidsniveau als gevolg van toerentalverschil is echter opvallend. Er zijn duidelijke gebieden te identificeren met een sterkere trilling, bijvoorbeeld rond 60 Hz bij 1560 toeren. Bij hogere toerentallen verschuift dit gebied naar hogere frequenties.

Er zijn resonanties gemeten op motor en koppeling van rond de 30 en 60 (bij lage toerental) Hz, die consistent verschuiven bij verhoging van het toerental. De toename in de 125 Hz band is bij hogere toerentallen hieraan te danken. Dit is waarschijnlijk een 1^e en 2^e orde motorfrequentie. In de frequentieanalyse zijn de 1^e en 4^e orde motorfrequenties duidelijk zichtbaar. Niet-motorfrequenties zijn ook duidelijk zichtbaar (afkomstig van de schroef).

Meetresultaten Viator

De motor is goed als bron terug te vinden in de panelen. De motor is dominant, maar de schroef is ook te herkennen. Voor de stuurboord slaapkamer zijn de voornaamste afstralende panelen het plafond (voor lage frequenties), de achterzijde en de stuurboord zijde. Voor de bakboord slaapkamer zijn dit de vloer en de bakboordzijde. Voor de woonkamers zijn dit de vloer en de stuurboord en bakboord zijden. Bij vergelijking van twee verschillende motortoerentallen is de keerkoppeling de oorzaak van de toename van het geluid in de kamers.

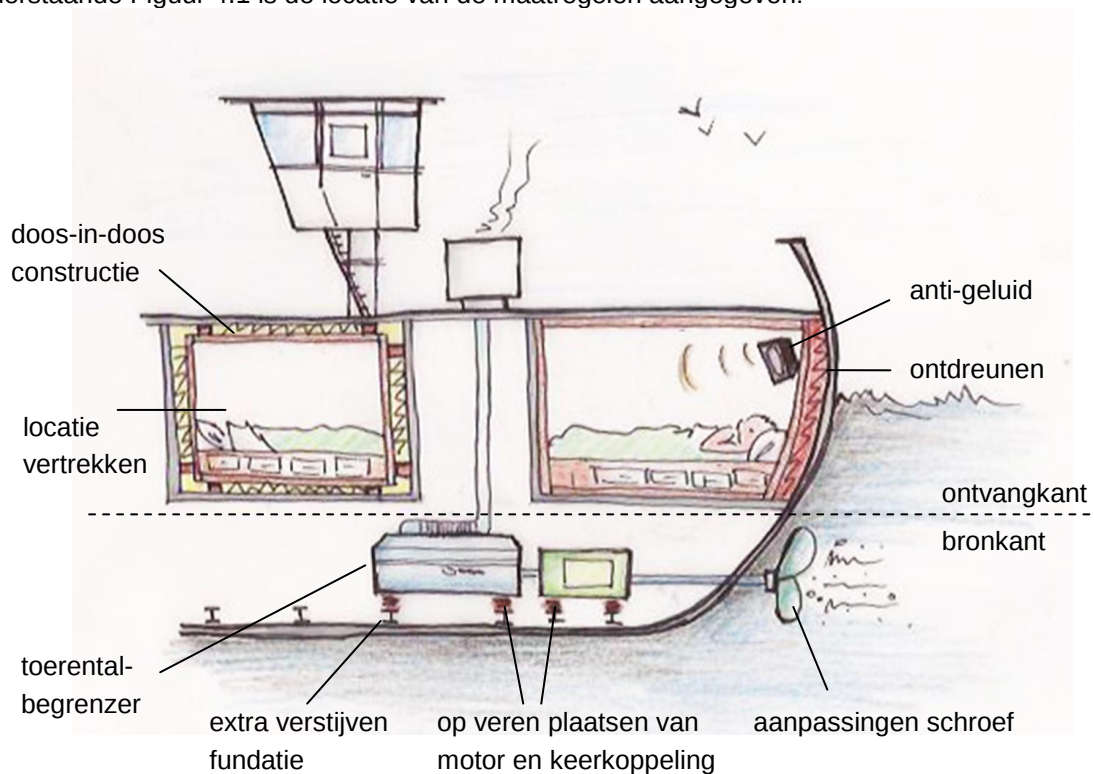
4.3 Theoretisch effect maatregelen

4.3.1 Algemeen

Er zijn verschillende maatregelen aan te wijzen om de overschrijdingen op te lossen:

- trillingsgeïsoleerd opstellen motor;
- begrenzen toerental van de motor;
- trillingsgeïsoleerd opstellen keerkoppeling;
- extra verstijven van fundatie motor en/of keerkoppeling;
- aanpassingen aan de schroef zelf en aan de doorvoer van de schroef;
- ontdreunen wanden/vloeren/plafonds van slaap- en woonkamers;
- doos-in-doos constructies;
- omwisselen woon- en slaapvertrekken;
- antigeluid.

In onderstaande Figuur 4.1 is de locatie van de maatregelen aangegeven:



Figuur 4.4.1: Maatregelen in beeld

Omkasten van motor en/of fundatie, a priori een wellicht voor de hand liggende maatregel, is in de lijst van maatregelen niet opgenomen omdat dit alleen een geluidreductie oplevert voor de machinekamer maar niet voor de leefvertrekken. Omkassen zorgt namelijk alleen voor een reductie van het luchtgeluid maar niet voor een reductie van het constructiegeluid dat maatgevend is voor het geluidniveau in de leefvertrekken.

Enkele maatregelen in de lijst zijn vanwege hun kosten of andere praktische bezwaren waarschijnlijk niet uitvoerbaar. Voor deze maatregelen is onderstaand kort uitgelegd wat ze inhouden en wat de bezwaren zijn.

Voor de andere maatregelen is in de navolgende paragrafen iets uitgebreider ingegaan op de fysische werking van een maatregel, het (theoretisch) effect van die maatregel en de kosten.

Mogelijke reductie door begrenzing van toerental

Het komt voor dat bij het (her)motoriseren van schepen een motor wordt geplaatst die (veel) meer vermogen heeft dan er gebruikt wordt tijdens het varen. De regelgeving omtrent het meten van geluidniveaus baseert zich echter op percentages van het totale motorvermogen. In zowel het vooronderzoek als het huidige onderzoek is naar voren gekomen dat **de overschrijdingen van de eisen in het ROSR met name plaatsvinden bij hogere toerentallen**. Het loont dus om bij hermotorisering van een schip voor een motor te kiezen die niet méér vermogen heeft dan nodig is.

Een andere mogelijkheid om de geluidniveaus op het schip laag te houden, is het toepassen van een begrenzer. Hiermee zullen toerentallen/motorvermogens onder een bepaald niveau blijven en daarmee de geluidniveaus worden beperkt. Een lager vermogen zal al naar gelang de al gepleegde maatregelen op het schip enkele dB's opleveren. Er zal per schip bekeken moeten worden op welk vermogen zo'n begrenzer afgesteld dient te worden. Een bijkomend voordeel is dat regelgeving soms gebaseerd is op maximale vermogens. Lagere maximale vermogens betekent dan minder strenge regels. Wel moet gelet worden op bestaande regelgeving, zoals bijvoorbeeld de minimumsnelheid van 13 km/uur, waaraan moet worden blijven voldaan.

Aanpassingen aan de schroef

Als in de analyses duidelijke **schroeffrequenties** herkenbaar zijn, dan is de schroef een bron. Trillingen van de schroefbladen kunnen via het water de scheepsconstructie bereiken, of via de schroefas en de lagering ervan. Een slechte uitlijning van de schroefas kan de trillingskrachten op de lagering (en dus het geluid in het schip) verergeren. Schroefbladen kunnen trillen omdat ze relatief licht zijn (in verhouding tot het vermogen dat ze moeten doorgeven) of omdat ze beschadigd zijn.

Behalve de schroeffrequenties is de schroef ook de bron van **cavatiegeluid**. Dat is breedbandig geluid dat vaak pas vanaf een bepaald toerental optreedt. Dit geluid wordt veroorzaakt door het imploderen van de luchtbelletjes die de schroef in het water opwekt en het plant zich voort door het water naar de scheepshuid. Cavatiegeluid is vooral gerelateerd aan de vorm van de schroef en de omwentelfrequentie.

Aanpassen van de schroef betekent, afhankelijk van de situatie:

- Vervangen van een beschadigde schroef;
- Vervangen van de schroef door een schroef die minder trilt (die bijvoorbeeld zwaarder of stijver is) waardoor de trillingsniveaus bij de schroeffrequenties lager worden;
- Vervangen van de schroef door een schroef die door zijn vorm minder cavatie veroorzaakt;
- Vervangen van de schroef door een schroef die bij een lager toerental dezelfde stuwkracht kan leveren (bijvoorbeeld meer of grotere bladen) waardoor schroeffrequenties lager van toon en lager in niveau worden en cavatie niet meer optreedt;
- Opnieuw uitlijnen van een (slecht uitgelijnde) aandrijf-as, waardoor schroeffrequenties minder goed worden doorgegeven aan de scheepsconstructie;

- Toepassen van een straalbuis. Door het profiel van de straalbuis (vorm van een draagvleugel) ontstaat er liftwerking. De aanstroomsnelheid wordt verhoogd en daarmee de druk verlaagd. De straalbuis levert een positieve stuwdruk die groter is dan de verminderde stuwkracht van de schroef. Daardoor wordt het voorstuwingsrendement van de schroef verhoogd (circa 20%). Tegelijkertijd beschermt de straalbuis de schroef en is er betere koersstabiliteit. De kans op cavitatie is echter wel groter, afhankelijk van de lift-weerstandverhouding.

Een andere schroef zal in veel gevallen ook betekenen dat motor en/of keerkoppeling moet worden vervangen, omdat de aandrijflijn (motor+keerkoppeling+schroef) een geïntegreerd geheel is dat geoptimaliseerd is voor een bepaald werkpunt (toerental). Vervanging van de schroef is daardoor al snel erg duur, zoals het vooronderzoek al aantoonde.

Uitlijnen is veel goedkoper maar alleen zinnig als er sprake is van dominantie van schroeffrequentie en van een slechte uitlijning. Of van dit laatste sprake is, is op basis van geluidonderzoek niet vast te stellen en daardoor als vaste te adviseren maatregel niet te hanteren.

Bij dominantie van schroeffrequenties is het in ieder geval te adviseren de schroef en de uitlijning van de aandrijflijn te controleren en zo nodig te vervangen. De te behalen geluidreductie ligt, afhankelijk van de grootte van de rol van de schroeffrequenties, in de orde van enkele dB's.

Extra verstijven fundatie

Door het verstijven van de fundatie van motor en/of keerkoppeling worden trillingen in de regel minder effectief doorgegeven. Dit pakt echter niet altijd positief uit. Deze maatregel is **vooral geschikt daar waar (al) een afvering van de motor en/of keerkoppeling is toegepast**. De werkzaamheid van de afvering wordt ermee verbeterd, aangezien bij onvoldoende stijfheid van de fundatie een afvering onvoldoende werkt. Zeker bij schepen waarin pas later een afvering is toegevoegd, is de kans groot dat dit is gebeurd zonder de noodzakelijke bijbehorende aanpassing van de fundatie.

Het is als maatregel een enorme ingreep. Al het bovenwerk dient ervoor weggehaald te worden, inclusief motor en keerkoppeling zelf. Het is vanwege tijd en impact een flinke investering maar wordt in combinatie met het toch al op veren plaatsen van motor of keerkoppeling ten zeerste aangeraden.

Doos-in-doos constructies

Bij doos-in-doos-constructies krijgen kamers **een extra binnenconstructie** die volledig akoestisch ontkoppeld wordt geplaatst ten opzichte van de buitenconstructie, bijvoorbeeld door veren. De trillingen van de motor die aan de scheepswand worden doorgegeven, zullen zo worden gedempt door de vering. Het belangrijkste probleem bij doos-in-doos-constructies is de beperkte hoogte van ruimtes. Er is een bepaalde minimale stahoogte op schepen en deze wordt in ruimtes vaak al maar net gehaald. Bij doos-in-doos constructies moet al snel gedacht worden aan een extra constructiedikte van 10-20 cm. Hier is vaak geen ruimte voor.

Een variant van de doos-in-doos constructie is het alleen in een doos plaatsen van de het bed: de **bedstee**. Aangezien de slaapplek het meest kritisch is wat betreft het behalen van de geluidseisen en stahoogte (in bed) mogelijk geen formele belemmering vormt, ligt het voor de hand juist deze van een akoestische schil te voorzien. Echter, in de praktijk blijkt dat zelfs voor een bedstee in de regel geen ruimte is: de decimeters die een akoestische schil nodig heeft, gaan direct ten koste van de lengte en breedte van het bed.

De maatregel is verder ook nog eens heel kostbaar.

Omwisselen vertrekken

Het zou in een individueel geval gunstig kunnen zijn woonvertrek en slaapvertrekken op het schip om te draaien. Slaapvertrekken liggen vaak achterin het schip, boven de motor en dichtbij de schroef, en worden daardoor sterker belast met geluid dan de woonvertrekken. Omwisselen is wellicht denkbaar voor schepen die varen volgens exploitatiewijze A1, waarbij de slaapkamers niet hoeven te voldoen aan de ROSR. Aan-gezien in de woonkamer hogere niveaus toelaatbaar zijn, zou het kunnen dat door het omdraaien van ver-trekken, makkelijker aan de ROSR wordt voldaan. Het omwisselen van vetrekken betekent echter ook dat al-lerlei voorzieningen moeten worden verplaatst. De hoge kosten die dit met zich meebrengt, samen met veel praktische overwegingen, maken het in de praktijk waarschijnlijk moeilijk deze maatregel toe te passen.

4.3.2 Mogelijke reductie door trillingsgeïsoleerd opstellen motor en/of keerkoppeling

In het voorliggende rapport is beschreven dat **op alle schepen de motor de dominante bron** blijkt te zijn. Deze bron is te herkennen aan haar tonale componenten (specifieke frequenties). De winst (reductie) bij het trillingsgeïsoleerd opstellen van de motor is afhankelijk van de trillingsenergie in deze frequenties ten opzich-te van het totale trillingsniveau. Voor alle schepen gemeten in het kader van dit onderzoek, bedraagt de mo-gelijke reductie van het *motorgeluid* in de ordegrootte van 10 dB, uitgaande van veren die zorgen voor een afveerfrequentie van maximaal 16 Hz. De reductie op het *totale* geluidniveau is meestal minder door de in-vloed van de andere, minder dominante, bronnen die na aanpak van de motor boven komen drijven. Daarom verdient het de voorkeur zowel motor als keerkoppeling op veren te zetten. Bij het op veren zetten van de keerkoppeling is het belangrijk te beseffen dat de mogelijkheden hierin bepaald worden door de grootte van de stuwdruk. Hoe hoger de stuwdruk is, hoe minder flexibel de opstelling kan worden. Dit bekent ook minder trillingsisolatie. Om de stuwdruk op te vangen wordt vaak een semi-starre opstelling gebruikt voor de keer-koppeling. Dit levert vooral winst op in de hoge frequenties.

In de praktijk wordt daarom 6 à 7 dB reductie verwacht ten gevolge van het afveren van de motor en/of keer-koppeling, en zijn de extra dB's pas te incasseren als ook de andere bronnen (zoals schroefgeluid) worden aangepakt.

4.3.3 Mogelijke reductie door ontdreuningsmatten

Ontdreuningsmatten reduceren trillingen van vlakken (wanden, plafond en vloer) door massaverhoging en verschuiven bovendien de grensfrequentie naar boven. **Hierdoor straalt een vlak minder makkelijk geluid af.** Ze bestaan uit dunne, zware matten die op een vlak worden bevestigd of pasta's die op een vlak worden gesmeerd. Het zijn goedkope oplossingen die weinig ruimte innemen en makkelijk toe te passen zijn.

De mogelijke geluidreductie door verdubbeling van de massa is theoretisch 6 dB. In de praktijk wordt dit ech-ter bijna nooit gehaald in verband met onbedoelde koppelingen van het vlak, het niet volledig kunnen bedek-ken van vlakken, afwerkfouten, enzovoorts. Een reële schatting voor de geluidreductie ligt dichterbij de 3 dB. Daarnaast is er, bij lagere frequenties, nog extra geluidreductie mogelijk door het verschuiven van de grens-frequentie, maar dat is afhankelijk van de bestaande grensfrequentie. Uit de metingen in dit onderzoek blijkt dat deze extra geluidreductie voor de onderzochte schepen niet te verwachten is. Er kan dus slechts worden gerekend op 3 tot 6 dB reductie.

In sommige gevallen zal het ontdreunen van één vlak in een ruimte al voldoende zijn om een hoorbare ver-laging van het geluid te bewerkstelligen.

Het is dan wel belangrijk dat het juiste (meest overlast gevende) vlak wordt ontdreund. Als in een binnenvaartschip één vlak in een ruimte volledig wordt bedekt met ontdreuningsmatten, is de benodigde hoeveelheid slechts 6 m² per ruimte.

De matten kunnen zowel aan de voorzijde als achterzijde van wanden bevestigd worden. Bij bevestiging aan de voorkant zal de ontdreuningsmat echter nog afgewerkt moeten worden. Dit zal in veel gevallen niet de gewenste oplossing zijn, vanwege tijd, geld en de toch al beperkte ruimte op schepen. Aangeraden wordt dan ook om de matten indien mogelijk aan de achterkant van de bestaande binnenwanden te bevestigen.

Er zijn veel producenten in Nederland die ontdreuningsmateriaal aanbieden, zoals Merford, de Akoestiekwinkel en Redux. Als voorbeeld wordt in paragraaf 4.5 van Merford hun product met richtprijs genoemd.



Figuur 4.4.2: Merford Vibraflex SX ontdreuningsmat (bron: shop.merford.com/vibraflex-sx-geluidsisolatie-ontdreuningsplaten)

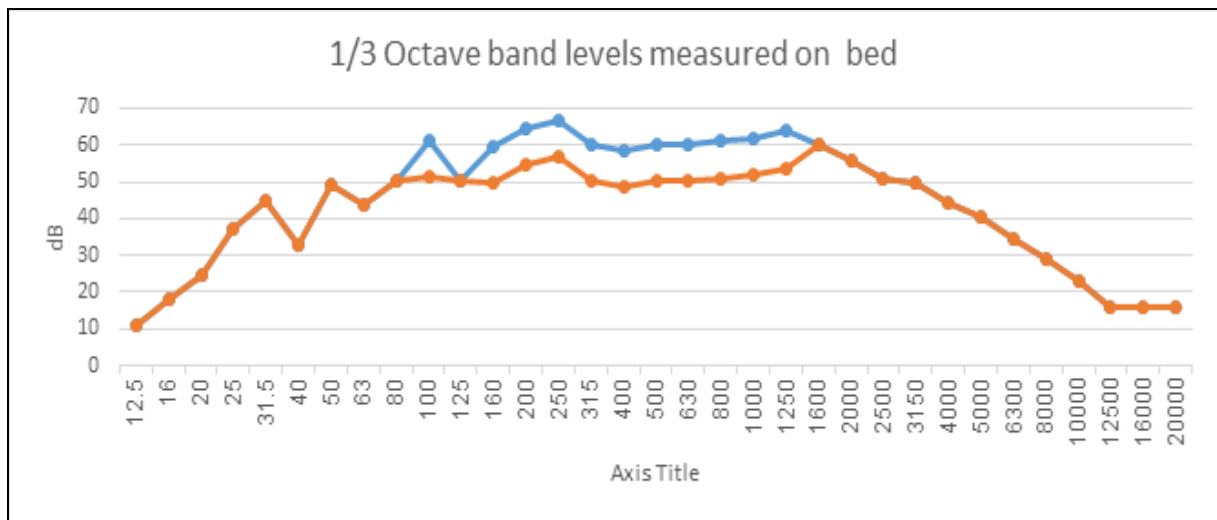
4.3.4 Mogelijke reductie door antigeluid

Het Israëlisch bedrijf Silentium heeft een antigeluid systeem ontwikkeld dat onder andere wordt toegepast in luxe jachten. Het systeem zorgt voor een lokaal **lager geluidniveau, bijvoorbeeld ter plaatse van het kussen** op het bed, met behulp van antigeluid. Figuur 4.3 toont een voorbeeld van het systeem zoals in gebruik in een jacht.



Figuur 4.4.3: voorbeeld antigeluid systeem

Silentium heeft op basis van de meetresultaten op de Melvin een eerste inschatting gemaakt van de mogelijk te behalen geluidreductie. Figuur 4.4 geeft het resultaat. De blauwe lijn geeft het geluidniveau per tertsband zoals het is gemeten. De oranje lijn geeft het geluidniveau inclusief antigeluid systeem. De reductie bedraagt circa 6 dB(A).



Figuur 4.4.4: mogelijk effect antigeluid systeem "quiet bubble".

In figuur 4.4. is te zien dat het systeem effectief is voor de frequenties tussen 80 en 1250 Hz. De motorfrequentie en haar harmonischen bevinden zich in dit gebied. Binnen deze frequenties is de verbetering zo'n 10 dB. Het geluidreducerend effect is beperkt bij de lagere frequenties als gevolg van de afmetingen van de speakers. Door grotere speakers te gebruiken, kunnen lagere frequenties beter worden gereduceerd maar het effect op het totale geluidniveau zal relatief beperkt zijn omdat de lage frequenties niet maatgevend zijn ten opzichte van de hogere frequenties.

In het frequentiebereik van 1600 Hz en hoger heeft het systeem geen effect meer. Deze hogere frequenties zijn echter nog wel bepalend voor het totale geluidniveau. Om het reducerende effect van het antigeluid systeem te verbeteren, zou bijvoorbeeld de geluidabsorptie in de ruimte voor de hogere frequenties verbeterd kunnen worden waardoor de invloed van het geluidniveau in deze frequenties afneemt. In sommige gevallen zal de combinatie met ontdreuningsmatten ook voor een verlaging van het geluidniveau in de hogere frequenties kunnen zorgen.

4.4 Reductie in de praktijk

In de onderzoeksperiode zijn geluidreducerende maatregelen aan het schip de Melvin getroffen. De motor van het schip is op vier trillingsisolatoren geplaatst van het type RD314 met een rubberhardheid van 45 shore. Figuur 4.5 laat zo'n trillingsisolator zien. Met deze maatregel is de overdracht van trillingen beperkt en daarmee van het afgestraalde geluid via de constructie van het schip.

De resultaten van de trillingsmetingen op het schip na toepassing van de maatregel is als volgt. Er is een duidelijke reductie van pieken geconstateerd van de hoofdmotor. Het op trillingsisolatoren plaatsen van de motor geeft zichtbare reducties. De 1^e en 2^e orde van de motorfrequenties blijven echter zichtbaar als overblijvende sterke pieken en schroeffrequenties worden nu prominenter door het wegvallen van andere pieken.

Een aantal harmonischen wordt nog steeds via de motorbasis doorgegeven, de overige via de keerkoppeling die nog star staat opgesteld.



Figuur 4.4.5: motor Melvin opgesteld op trillingsisolatoren

Het effect van de maatregel op de geluidniveaus is weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2: Vergelijking geluidniveaus Melvin voor en na opstellen motor op trillingsisolatoren

Schip			Geluidniveaus in dB(A)			
	Ruimte		Machinekamer	Stuurhut	Woonkamer	Slaapkamer**
	Eis ROSR		110	70	70	60
MELVIN zonder	Meetconditie	85% MCR*	109	68	79	80
		MCR-mix	104	62	72	74
MELVIN met maatregel	Meetconditie	85% MCR*	108	64	74	77
		MCR-mix	104	58	67	71

*hoogst haalbare vermogen

** slaapkamer 1 bij hoofdkussen

Tabel 4.2 maakt duidelijk dat afhankelijk van de ruimte 1 tot 5 dB(A) geluidreductie is behaald. Voor de machinekamer was geen reductie te verwachten omdat daar het geluidniveau vooral door het luchtgeluid van de motor wordt bepaald. Voor de slaapkamer bedraagt de reductie 3 dB(A), voor de stuurhut 4 dB(A) en voor de woonkamer 5 dB(A). Voor de woonkamer voldoet het geluidniveau volgens de MCR-mix nu aan de toetsingswaarde van 70 dB(A).

Het effect van de maatregel is minder dan verwacht door de nog starre bevestiging van de keerkoppeling aan de scheepsconstructie. Als ook die bevestiging flexibel zou worden gemaakt, dan is de inschatting dat nog een reductie van 2 tot 3 dB(A) kan worden behaald. Daarmee wordt de overschrijding van het geluidniveau in de slaapkamer echter niet opgeheven.

4.5 Kosten maatregelen

Met betrekking tot de kosten van verschillende maatregelen is contact gezocht met een aantal scheepswerven. Vervolgens hebben de werven een vragenlijst ontvangen. Van twee werven is informatie ontvangen maar specifieke kosten voor maatregelen zijn niet genoemd.

Voor ontdreuningsmatten bedraagt de richtprijs € 10,-- - 25,-- per m², exclusief BTW, afwerkkosten en vrachtkosten, afhankelijk van de dikte en het type materiaal.

De kosten voor het antigeluid systeem worden geschat op circa € 7.000,-- excl. BTW. Het systeem wordt nu ingezet in voertuigen, vliegtuigen en jachten, maar dient voor binnenvaartschepen wellicht nog te worden aangepast. De fabrikant verwacht dat genoemde prijs reëel en haalbaar is.

Rederij Wiggula heeft voor een aantal maatregelen aan haar eigen schip de Karin, de kosten op een rij gezet:

Vervangen schroef:	€ 15.000,--
Omkasting hoofdmotor:	€ 15.000,--
Trillingsdempers uitlaat:	€ 780,--

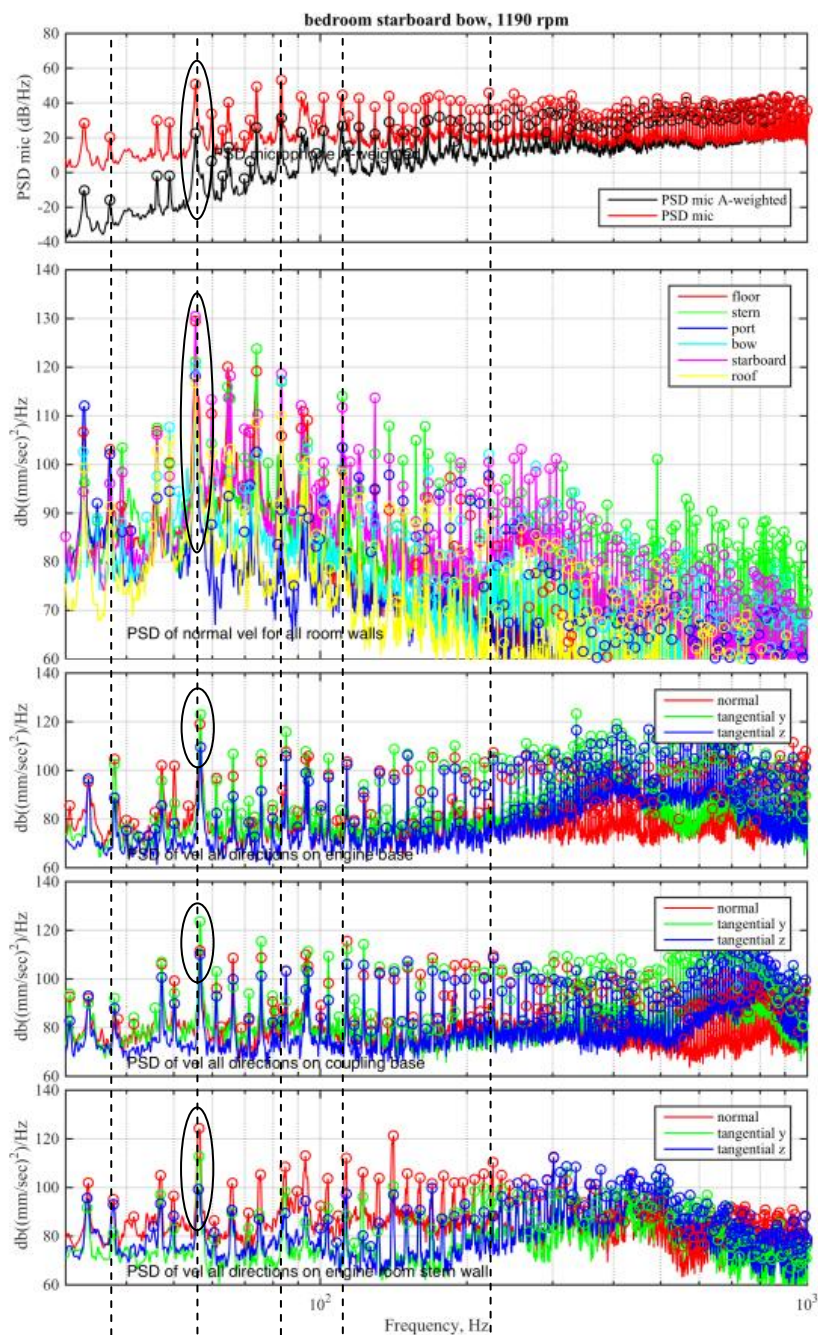
De kosten voor de maatregelen aan de Melvin bedroegen circa € 13.000,-- (afveren motor, aanpassen fundering motor).

4.6 Keuze van maatregelen

Zoals in tabel 4.1 te zien is, laten alle gemeten schepen een overeenkomstig beeld zien. Op alle schepen geldt dat de motor dominant is, met in mindere mate de schroef. Maatregelen aan de bron zijde vergen vaak veel investeringskosten en -tijd. **Het heeft desalniettemin altijd de voorkeur maatregelen te treffen aan de bron zijde. Dit levert namelijk voor alle ontvangruimtes tegelijk winst op.**

Als voorbeeld van de dominante motor als bron is in figuur 4.6 te zien dat de pieken in de ontvangruimte (1^e grafiek van boven is microfoon, 2^e grafiek van boven is de trilling van de wanden) rechtstreeks afkomstig zijn van de pieken van de motor (3^e grafiek). Dit is o.a. te zien in de zwart omcirkelde gebieden, waar de motor de sterkste piek heeft, maar ook hoger en lager in het spectrum (zwart gestippelde lijnen). Dit was een vergelijkbaar beeld op alle schepen.

Twee gemeten schepen hebben al op veren geplaatste motoren (Virginia, Viator). In de meetresultaten is te zien dat op deze schepen minder hoge overschrijdingen voorkomen, maar nog steeds overschrijdingen. Ook komt uit de trillingsmetingen naar voren dat de motor nog steeds aan te wijzen is als belangrijkste bron. Hieruit blijkt dat de afveerfrequentie mogelijk niet efficiënt gekozen is. De afveerfrequentie die wordt aangeraden is 16 Hz, vanwege de over het algemene dominante 125 Hz octaafband in het geluidsspectrum. Ook het verstijven van de fundatie, waarvan op beide schepen niet bekend is of dit gebeurd is, kan bijdragen aan een verlaging van niveaus.

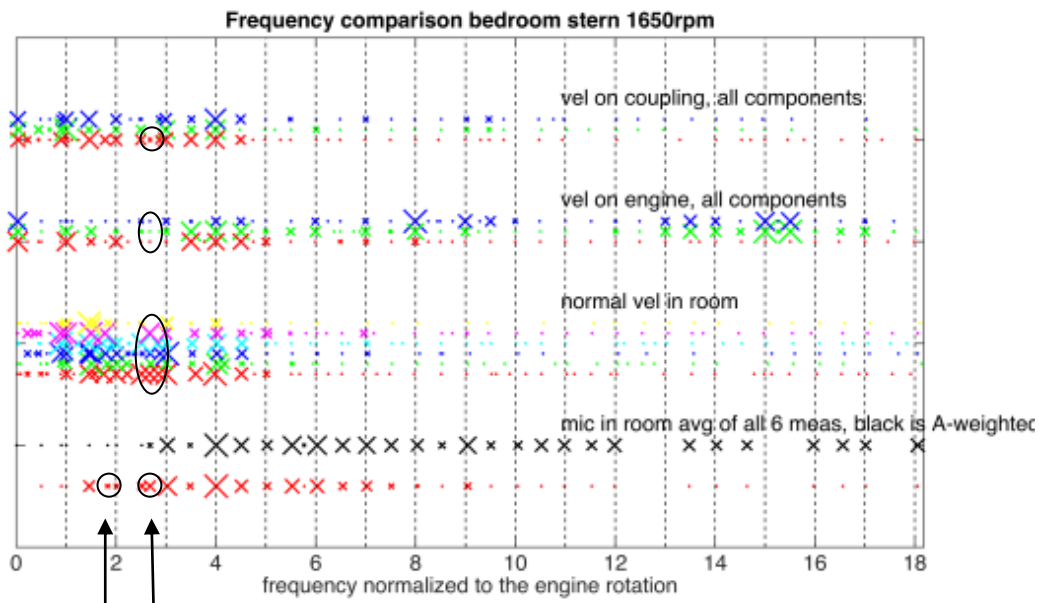


Figuur 4.6: Voorbeeld zichtbaarheid motorpieken in smalbandspectra

Als de belangrijkste veroorzaker van geluidniveaus, namelijk de motor, wordt weggelaten, is het belangrijk te weten welke bronnen zich hierna zullen manifesteren. Omdat motor, keerkoppeling en schroef één systeem zijn, is dat niet makkelijk door metingen aan te wijzen. Er zijn in de analyses wel enkele aanwijzingen.

Ten eerste in de frequentieanalyse. Hier is goed te zien wanneer een schroeffrequentie verantwoordelijk is voor pieken in de ontvangruimtes.

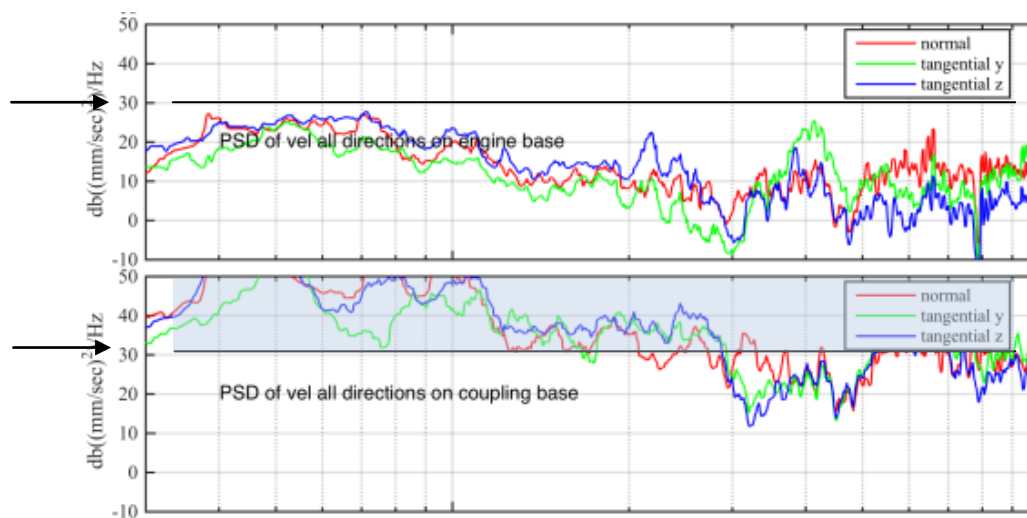
De schroeffrequenties bevinden zich namelijk tussen de hele en halve orde motorfrequenties (dit zijn de grondtoon en haar harmonischen, zie de begrippenlijst). De hele orde motorfrequenties bevinden zich in figuur 4.7 op de stippelijnen, de halve orden zitten er precies er tussenin. Als in de frequentieanalyse pieken te zien zijn tussen de hele en halve orde motorfrequenties, dan is dat een duidelijke aanwijzing dat de schroef een bron is. Dergelijke schroeffrequenties zijn te zien in de omcirkelde gebieden in figuur 4.7.



Figuur 4.7: Voorbeeld zichtbaarheid schroeffrequenties in frequentieanalyse

De schroeffrequenties waren in de analyses van alle schepen in meer of mindere mate zichtbaar.

Breedbandig is op alle schepen te zien dat de keerkoppeling een sterke verhoging van niveaus heeft bij hogere toerentallen. Dit is te zien als de niveaus van het lage toerental worden afgetrokken van het hoge toerentalen, een zogenaamde verschilanalyse. Figuur 4.8 geeft hiervan een voorbeeld voor één van de gemeenten schepen. Het spectrum van de keerkoppeling heeft ten opzichte van de motor een hoger niveau, en is dus gerelateerd aan de hogere niveaus in de ontvangruimtes.



Figuur 4.8: Voorbeeld verschilanalyse (vergelijking laag en hoog toerental) voor de motor (boven) en de keerkoppeling (onder)

Een breedbandige toename van de trillingsniveaus van keerkoppeling duidt op cavitatie, die de ruimtes achterin het schip (vaak de slaapkamers) breedbandig aanstoten. De cavitatie is ook terug te zien als kracht op de keerkoppeling. Deze trilt harder door de kracht van de cavitatie. Het aanpakken van de keerkoppeling door deze ook op veren te plaatsen kan verbetering opleveren voor ruimtes in het midden van het schip, zoals de woonkamer. Wat deze verbetering exact zal zijn is moeilijk vast te stellen, door de verwevenheid van het systeem.

Wel zijn er nog mogelijkheden aan de ontvangzijde, zoals eerder in dit hoofdstuk is toegelicht. Als er in de schepen een bepaalde wand sterk dominant blijkt te zijn (zoals de achterwand in de stuurboord slaapkamer in de Melvin, waar een 'rattle' te horen was), dan zijn ontdreuningsmatten een snelle en goedkope oplossing voor het verlagen van niveaus. Er moet dan wel bedacht worden dat de verlaging van niveaus alleen geldt voor het ontdreunde vlak. De motor en keerkoppeling geven met dezelfde sterkte trillingen door aan de andere wanden. Het kan daarom nodig zijn om verschillende vlakken te ontdreunen, om een wezenlijk verschil in geluidniveau in de ruimte verwezenlijken. In paragraaf 4.7 zijn tabellen gegeven die aangeven welke wanden op de schepen effectief ontdreund kunnen worden, zodat een winst van circa 3 dB in de kamers wordt behaald. Door de hoge afstraaalfrequentie (boven de 1 kHz, onder deze frequentie wordt dus al maar een deel van de trilling omgezet in geluid) levert het opschuiven van de grensfrequentie door de ontdreuningsmatten geen extra winst op en kan alleen effectief gebruik worden gemaakt van de massaverhoging (dat een verlaging van trillingsniveaus oplevert).

4.7 Effect volgorde maatregelen

De motor is dus de meest dominante bron en het treffen van maatregelen aan de motor heeft vanuit technisch oogpunt de voorkeur (effect op alle ruimten), maar brengt wel hoge kosten met zich. Aan de andere kant is het ontdreunen relatief goedkoop, maar het effect beperkt tot de ruimte waar de ontdreuning wordt toegepast. Daarom is onderzocht wat het effect is van de keuze in volgorde van beide maatregelen.

Als eerste is gekeken wat het niveauverschil is als de pieken veroorzaakt door de motor worden weggenomen, aangezien de motor de meest dominante bron is. Ook is gekeken wat het effect kan zijn van het ontdreunen, een voor de hand liggende aanvullende oplossing.

Er is gekeken hoeveel vlakken ontdreund moeten worden om een verbetering van circa 3 dB te behalen, waarbij wanden maximaal één keer ontdreund worden (één keer massaverdubbeling toegepast).

Ten tweede is gekeken naar de verbetering als eerst wordt ontdreund, en daarna pas de motor op veren wordt gezet. De dominante wanden kunnen verschillend zijn; als eerst wordt ontdreund moet naar de bijdrage van de pieken worden gekeken. Als de motor eerst op veren wordt gezet, moet gekeken worden naar de breedbandige component van de wanden. Deze kunnen van elkaar verschillen.

De resultaten van beide situaties zijn per schip in tabellen weergegeven:

- Tabel 4.3: Bobo;
- Tabel 4.4: Kreeft;
- Tabel 4.5: Virginia;
- Tabel 4.6: Viator;
- Tabel 4.7: Melvin met alleen motor op trillingsisolatoren en ontdreuning toegevoegd.

Tabel 4.3 a en b: Invloed van maatregelen op geluidniveau in de Bobo met a) eerst motor op veren en b) eerst ontdreuningsmatten toegevoegd)

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Motor op veren	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Totale verschil
BOBO	Woonkamer	70,0	63,7	62,9	62,5	62,1		-7,9
				Vloer	Achterw.	Bakb.		
	Slaapkamer bakboord	72,9	65,5	64,7	64,1	63,5		-9,4
				Achterw.	Vloer	Voorw.		
	Slaapkamer stuurboord	74,5	67,2	65,9	65,3	64,8		-9,7
				Stuurb.	Vloer	Achterw.		
	Slaapkamer achter	76,1	68,5	67,5	66,9	66,3		-9,8
				Voorw.	Vloer	Achterw.		

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Motor op veren	Totale verschil
BOBO	Woonkamer	70,0	69,0	68,6	68,2		64,4	-8,1
			Plafond	Bakb.	Stuurb.			
	Slaapkamer bakboord	72,9	72,1	71,3	70,7		63,3	-9,6
			Vloer	Achterw.	Voorw.			
	Slaapkamer stuurboord	74,5	73,5	72,8	72,1		64,8	-9,7
			Stuurb.	Vloer	Achterw.			
	Slaapkamer achter	76,1	75,1	74,5	73,9		66,3	-9,8
			Achterw.	Voorw.	Vloer			

Tabel 4.4 a en b: Invloed van maatregelen op geluidniveau in de Kreeft met a) eerst motor op veren en b) eerst ontbreuningsmatten toegevoegd)

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Motor op veren	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Totale verschil
KREEFT	Woonkamer	72,9	72,3	71,4	70,5			-2,4
				Plafond	Vloer			
	Slaapkamer bakboord	69,1	66,6	65,8	65,2	64,7		-4,4
				Bakb.	Plafond	Stuurb.		
	Slaapkamer stuurboord	68,2	65,6	65,2	64,7	64,1	63,5	-4,7
				Bakb.	Plafond	Voorw.	Vloer	
	Slaapkamer achter	73,0	70,8	70,1	69,5	68,9	68,3	-4,7
				Plafond	Vloer	Achterw.	Stuurb.	

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Motor op veren	Totale verschil
KREEFT	Woonkamer	72,9	72,0	71,2	70,6		70,0	-2,9
			Vloer	Plafond	Stuurb.			
	Slaapkamer bakboord	69,1	68,4	67,7	67,2		64,7	-4,4
			Plafond	Bakb.	Vloer			
	Slaapkamer stuurboord	68,2	67,7	67,1	66,4	65,9	63,3	-4,9
			Plafond	Bakb.	Voorw.	Vloer		
	Slaapkamer achter	73,0	71,9	71,4	70,8		68,6	-4,4
			Plafond	Achterw.	Vloer			

Tabel 4.5 a en b: Invloed van maatregelen op geluidniveau in de Virginia met a) eerst motor op veren en b) eerst ontdreuningsmatten toegevoegd)

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Motor op veren	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Totale verschil
VIRGINIA	Woonkamer	70,1	66,3	65,2	64,3	63,7		-6,4
				Bakb.	Plafond	Vloer		
	Slaapkamer bakboord onder achter	65,6	61,2	59,7	59,1			-6,5
				Plafond*	Vloer			
	Slaapkamer stuurboord onder achter	69,5	65,1	62,7				-6,8
				Vloer** (zie tabel hieronder)				
	Slaapkamer stuurboord boven achter	70,3	67,5	65,9	65,4			-4,9
				Vloer*	Stuurb.			

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Motor op veren	Totale verschil
VIRGINIA	Woonkamer	70,1	69,3	68,4	67,4		62,9	-7,2
			Plafond	Vloer	Bakb.			
	Slaapkamer bakboord onder achter	65,6	64,0	63,5			59,0	-6,6
			Plafond*	Vloer				
	Slaapkamer stuurboord onder achter	69,5	67,1				52,7	-6,8
			Vloer**: op hoge toerental was de vloer veel dominanter dan het eerstvolgende vlak, veroorzaakt door cavitatie. Op lagere toerentallen is deze dominantie juist te vinden voor het plafond. Geadviseerd wordt om de schroef te controleren, of om de vloer af te veren, in plaats van te ontdreunen					
	Slaapkamer stuurboord boven achter	70,3	69,1	68,4			65,7	-4,6
			Vloer*	Stuurb.				

* Voor deze berekening zijn de trillingsniveaus genomen tijdens het hoogste toerental. Op dit hoge toerental was plafond/vloer veel dominantier dan het eerstvolgende vlak. Hier kan vanwege de dominantie gedacht worden aan verzwaren en verstijven van plafond/vloer. Ook kan de dominantie van vlakken op lagere toerentallen anders zijn, waardoor ontdreunen van andere vlakken toch zinvol kan zijn. Gedetailleerdere studie van de analyses is hiervoor nodig.

Vervolgonderzoek Geluid Binnenvaartschepen

Eindrapport - definitief

Tabel 4.6 a en b: Invloed van maatregelen op geluidniveau in de Viator met a) eerst motor op veren en b) eerst ontdreuningsmatten toegevoegd)

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Motor op veren	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Totale verschil
VIATOR	Woonkamer stuurboord	65,9	60,5	59,1	58,4			-7,5
				Plafond**	Achterw.			
	Woonkamer bakboord	67,1	63,4	61,2				-5,9
				Plafond** (zie volgende tabel)				
	Slaapkamer stuurboord	64,3	60,8	59,9	59,1	58,3		-6,0
				Plafond	Voorw.	Stuurb.		
	Slaapkamer bakboord	65,8	61,0	60,2	59,7	59,1		-6,7
				Vloer	Plafond	Achterw.		

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Motor op veren	Totale verschil
VIATOR	Woonkamer stuurboord	65,9	64,3	63,9			58,5	-7,4
			Plafond**	Vloer				
	Woonkamer bakboord	67,1	65,0				61,3	-5,8
			Plafond**: op hoge toerental was het plafond veel dominanter dan het eerstvolgende vlak. Geadviseerd wordt om te verstijven. Op lagere toerentalen is deze dominantie echter veel minder.					
	Slaapkamer stuurboord	64,3	63,2	62,4	61,8		58,3	-6,0
			Plafond	Stuurb.	Voorw.			
	Slaapkamer bakboord	65,8	65,2	64,6			59,7	-6,1
			Vloer	Achterw.				

Tabel 4.7a: Invloed van maatregelen op geluidniveau in de Melvin met motor op veren en ontdreuningsmatten toegevoegd

Schip	Ontvangende ruimte	Invloed van maatregelen op niveau (dB(A))						
		Niveau huidig	Motor op veren	Vlak 1 ontdr.	Vlak 2 ontdr.	Vlak 3 ontdr.	Vlak 4 ontdr.	Totale verschil
MELVIN	Woonkamer	72,5	64,5	63,4	62,8	62,3		-10,2
				Vloer	Voorw.	Bakb.		
	Slaapkamer bakboord	74,5	66,2	65,1	64,3	63,8		-10,7
				Bakb.	Vloer	Plafond		
	Slaapkamer stuurboord	72,9	65,2	64,1	63,7	63,3		-9,6
				Vloer	Stuurb.	Achterw.		

Uit de tabellen blijkt dat de uiteindelijke totale reductie ongeacht de volgorde van het treffen van de maatregelen elkaar niet veel ontloopt. Een enkele dB is geen hoorbaar verschil. Wat dat betreft hoeft niet per se begonnen te worden met maatregelen aan de motor. Er kan voor gekozen worden om te beginnen met ontdreunen, eventueel zelfs gefaseerd per ruimte.

Wel is het zo dat er verschil is in de locatie van het ontdreunen afhankelijk van de situatie; of de motor wel of niet is afgeveerd. Dit kan betekenen dat op het moment dat eerst gekozen wordt voor ontdreunen en dan pas voor de motor, ontdreuning op een bepaalde plaats na het treffen van de maatregel aan de motor niet meer nodig zou zijn geweest omdat dat vlak dan niet meer maatgevend is in de geluidafstraling. Het risico bestaat dus dat geld is uitgegeven voor een maatregel die achteraf niet zinvol is. Daar tegenover staat de kosten voor het ontdreunen relatief laag zijn. Het reducerend effect van het starten met ontdreunen is relatief beperkt en bedraagt in ordegrrootte circa 2 tot 3 dB(A).

Zoals eerder in dit hoofdstuk aangegeven, wordt de werkelijke winst in niveaus in sterke mate bepaald door uitvoering van de maatregelen. Dit geldt voor zowel maatregelen aan de ontvangkant als aan de bronkant. Dit is bijvoorbeeld te zien op de schepen Viator en Virginia, waar het op veren plaatsen van de motor niet de gewenste resultaten opleverde. **Het verdient ten zeerste de aanbeveling dat analyse én uitvoering beiden zorgvuldig en met deskundigheid gebeuren.**

Behoudens de kosten voor de ondreuningsmatten, zijn de kosten voor de maatregelen over het algemeen hoog zeker als de derving in inkomsten als gevolg van het gedurende langere tijd stilliggen wordt meegenomen in de kostprijs. Het ligt daarom voor de hand om het treffen van maatregelen te combineren met groot onderhoud aan een schip.

4.8 Maatregelen catalogus scheepvaart

Voor een helder overzicht van maatregelen kunnen deze worden samengevat in een catalogus. In dit overzicht zijn eigenschappen, kosten en randvoorwaarden van maatregelen samengevat.

Voor elke maatregel dient een apart blad te worden ingevuld. Op basis van de meetresultaten, het advies omtrent de te nemen maatregelen en de inhoud van de catalogus, kan door de schipper een goede afweging gemaakt worden van de te nemen maatregelen.

Figuur 4.9 laat zien hoe zo'n maatregelblad er uit zou kunnen zien.

Maatregel:	<productnaam>		
Leverancier:	<naam leverancier>		
Korte beschrijving:	<beschrijving>		

Ketenpositie:	bronmaatregel ☐	overdrachtmaatregel ☐	ontvangmaatregel ☐
Energetische werking:	absorptie/demping ☐	reflectie ☐	
Fysische werking:	<beschrijving>		

Effectief voor bronnen:	motor ☐	keerkoppeling ☐	generator ☐	schroef ☐	cavitatie ☐
Effectief voor afstand:	ruimte dichtbij maatregel ☐		ruimte ver van maatregel ☐		
Effectief voor ruimten:	motorruimte ☐		woonkamer ☐	slaapkamer ☐	
Effectief voor voortplanting:	luchtgeluid ☐		contactgeluid ☐		
Effectief in spectrum:	laagfrequent ☐		middenfrequent ☐	hoogfrequent ☐	
Effectief te combineren met:	<beschrijving> bijv.: wordt vaak aangeboden in combinatie met...				

Invoegverlies										
	vermogen	rpm	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	type schip	genomen maatregel
situatie 1										bijv.: veren vervangen
situatie 2										bijv.: veren geplaatst, fundatie verstijfd
situatie 3										
etc.										

Randvoorwaarden	
Akoestisch	bijv.: ontkoppelde leidingen
Architectonisch	bijv.: beschikbare hoogte, afwerking
Bouwfysisch	bijv.: thermisch, ventilatie
Brandveiligheid	bijv.: niet in motorruimte
Constructief	bijv.: minimale dikte scheepshuid
Installatietechniek	bijv.:

Systeemintegratie	
Verbonden systemen:	<beschrijving> bijv.: motor, scheepshuid
Type verbinding:	<beschrijving> bijv.: ontkoppeld
Negatieve invloed:	<beschrijving> bijv.: extra slijtage motor, verlopende uitlijning, etc.
Positieve invloed:	<beschrijving> bijv.: langere levensduur schroef

Kosten	
Engineering:	<aantal> euro
Materiaal:	<aantal> euro
Inbouw:	<aantal> euro
Onderhoud (per jaar):	<aantal> euro
Inbouwtijd	<aantal> weken

Onderhoudsaspect	
Levensduur:	<aantal> jaren
Klein onderhoudscyclus:	<aantal> jaren
Groot onderhoudscyclus:	<aantal> jaren
	<aantal> km

Figuur 4.9: Voorstel maatregelblad uit maatregelencatalogus

4.9 Samenvatting

De resultaten van de trillingsmetingen op de schepen vertonen een zeer vergelijkbaar beeld:

- **de motor is op alle gemeten schepen de dominante bron;**
- de schroef is als bron ook te herkennen, maar minder dominant;
- bij hoge toerentallen treedt cavitatie op wat terug te zien is in breedbandige verhogingen van niveaus in ruimtes achterin de schepen (vaak de slaapkamers);
- in de woonkamer zorgt de kracht van de schroef op de keerkoppeling voor overschrijdingen bij hoge toerentallen;
- afstralende vlakken zijn veelal de vloer en buitenste scheepswanden, of wanden gepositioneerd rondom de machineruimte. Dominante afstralende vlakken zijn goed met trillingsmetingen te detecteren.

In dit hoofdstuk is een opsomming gemaakt van mogelijke maatregelen op de schepen. **Het heeft altijd de voorkeur maatregelen te treffen aan de bronzijde. Dit levert namelijk voor alle ontvangruimtes tegelijk winst op.** In dit hoofdstuk is naar voren gekomen dat sommige maatregelen in verband met tijd en geld mogelijk niet toepasbaar zijn op binnenvaartschepen. De maatregelen die daarom worden voorgesteld zijn het op veren plaatsen van de motor in combinatie met het verstevigen van de fundering (idealiter ook in combinatie met het checken van de schroef), en het toepassen van ontdreuningsmatten. Ontdreuningsmatten alleen leveren 2-3 dB winst op; de motor op veren zetten al naar gelang de energie in de motorpieken (dat moet per individueel schip bekeken worden) in de ordegrrootte van 5-10 dB (bij een afgestemde afveerfrequentie, voor deze schepen maximaal 16 Hz). Het is daarbij wel belangrijk van tevoren te bepalen in welke volgorde de maatregelen genomen gaan worden, omdat dominante afstralende vlakken mogelijk wijzigen na het op veren zetten van de motor. Het inschakelen van een kundig adviseur en uitvoerder/installateur van de maatregelen wordt ten alle tijden aanbevolen.

5 Flexibilisering normstelling

5.1 Inleiding

In het vooronderzoek wordt geconcludeerd dat een rigide toepassing van de huidige normstelling leidt tot een geluidprobleem voor een grote groep schepen. Dit wordt in het vervolgonderzoek bevestigd. Zie hiervoor de meetresultaten in hoofdstuk 3. In voorliggend hoofdstuk wordt daarom een voorstel gedaan voor een flexibilisering van de normstelling. Hierbij is de methodiek uit de Wet geluidhinder⁵ voor wegverkeerslawaaï als kapstok gebruikt. In deze systematiek komen namelijk belangrijke begrippen terug die ook bruikbaar zijn voor de scheepvaart. Te denken valt aan begrippen als voorkeursgrenswaarde en maximale ontheffingswaarde, een beoordeling op basis van een gemiddeld geluidniveau in plaats van de beoordeling op basis van een momentaan geluidniveau en een doelmatigheidsafweging van maatregelen (zie bijlage VII voor meer uitleg van begrippen).

De verwachting is bovendien dat niet voor alle schepen de normstelling onverkort van toepassing hoeft te zijn. **Voor schepen die maximaal 14 uur varen en die bereid zijn hun exploitatiewijze hierop aan te passen (exploitatiewijze A1), zijn de geluidvoorschriften voor de slaapvertrekken immers niet van toepassing.** Door middel van een enquête is daarom onderzocht voor welke ordegrootte (percentage) van het aantal schepen dit het geval zou kunnen zijn.

5.2 Enquête

5.2.1 Opzet

Om inzicht te krijgen in de vaar- en leefgewoonten van de schippers en overige aanwezigen binnen de betreffende doelgroep van schepen, is een enquête opgesteld die vervolgens via diverse kanalen vanuit de klankbordgroep is verspreid. Onderstaande vragen zijn in de enquête geformuleerd:

- In welk jaar is de kiel van uw schip gelegd?
- Wat is uw functie op het schip?
- Hoeveel uur wordt er gemiddeld met uw schip gevaren per 24 uur?
- Wordt er gelijktijdig door iemand gevaren en door anderen geslapen op uw schip?
- Hoeveel uur verblijft u gemiddeld per 24 uur in de woonkamer van uw schip terwijl het schip vaart?
- Hoeveel uur verblijft u gemiddeld per 24 uur in uw slaapkamer terwijl het schip vaart?
- Hoeveel uur verblijft u gemiddeld per 24 uur in de stuurhut van uw schip terwijl het schip vaart?
- Hoeveel uur verblijft u gemiddeld per 24 uur in de machinekamer van uw schip terwijl het schip vaart?

5.2.2 Resultaten

De enquête is door 162 personen (N=162) ingevuld van schippers tot matrozen. 112 Ingevulde enquêtes betreffen schepen van vóór 1976. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in bijlage VI.

⁵ De Wet geluidhinder dateert uit 1979 en biedt geluidsgevoelige bestemmingen (zoals woningen) in Nederland bescherming tegen geluidhinder van wegverkeerslawaaï, spoorweglawaaï en industrielawaaï door middel van zonering. In de Wet geluidhinder is de systematiek opgenomen dat een hogere waarde kan worden aangevraagd indien aan bepaalde grenswaarden niet wordt voldaan. Bevoegd gezag controleert of aan aanvullende voorwaarden wordt voldaan. In dat geval kan een hogere waarde worden verleend.

Uit de enquête (N=162) blijkt dat iets meer dan de helft (53%) van de schippers gemiddeld genomen niet méér dan 14 uur vaart (overeenkomstig exploitatiewijze A1). Wat betreft de schepen van vóór 1976 loopt dit percentage, van schippers die gemiddeld genomen niet méér dan 14 uur varen, op tot 65%.

Uit de enquête (N=162) blijkt bovendien dat op iets meer dan de helft (54%) van de schepen niet wordt geslapen, terwijl er wordt gevaren. Wat betreft de schepen van vóór 1976 loopt dit percentage zelfs op tot 66%.

Een struikelblok voor de schippers om zich te verbinden aan exploitatiewijze A1, zou het gebrek aan flexibiliteit kunnen zijn met betrekking tot hun inzetbaarheid. In dit kader merken we op dat bij exploitatiewijze A1 de vaart eenmaal per week tot ten hoogste 16 uren verlengd mag worden.

Indien de schippers die nu niet méér dan 14 uur varen, effectief volgens exploitatiewijze A1 gaan varen, dan daalt het aantal schepen dat in 2020 met de meest strenge eisen uit de normstelling te maken krijgt, op basis van de enquête resultaten tot ongeveer 35% van het totaal aantal schepen waarvan de kiel vóór 1 maart 1975 is gelegd. De financiële omvang van het probleem is daarmee kleiner dan op basis van het TNO onderzoek is aangegeven, maar het probleem is nog steeds aanwezig.

Uit de enquête (N=162) blijkt verder dat van de resterende 47%, het grootste deel (37% van het totaal aantal schepen) maximaal 18 uur vaart. Slechts 10% van het totaal aantal schippers vaart 19 uur of meer.

Wat betreft de schepen van vóór 1976, blijkt dat slechts 4% gemiddeld 19 uur of meer vaart. Een percentage van 31% van deze schepen vaart tussen 15 en 18 uur per dag. Voor deze groep is een “ultieme” maatregel denkbaar om effectief terug te gaan naar exploitatiewijze A1, om tenminste in de slaapkamers onder de normstelling uit te komen (daar waar de problemen het grootst zijn). Dit betekent dat ze gemiddeld 1 tot 4 uur per dag minder kunnen varen.

5.3 Voorstel ontheffingssystematiek

5.3.1 Voorkeursgrenswaarde en maximale ontheffingswaarde

Zoals aangegeven wordt voorgesteld de systematiek uit de Wet geluidhinder over te nemen. Een basisbegrip in deze systematiek is de voorkeursgrenswaarde. In beginsel moet daar altijd aan voldaan worden, bijgevolg zijn voor de scheepvaart de voorkeursgrenswaarden gelijk aan de eisen uit de ROSR. Als er niet aan wordt voldaan, dienen geluidreducerende maatregelen te worden getroffen. Het kan echter zo zijn dat ondanks het treffen van doelmatige maatregelen nog steeds niet aan de voorkeursgrenswaarde kan worden voldaan. In dat geval kan ontheffing worden verleend. De hoogste waarde die voor ontheffing in aanmerking komt, is de maximale ontheffingswaarde. Een hoger niveau dan de maximale ontheffingswaarde kan nooit worden toegestaan.

Figuur 5.1 geeft de voorgestelde procedure weer: beginnend met een gemeten geluidniveau (links boven) vindt een beoordeling plaats van het geluidniveau. Afhankelijk van deze beoordeling, zijn verschillende scenario's mogelijk die in de grote blokken in het midden zijn aangegeven. Voor deze scenario's gelden uitgangspunten en is input nodig, enerzijds om het doelmatigheidscriterium te kunnen vaststellen en anderzijds om de salderingsmogelijkheden inzichtelijk te maken (zie verder). Beide zijn opgenomen in blokken aan de rechterkant van de figuur.

Scenario 1

Dit scenario is beschreven in de groene zone in figuur 5.1. De door de inspecteur gemeten geluidniveaus voldoen aan de eisen uit de ROSR en dus aan de voorkeursgrenswaarden. Het schip wordt goedgekeurd en kan verder varen.

Scenario 2

De door de inspecteur gemeten geluidniveaus zijn hoger dan de voorkeursgrenswaarden, met andere woorden de eisen uit de ROSR worden overschreden. Wel wordt de maximale ontheffingswaarde gerespecteerd. Voorgesteld wordt om de maximale ontheffingswaarde gelijk te stellen aan de grenswaarden uit de ROSR + 10 dB. Een toename van 10 dB wordt gemiddeld namelijk toegestaan in de ontheffingssystematiek in de Wet geluidhinder. Dit scenario is aangegeven in de 'gele zone' in figuur 5.1.

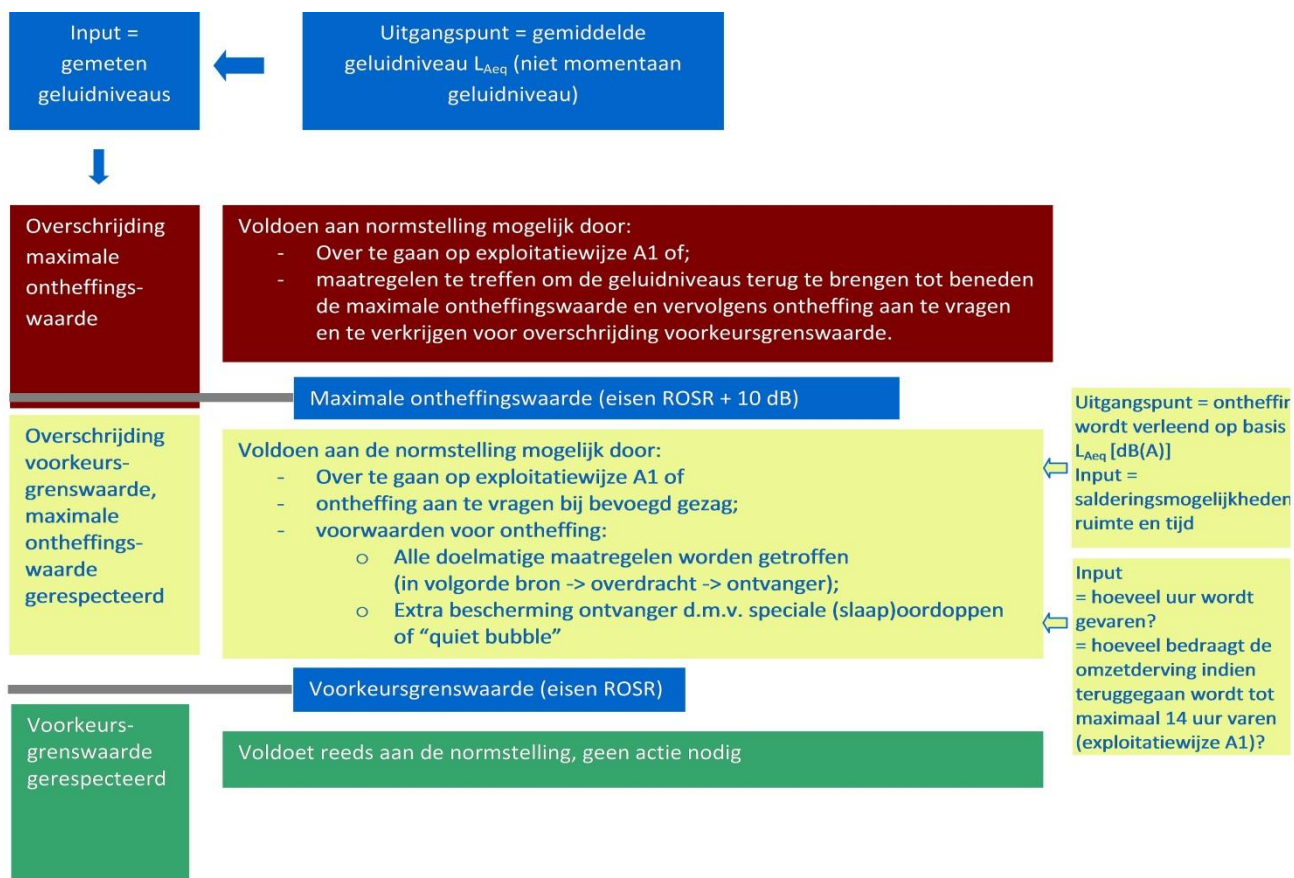
In dit geval dient door de adviseur te worden onderzocht of de geluidniveaus kunnen worden teruggebracht tot de voorkeursgrenswaarden of lager door het treffen van doelmatige maatregelen. Maatregelen worden onderzocht volgens het schema bron -> overdracht -> ontvanger. Ook wordt in het onderzoek nagegaan of er salderingsmogelijkheden zijn tussen ruimten of in de tijd.

Indien na toepassing van alle doelmatige maatregelen aan de bron, overdracht en ontvanger, de geluidniveaus niet voldoende zijn verlaagd om aan de voorkeursgrenswaarden te voldoen, dan kan een ontheffing worden aangevraagd om de nieuwe, gereduceerde geluidniveaus alsnog toe te staan. Er geldt in dat geval wel een extra voorwaarde voor de slaapkamers. De gebruiker moet de mogelijkheid hebben om zichzelf extra te beschermen tijdens het slapen. Dat kan door bijvoorbeeld speciale (slaap)oordoppen te gebruiken of lokaal, ter hoogte van de kussen, lagere geluidniveaus te realiseren door bijvoorbeeld toepassing van het 'quiet bubble' systeem met antigeluid (zie hoofdstuk 4). Hiermee voldoet het geluidniveau in de ruimte niet aan de eis maar wordt de gebruiker van de ruimte wel beschermd.

Scenario 3

De door de inspecteur gemeten geluidniveaus zijn hoger dan de maximale ontheffingswaarden. Dit scenario is aangegeven in de 'rode zone' in figuur 5.1.

In dit geval betekent dat het doelmatigheidscriterium in eerste instantie niet van toepassing is omdat het niet mogelijk is ontheffing te krijgen voor geluidniveaus boven de maximale ontheffingswaarde. Na het treffen van een maatregel (doelmatig of niet) is het geluidniveau lager dan de maximale ontheffingswaarde. Vanaf dan komt men terecht in de 'gele zone' in figuur 5.1 en zijn bijgevolg de stappen uit scenario 2 te nemen. Er dient te worden onderzocht of er nog doelmatige maatregelen mogelijk zijn om het geluidniveau verder te verlagen. Tenslotte kan, indien verder geen doelmatige maatregelen meer mogelijk zijn, een ontheffingsaanvraag worden voorbereid.



Figuur 5.1: systematiek ontheffing

5.3.2 Doelmatigheid maatregelen

De doelmatigheid van maatregelen kan worden bepaald op basis van kosten. Zoals eerder omschreven zal een groot deel van de geluidproblemen (overschrijdingen in de slaapkamers) opgelost zijn, wanneer de schipper besluit terug te gaan naar maximaal 14 uur varen per dag en effectief exploitatiewijze A1 wil volgen. De kosten voor teruggaan naar 14 uur varen zijn de omzetsderving door teruggang in aantal uren minus de vermindering van investeringskosten. Als het gaat om doelmatigheidsafweging is de uumzet, of uurwinst, omgeslagen over een aantal jaren, dus een leidraad. Maar ook de terugverdiendtijd dient natuurlijk in acht genomen te worden. Uiteindelijk is alles wat duurder is dan de kosten voor teruggaan naar 14 uur/dag, niet doelmatig. Per individueel schip kan zo de doelmatigheidsgrens worden bepaald en maatwerk worden geleverd.

Een mogelijkheid is ook om per categorie van schepen de kosten van een uur minder varen te bepalen. Voor een steekproef van schepen dient daarvoor een financiële analyse te worden uitgevoerd die vervolgens wordt vertaald voor een categorie-indeling met bijbehorende uuropbrengst.

Een ander doelmatigheidscriterium is een bedrag komend uit een survey naar WTP (willingness to pay) om hinder te voorkomen en een survey naar WTA (willingness to accept). (Referentie: Ecorys rapport voor maatregelen aan woningen). Een dergelijk criterium zou kunnen gelden voor de hele branche waarbij eventueel onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende type schepen. Naar de hoogte van het bedrag zal nog aanvullend onderzoek moeten worden gedaan.

In de doelmatigheid kunnen naast de absolute kosten ook de kosten per dB worden meegenomen. In de papierindustrie bijvoorbeeld is op basis hiervan een formule ontwikkeld waarin kosten en mate van geluidreductie bepalen of een maatregel doelmatig is.

Vooraleer een keuze kan worden gemaakt over het type doelmatigheidscriterium en de uiteindelijke bepaling van de randvoorwaarden, is verder onderzoek absoluut noodzakelijk. Geadviseerd wordt dit in combinatie met financiële deskundigen verder te (laten) onderzoeken.

5.4 Representatieve blootstelling

5.4.1 MCR-mix

De MCR-mix is een voorstel uit het vooronderzoek waarbij het geluidniveau wordt bepaald bij een mix van reële vermogens/toerentallen van de motor. Geen enkel schip vaart namelijk langdurig met 95% van het maximale motorvermogen. De MCR-mix bestaat uit een samenstelling van verschillende MCR's te weten 85%, 55%, 25% en 5% van het motorvermogen. Elk van deze percentages heeft een eigen weegfactor. In voorliggend onderzoek is het effect van de MCR-mix geëvalueerd. Dit onderdeel wordt verder behandeld in hoofdstuk 6 (meetprotocol).

5.4.2 Saldering

De normstelling aan de geluidniveaus op het schip is bedoeld ter bescherming van de mensen op het schip. In de huidige regelgeving wordt getoetst aan het momentane geluidniveau tijdens een vaart met 95% van het motorvermogen. Bij de beoordeling van het geluidniveau wordt geen rekening gehouden met de tijd die doorgebracht wordt in de verschillende ruimten met een relatief laag geluidniveau en met de tijdsduur dat met andere motorvermogens wordt gevaren. Er wordt dus een worst-case, niet-representatieve situatie beoordeeld.

Sinds 1976, toen de regelgeving in werking trad voor nieuwe schepen, is een hoop kennis en ervaring opgedaan rond de gezondheids- en hinderaspecten van geluid en hoe dat te verwerken in regelgeving. Naast het *niveau* van het geluid is ook de *duur* van het geluid een belangrijke factor voor het optreden van negatieve effecten. Dit is vertaald in regelgeving, voor bijvoorbeeld verkeerslawaaï bij woningen, dat de geluidniveaus weegt met duur en tijdstip.

Door de beoordeling van het geluidniveau niet meer toe te passen op het momentane geluidniveau maar op het gemiddelde geluidniveau over bijvoorbeeld de nachtperiode, kunnen zowel het geluidniveau als de duur van de blootstelling aan dat geluidniveau, mee worden gewogen in het gemiddelde geluidniveau, zonder dat uiteindelijk afbreuk wordt gedaan aan het beschermingsniveau van de mensen. Dit is het principe van saldering dat in diverse andere (geluid)wetgeving in Nederland maar ook in andere landen al decennia wordt toegepast. Een voorbeeld is de toepassing van L_{den} in de Wet geluidhinder. 'den' staat voor day-evening-night. Het betreft een jaargemiddelde waarde waarbij de dag-, avond- en nachtperiode een andere weegfactor meekrijgen.

Er zijn verschillende vormen van saldering denkbaar:

- Saldering in de ruimte: in een ruimte kan het geluidniveau variëren. Het is niet reëel de hele ruimte af te rekenen op een geluidniveau op een plaats waar niemand lang zal verblijven. Eigenlijk is de voorkeur om in de slaapkamer de beoordeling alleen ter plaatse van het kussen toe te passen.

Voor de woonkamer kan gemiddeld worden over de hele ruimte omdat men daar langdurig op meer verschillende plekken verblijft;

- Saldering tussen ruimten: extra stilte in de woonkamer compenseert voor wat meer lawaai in de slaapkamer (of andersom);
- Saldering in tijd: niet alles op 1 hoop: het maakt uit of een schip 24 uur doorvaart of misschien maar 16 uur (en dus maar 2 uur tijdens iemands slaap). Daarom, zoals dat in de meeste wetgeving voor geluid is geregeld, een L_{Aeq} over de volledige 'nachtperiode' in plaats van een momentane eis. Dat betekent dat er in de meetprocedure ook een meting moet plaatsvinden van het "achtergrondgeluid", als het schip dus stilligt. Dit zou van ligplaats tot ligplaats kunnen verschillen. De "gevelisolatie" van het schip wordt dan van belang;
- Saldering over een jaar: in de Europese wetgeving rond weg- en railverkeer wordt gekeken naar het jaargemiddelde geluidniveau (L_{den}). Seizoensafhankelijke variaties krijgen zo hun invloed op het gemiddelde geluidniveau. Ook hiermee zou dus rekening gehouden kunnen worden bij saldering in tijd;
- Wel moet er een "cap" op komen: een geluidniveau dat zeker niet momentaan wordt overschreden.

Voorbeeld 1 (saldering in de tijd - nachtperiode)

Een schip vaart maximaal 1 uur gedurende de nachtperiode. In de slaapkamers geldt, conform ROSR, een eis van 60 dB(A). Gedurende de varende periodes zal deze eis (momentaan) niet worden gehaald. In plaats van het beoordelen van het momentane geluidsniveau in de ruimte, zou ook gekeken kunnen worden wat het gewogen niveau is gedurende de gehele nacht (8 uur).

Stel:

- tijdens het varen heerst in de slaapkamers een geluidsniveau van 69 dB(A) en gedurende stilstand van het schip is dit 35 dB(A);
- in de nacht betekent dit gedurende 1 uur een geluidsniveau van 69 dB(A) en 7 uur een geluidsniveau van 35 dB(A);
- het gewogen geluidsniveau over de nacht bedraagt in dit geval;
 $10 \cdot \log[1/8 \cdot 10^{(69/10)} + 7/8 \cdot 10^{(35/10)}] = 60 \text{ dB(A)}.$

Het tijd gewogen geluidsniveau in de slaapkamer voldoet hiermee aan de eis van 60dB(A) voor de nacht.

Voorbeeld 2 (saldering in de tijd - weekgemiddeld)

Een schip vaart 5 dagen in de week en per dag 16 uur. In de woonkamer mag het maximale geluidniveau niet hoger zijn dan 70 dB(A). Dit wordt in varende situatie echter overschreden. Gedurende de week zijn er 2 dagen waarop niet wordt gevaren, op deze momenten is het geluidsniveau aanzienlijk lager.

Stel:

- in de varende situatie heerst een geluidsniveau van 72 dB(A) in de woonkamer en gedurende stilstand een niveau van 35 dB(A);
- als we alleen de dag- en avondperiode beschouwen (totaal $12 + 4 = 16u$), dan wordt in een week 80 uur gevaren ($5 \cdot 16$) en 32 uur ($2 \cdot 16$) niet (gedurende de nachtperiode (8u) wordt ervan uitgegaan dat men dan in de slaapkamers verblijft);
- het gewogen geluidsniveau in de woonkamer is gemiddeld over de gehele week (dag- en avondperiode) gelijk aan $10 \cdot \log[80/112 \cdot 10^{(72/10)} + 32/112 \cdot 10^{(35/10)}] = 70 \text{ dB}.$

Er is een lichte overschrijding in de woonkamer gedurende de varende periodes maar als dit wordt gesaldeerd met de niet gevaren periodes, zou wel aan de gestelde eis kunnen worden voldaan.

Voorbeeld 3 (saldering tussen ruimtes)

Het geluidsniveau in zowel de slaapkamer als de woonkamer bedraagt 62 dB(A) tijdens varen. Voor de slaapkamer zou dit een overschrijding betekenen van 2 dB ten opzichte van de eis van 60 dB(A). Voor de woonkamer betekent dit een onderschrijding van -8 dB ten opzichte van de eis van 70 dB(A). Stel men verblijft per 24 uur gemiddeld 4 uur in de woonkamer en gemiddeld 8 uur in de slaapkamer. In dat geval kan door toepassing van saldering tussen de ruimten de overschrijding in de slaapkamer teniet gedaan worden. Deze wordt met andere woorden gecompenseerd door extra 'stilte' in de woonkamer.

Toelichting

Anno 1975 werd de eis geformuleerd als een gemiddelde over een ruimte in een worst case situatie. In de jaren erna is allerlei wetgeving op het gebied van geluid tot stand gekomen die telkens uitgaan van middeling over tijd. Meest recent is de ontwikkeling rond saldering, waarbij extra hinder in een situatie kan worden gecompenseerd met minder hinder in een andere situatie. Dit zijn nieuwe feiten die de normstelling van 1975 in een ander daglicht stellen.

Dit kan op twee manieren in de normstelling worden gebruikt: bij toetsing aan de voorkeursgrenswaarde of (bij niet voldoen) pas bij bepalen of ontheffing kan worden verleend.

In dit laatste geval worden middeling en saldering gebruikt als onderbouwing voor ontheffing. Dat betekent dat als (na eerst alle mogelijke doelmatige maatregelen te hebben toegepast) met middeling en saldering(en) alsnog de criteria kunnen worden gehaald, ontheffing kan worden verleend.

In het eerste geval (zoals in feite geschetst in figuur 5.1) worden alle middelingen en salderingen al direct bij de eerste toetsing toegepast, waardoor de kans op de noodzaak van maatregelen afneemt. Ontheffing (als maatregelen toch nodig zijn) vindt dan alleen plaats op grond van onvoldoende ondoelmatigheid.

Een mix is ook mogelijk: saldering van tijd (MCR-mix, middeling over dag, week en jaar) vinden al bij eerste toetsing plaats, hetgeen in lijn is met andere regelgeving op het gebied van geluid. Saldering van ruimte (in en tussen ruimtes) vindt plaats als ontheffing wordt aangevraagd, waarbij het criterium is dat met die saldering alsnog de voorkeursgrenswaarde wordt gehaald.

Deze drie verschillende methodes leiden elk tot andere einduitkomsten: bij volledige saldering pas bij ontheffing is er meer druk op het nemen van maatregelen dan als saldering al bij de eerste toetsing plaatsvindt. De mengvorm stuurt naar maatregelen voor een specifieke ruimte, veelal die waar men het langst aan geluid is blootgesteld.

5.5 Advies

Samengevat wordt onderstaande strategie voorgesteld. Er wordt vanuit gegaan, op basis van de meetresultaten in hoofdstuk 3, dat de problematiek zich beperkt tot de woon- en slaapvertrekken.

Ontheffingssystematiek:

1. Uitgaan van een gemiddeld geluidsniveau van 60 en 70 dB(A) als voorkeursgrenswaarde in de slaapkamer respectievelijk de woonkamer;
2. Saldering toepassen zodat variaties in geluidsniveau tussen de verschillende ruimten en de duur van de blootstelling een rol spelen in de bepaling van het gemiddelde geluidsniveau;
3. Door het treffen van de doelmatige maatregelen, kan ontheffing worden verleend boven de voorkeursgrenswaarde met een maximum tot de maximale ontheffingswaarde;

4. Er geldt een maximale ontheffingswaarde voor de slaapkamer van 70 dB(A). In de woonkamer is deze bovenwaarde 80 dB(A);
5. Maatregelen mogen iets kosten. De doelmatigheid kan worden berekend aan de hand van de ultieme maatregel, maximaal 14 uur varen, wat het schip- of categorie-specifiek maakt. Alternatief is een criterium op basis van WTP en WTA.

Zoals in hoofdstuk 5.1 en 5.2 uitgelegd, heeft de schipper steeds de keuze om te varen volgens A1 om zo maatregelen aan de slaapkamer te voorkomen. De geluidniveaus in de woonkamer kunnen dan nog steeds aanleiding geven om maatregelen te moeten treffen. De overschrijdingen zijn over het algemeen echter beperkt zodat doelmatige maatregelen een reële optie zijn.

6 Meetprotocol

6.1 Inleiding

Tijdens dit onderzoek is een zeer uitgebreid meetprotocol aangehouden. Dit heeft tot doel gehad te kunnen valideren welke metingen minimaal nodig zijn om overschrijdingen en oorzaken aan te kunnen duiden. In de praktijk zal het niet nodig zijn om voor elk schip dit uitgebreide meetprotocol te volgen. Als het alleen gaat om het vaststellen van de geluidniveaus en beoordelen of aan de eisen wordt voldaan, dan kan worden volstaan met het uitvoeren van enkele geluidmetingen op basis van een globaal geluidniveau (ééngetalswaarde in dB(A)). Het meetprotocol dat hiervoor is opgesteld heet het meetprotocol voor de inspecteur.

Als ook een advies moet kunnen worden gegeven over de te nemen maatregelen, dan is een uitgebreider meetprotocol nodig. Dit is het meetprotocol voor de adviseur.

Navolgende paragrafen beschrijven de meetprotocollen voor de inspecteur en de adviseur.

6.2 Meetprotocol inspecteur

6.2.1 Opzet Meetprotocol

In het kader van een flexibilisering van de normstelling, is één van de voorstellen uit het vooronderzoek om de meetomstandigheden van de controle van de geluidniveaus aan te passen (zie hoger). Conform het Reglement voor onderzoek van schepen op de Rijn (ROSR) worden de geluidniveaus in de diverse ruimten vastgesteld en getoetst onder de conditie dat het schip vaart bij 95% van het maximaal motorvermogen (MCR). Het vooronderzoek heeft uitgewezen dat dit geen realistische conditie is, omdat de betreffende schepen over het algemeen bij veel lagere motorvermogens varen. Ook de schippers van de in dit onderzoek gemeten schepen, bevestigen dit beeld. In het meetprotocol is daarom uitgegaan van het voorstel van TNO en Level Acoustics om een gewogen MCR-mix toe te passen op basis van de gemeten geluidniveaus bij 5%, 25%, 55% en 85% van het MCR. Het gewogen resultaat uitgedrukt als L_{waSN} (weighted average Ship Noise sound level) dient per ruimte als volgt te worden bepaald:

$$L_{waSN} [dB(A)] = 10 \log [0,26 \cdot 10^{(L_{5\%}/10)} + 0,37 \cdot 10^{(L_{25\%}/10)} + 0,23 \cdot 10^{(L_{55\%}/10)} + 0,14 \cdot 10^{(L_{85\%}/10)}]$$

Het L_{waSN} wordt vervolgens getoetst aan de grenswaarden uit het ROSR.

Opmerking:

In het ROSR is niet bepaald of de meting dient te gebeuren in beladen of onbeladen toestand. Hoewel de beladen toestand waarschijnlijk het meest representatief is voor geluidniveaus tijdens vaart, mag voortsnog zelf worden gekozen bij welke belading de meting wordt uitgevoerd. Het is onduidelijk wat het effect van belading precies is op de gemeten geluidniveaus.

Het meetprotocol kan op twee manieren gebruikt worden:

1. Om het L_{waSN} vast te stellen op basis van een volledige meting: alle MCR niveaus dienen in dat geval in alle ruimtes te worden gemeten;
2. Om te controleren of een schip voldoet aan de grenswaarden uit de ROSR: in dit geval kan mogelijk volstaan worden met een beperkt aantal metingen in een beperkt aantal ruimten.

De beschrijving van het meetprotocol heeft betrekking op gebruikswijze 2 (controle). Voor gebruikswijze 1 dienen altijd alle metingen voor alle MCR waarden te worden uitgevoerd, in alle ruimten.

6.2.2 Meetprotocol ter controle geluidniveau

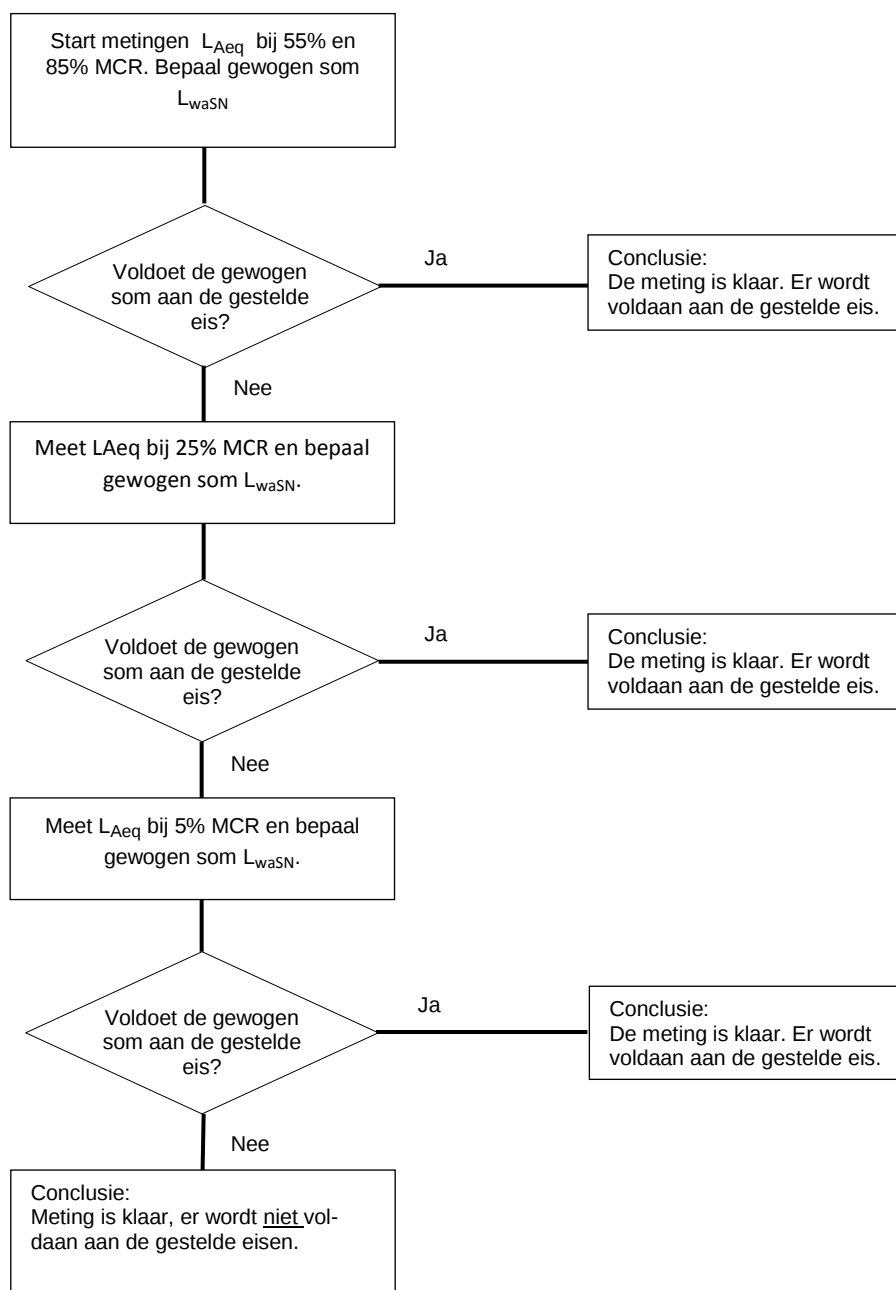
Indien een beoordeling nodig is of wordt voldaan aan de eisen, dan kan in eerste instantie worden volstaan met alleen een meting bij de hoogste twee percentages (55% en 85% MCR). Uit het onderzoek op in totaal 9 schepen (4 schepen uit het vooronderzoek en 5 schepen uit het vervolgonderzoek) blijkt dat deze MCR condities bepalend zijn voor het LwaSN. Verder blijkt uit beide onderzoeken dat in de machinekamer en in de stuurhut op alle schepen en onder alle condities wordt voldaan aan de gestelde eisen. Om die reden wordt voorgesteld de inspectie in eerste instantie te beperken tot de meest kritische ruimten: de woon- en slaapkamers. Mocht een schip de stuurhut direct boven de machinekamer hebben liggen, dan is de stuurhut ook een kritische ruimte.

Het voorgestelde meetprotocol voor de inspecteurs ziet er, per ruimte, als volgt uit:

- Over een meettijd van 20 seconden wordt per ruimte, met behulp van een klasse 1 geluidmeter, de parameter L_{Aeq} (A-gewogen energetisch gemiddelde geluidniveau over de duur van de meting) bepaald. De metingen vinden plaats in het midden van de ruimte, terwijl de microfoon rustig heen en weer wordt bewogen om de invloed van staande golven in de ruimte uit te middelen;
- Metingen worden uitgevoerd in de volgende ruimten:
 - Woonkamer(s);
 - Slaapkamer(s).
- In elke ruimte dient het geluidniveau zowel bij 55% als bij 85% MCR te worden gemeten. Indien er een overschrijding wordt vastgesteld bij een van de twee MCR niveaus dient eerst te worden gecontroleerd of de gewogen som L_{waSN} [dB(A)] eventueel wel voldoet. Hierbij dient vanuit een worstcase benadering ervan uitgegaan te worden dat het gemeten geluidniveau bij 55% ook wordt aangehouden bij 25% en 5% MCR. Indien de gewogen som voldoet, dan kan gestopt worden met meten en wordt geconcludeerd dat in de betreffende ruimte aan de geluideis wordt voldaan.
- Indien de gewogen som niet voldoet, dan dient de meting te worden herhaald bij een MCR van 25% en wordt vervolgens de gewogen som L_{waSN} [dB(A)] opnieuw bepaald en gecontroleerd of deze voldoet. De gemeten waarde bij 25% MCR wordt dan ook ingevuld bij 5% MCR. Indien de gewogen som voldoet, dan kan gestopt worden met meten. In de betreffende ruimte wordt voldaan aan de geluideis.
- Indien de gewogen som niet voldoet, dan dient de meting te worden herhaald bij een MCR van 5% en wordt tenslotte bepaald of de gewogen som voldoet. Indien ja, dan wordt geconcludeerd dat in de betreffende ruimte aan de geluideisen wordt voldaan. Indien nee, dan wordt in deze ruimte niet aan de eis voldaan.

6.2.3 Stroonschema per ruimte

Schematisch ziet het meetprotocol MCR er als volgt uit:



Figuur 6.1: Stroonschema meetprotocol inspecteur

6.2.4 Digitaal meetformulier

Als hulpmiddel voor de inspecteur is tevens een digitaal invulformulier opgesteld en ter beschikking gesteld aan ILT. Dit digitale formulier berekent bijvoorbeeld direct de L_{waSN} en geeft op basis van de meetresultaten direct aan of een volgende MCR al dan niet dient te worden gemeten. Bovendien wordt de berekende L_{waSN} direct getoetst. In het digitale formulier is de toelichting opvraagbaar door middel van een link. Voor het digitale formulier is alleen het programma Excel nodig en geen internet verbinding.

Een papieren formulier is ook ter beschikking gesteld. Hierin kunnen de resultaten worden ingevuld, maar kan geen berekening worden uitgevoerd om aan te geven of een volgend MCR percentage dient te worden gemeten of wat de waarde is van L_{waSN} . De inspecteur dient dit dan zelf uit te rekenen of alle MCR stappen direct te doorlopen. Wel is een rekenhulp toegevoegd en staat in de toelichting de formule voor de berekening van L_{waSN} .

Het scherm van het digitale invulformulier ziet er als volgt uit:

Meetformulier behorende bij meetprotocol										
Datum:										
Inspecteur:										
Type geluidmeter:										
Naam schip:										
Scheepsnummer:										
Jaartal schip:										
Tonnage schip:										
Merk motor:										
Pk motor:										
Vaste opstelling:										
Max toeren motor:										
Soort schroef:										
Korte toelichting: - vul alleen de gele vakken in - begin met 85 en 55% en bekijk toetsingsresultaat - voor 25% en 5% wordt laagste waarde 85 of 55% overgenomen - indien niet voldoet: vul dan 25% en eventueel 5% in - gebruik bij benoeming ruimte "woonkamer" of "slaapkamer nr" of "machinekamer of "stuurhut" - voor een handmatige berekening van de L_{waSN} MCR -mix kan gebruik worden gemaakt van de rekenhulp $L_{waSN} [dB(A)] = 10 \log [0,26 \cdot 10^{(L_{85}/10)} + 0,37 \cdot 10^{(L_{55}/10)} + 0,23 \cdot 10^{(L_{25}/10)} + 0,14 \cdot 10^{(L_{5}/10)}]$										
Klik op deze link voor de uitgebreide toelichting										
	Woonkamer	Slaapkamer 1	Slaapkamer 2	Slaapkamer 3	Machinekamer	MCR coëfficiënt	Rekenhulp meting 85 en 55%			
85% MCR						$L_{Aeq} [dB(A)]$	0,14	85%	55%	L_{waSN}
55% MCR						$L_{Aeq} [dB(A)]$	0,23	x dB	x-10	x-6,5
								x dB	x-8	x-5,6
MCR -mix						$L_{Aeq} [dB(A)]$	0,37	x dB	x-7	x-5,1
								x dB	x-6	x-4,5
25% MCR						$L_{Aeq} [dB(A)]$	0,37	x dB	x-5	x-3,9
								x dB	x-4	x-3,2
MCR -mix						$L_{Aeq} [dB(A)]$		x dB	x-3	x-2,4
								x dB	x-2	x-1,7
5% MCR						$L_{Aeq} [dB(A)]$	0,26	x dB	x-1	x-0,8
								x dB	x	x
L_{waSN} MCR -mix						$L_{Aeq} [dB(A)]$		x dB	x+1	x+0,3
								x dB	x+2	x+0,5
Toetsingswaarden	70,5	60,5	60,5	60,5	110,5	$L_{Aeq} [dB(A)]$		x dB	x+3	x+0,9
								x dB	x+4	x+1,3
								x dB	x+5	x+1,8

Figuur 6.2: Invulscherm digitaal meetformulier

6.2.5 Verdere aanbevelingen

Door ILT is het meetprotocol getest op de RWS 71 van Rijkswaterstaat. Doel van deze testronde was niet om aanvullende resultaten te verzamelen, maar om de bruikbaarheid van het meetprotocol te beoordelen. De belangrijkste conclusie van de inspecteur was dat het niet handig is uit te gaan van % MCR. Op het grootste deel van de schepen zijn toerentallen direct af te lezen maar het % MCR niet. Hiertoe is een omreken tabel nodig die in principe per schip en per type motor anders is. Ten behoeve van de geluidmetingen zoals gerapporteerd in hoofdstuk 3 is een veralgemeende omreken tabel gehanteerd die afkomstig is uit het vooronderzoek. Deze tabel in op de volgende pagina weergegeven.

Tabel 6.1 – Voorstel voor meetcondities voor geluidmetingen in stuurhut, woon- en slaapruidten

Meetconditie	% MCR	% maximum toerental	Wegingsfactor
A	5%	37%	$W_A = 0,26$
B	25%	63%	$W_B = 0,37$
C	55%	82%	$W_C = 0,23$
D	85%	95%	$W_D = 0,14$

Geadviseerd wordt nader te (laten) onderzoeken op welke wijze de vertaalslag kan worden gemaakt van % MCR naar % toerental en op basis hiervan het meetprotocol aan te passen.

6.3 Meetprotocol adviseur

Wanneer het meetprotocol van de inspecteur overschrijdingen laat zien dan is onderzoek nodig ter bepaling van doelmatige geluidreducerende maatregelen.

Op dit moment zijn haalbare en tevens effectieve maatregelen:

- Afveren van motor en keerkoppeling, en ontkoppelen van andere verbindingen tussen deze bronnen en de scheepsconstructie, zoals via leidingen;
- Ontdreunen van wanden, plafonds en/of vloeren;
- Wegnemen van 'rattle'.

Deze maatregelen zijn additief: bij voorkeur worden ze alle drie genomen. Het afveren is een belangrijke maatregel omdat de motor en keerkoppeling tot nu toe altijd de belangrijkste bron blijken te zijn. Ontdreunen is belangrijk omdat naast de motor en keerkoppeling ook schroefgeluid en cavitatiegeluid belangrijk zijn die op dit moment het beste met ontdreuning kunnen worden bestreden, zij het slechts in beperkte mate. 'Rattle' kan, in die ruimtes waar het optreedt, dominant zijn en is eenvoudig te bestrijden door dat wat (onbedoeld) los zit, vast te zetten.

A priori is echter niet zeker wat het effect gaat zijn van deze maatregelen, aangezien dat zeer specifiek is voor een schip en is dus ook niet duidelijk of een maatregel doelmatig is (meer oplevert dan het kost). Bovendien vraagt het toepassen van deze maatregelen wat extra informatie:

- welke vlakken moeten worden ontdreund?
- op welke frequenties moet een afvering worden ontworpen?
- is er sprake van 'rattle' en zo ja op welke locatie?

Voor het bepalen van de doelmatigheid en het genereren van de extra informatie is een adviseur nodig die een onderzoek uitvoert gebaseerd op metingen. Het volgende meetprotocol kan deze adviseur gebruiken.

Meetmiddelen

- trillingsopnemer (bij voorkeur: triaxiaal);
- microfoon;
- datalogging die smalbandige analyse mogelijk maakt (bijv.: een geluidmeter die Fourierspectra vastlegt, of een computer + geluidkaart die tijdsignalen vast legt, naderhand uit te werken met signaalverwerkingsssoftware.

Specificaties (gevoeligheden, instellingen) van de meetmiddelen kunnen worden overgelaten aan de expertise van de adviseur. De middelen zullen niet aan hoge eisen hoeven te voldoen: de te meten niveaus zijn relatief hoog en dus makkelijk te meten en er is geen sprake van zeer hoge of zeer lage te meten frequenties.

De metingen kunnen in principe “éénkanaals” worden uitgevoerd. Meerkanaals (ultimo vierkanaals) verdient de voorkeur aangezien dan meer analyses mogelijk zijn en de metingen tevens sneller kunnen worden uitgevoerd. Voor de trillingsmetingen aan/bij de motor en keerkoppeling geldt namelijk dat deze in alle drie de richtingen dient te worden uitgevoerd, hetgeen betekent voor een éénkanaalssysteem (met een trillingsopnemer die maar in één richting meet) dat de meting drie maal moet worden uitgevoerd, steeds voor elk van de drie richtingen.

Te meten objecten en ruimten

- Trillingen in de fundatie van motor en keerkoppeling met als doel: bepalen dominante frequenties van deze bronnen. Deze worden vervolgens gebruikt om te vergelijken met geluidniveaus in de vertrekken, ter bepaling van de dominantie van deze bronnen en worden gebruikt om een geschikte afvering te ontwerpen.
- Trillingen van beide zijden van een afgeveerde machinevoet, indien deze aanwezig is. Dit gebeurt voor ALLE aanwezige machinevoeten en eventueel aanwezige afveringen in andere koppelingen (zoals leidingen). Doel hiervan is om te bepalen of deze reeds aanwezige afveringen functioneren. Zo niet dan is een voor de hand liggende maatregel om deze afveringen te vervangen en nu ontworpen op basis van de meetresultaten.
- Trillingen van de vlakken in de ontvangruimten (wanden, plafond, vloer). Doel is om te bepalen welke vlakken de grootste bijdragen leveren aan het geluidniveau in de ruimte en kandidaat zijn om met ontbreuning te worden behandeld. Tevens kan, indien er sprake is van ‘rattle’ in een ruimte terwijl niet duidelijk is waar deze vandaan komt, met deze meting eventueel achterhaald worden achter welk vlak de rattle wordt veroorzaakt.
- Geluid in de verblijfruimten. Doel is om het relatieve belang van de motor plus keerkoppeling te bepalen en daarmee de doelmatigheid van maatregelen daaraan.

Te meten condities

De metingen aan de genoemde objecten en in de genoemde ruimten worden uitgevoerd in de maatgevende bedrijfsconditie. Dit is óf die bedrijfsconditie waarvan meer dan 90% van de tijd sprake is (zoals bij een kraanschip: stilliggend werken) en anders die conditie waarin, volgens de geluidmeting van de inspecteur, de hoogste geluidniveaus zijn gemeten.

Eerst wordt echter, voor zover mogelijk, de vier condities van de MCR-mix gevaren om op het gehoor te bepalen of er in één of meer van deze condities sprake is van ‘rattle’ in (bepaalde) verblijfsruimten. Is er sprake van ‘rattle’ en is deze eenvoudig weg te nemen (klepperende deur bijvoorbeeld) terwijl het vermoeden bestaat dat dit niet is gebeurd bij de meting die ten grondslag ligt aan het inspectierapport, dan kan worden overwogen de “inspectiemeting” over te doen om te bepalen wat het effect is van relatief simpele ingrepen in het interieur. Is de bron van de ‘rattle’ niet onmiddellijk duidelijk (is deze waarschijnlijk verborgen achter wanden), dan wordt het protocol op dit punt verder vervolgd, wat inhoudt dat met behulp van trillingsmetingen de locatie nader wordt onderzocht.

Verwerking en rapportage

De metingen worden zodanig verwerkt en gerapporteerd dat antwoord wordt gegeven op de vragen:

- Wat is het effect van aanbrengen dan wel aanpassen van afvering van motor en keerkoppeling (inclusief leidingen) op de geluidniveaus in de verblijfruimten? Voor de maatgevende bedrijfssituatie en (afgeschat) voor de MCR-mix.
- Welke afveerfrequentie dient daartoe te worden nagestreefd?
- Wat is het effect van ontdreuning op de geluidniveaus in de verblijfruimten? Voor de maatgevende bedrijfssituatie en (afgeschat) voor de MCR-mix.
- Welke vlakken in de verblijfruimten dienen daarvoor te worden ontdreund?
- Hoeveel kg/m² is daarvoor nodig?
- Is er sprake van 'rattle' en zo ja wat is het effect van wegnemen hiervan op de geluidniveaus in de verblijfruimten? Voor de maatgevende bedrijfssituatie en (afgeschat) voor de MCR-mix.
- Waar ligt de bron van de 'rattle'?

Om deze vragen te beantwoorden worden de trillings- en geluidmetingen uitgewerkt op de volgende wijzen:

- als tijdsignaal (met A-weging voor geluid);
- als smalbandspectrum;
- als breedbandspectrum.

Scope

Dit meetprotocol dekt de meeste situaties, namelijk die waar motor en keerkoppeling de dominante bronnen zijn. In die situaties maakt het protocol het mogelijk om maximaal 10 dB "diep" te kijken: wat is het effect en wat zijn de kosten voor maatregelen waarbij tot 10 dB reductie mogelijk is? Als meer nodig is, moeten bronnen, paden en afstraalvlakken veel nauwkeuriger worden geanalyseerd dan dit protocol ondersteunt. De kans dat dit leidt tot doelmatige maatregelen is dan intussen overigens afgenomen: de eerste 10 dB zullen het "goedkoopst" zijn. Ook in die situaties dat niet de motor en keerkoppeling maar de schroef of cavitatie de dominante bron is, is dit protocol grotendeels onvoldoende. Alleen de trillingsmetingen in de verblijfruimten, ter bepaling van te ontdreunen vlakken, is dan nog functioneel. Uitgebreidere metingen, en zelfs modelleringen, zullen dan nodig zijn om alsnog tot maatregelkeuze en –afweging te komen en wederom geldt dat de kans dat deze doelmatig zullen blijken fors zal zijn afgenomen.

Om kort te gaan geldt dus dat dit protocol erop gericht is om in 80% van de gevallen de wijze en doelmatigheid van de meest haalbare maatregelen te bepalen waarmee (maximaal) de eerste 10 dB reductie kan worden gerealiseerd.

6.4 Advies

In dit onderzoek zijn twee meetmethodes gebruikt om dominante bronnen en maatregelen te kunnen bepalen: een zeer uitgebreide (door Level Acoustics & Vibration), om elk schip zo grondig mogelijk te analyseren en een zeer beknopte (door Rubber Design), die in de adviespraktijk van Rubber Design zijn nut heeft bewezen. Bij deze laatste meetmethode is gebruik gemaakt van een losse geluidmeter en een 1-kanaals trillingsmeter.

Uitgangspunt van het onderzoek was dat beiden ongeschikt zouden zijn voor een adviseur, daar de eerste methode teveel tijd en middelen vraagt en de tweede methode naast meetresultaten vooral gebruik maakt van persoonlijke ervaring en inzicht. Voor de adviseur is dus een protocol nodig dat daar tussen in ligt.

Het nu voorgestelde meetprotocol voor adviseurs ligt dicht bij de methode van Rubber Design. Er is echter niet die mate van ervaring voor nodig omdat gebleken is dat mag worden aangenomen dat op binnenvaartschepen de dominante bron de motor is.

Waar uit de meting blijkt dat de motor dat toch niet is, heeft verdere identificatie van de bron, waarvoor uitgebreider meten en/of meer ervaring nodig is, in de meeste gevallen weinig zin omdat maatregelen dan beter aan de ontvangkant kunnen worden genomen. Het meetprotocol voorziet daarom, in uitbreiding op de methode van Rubber Design, ook in metingen aan wanden, plafond en vloer met het oogpunt te bepalen welke vlakken eventueel ontdreund of afgeveerd moeten worden (dan wel om een erachter verstopte bron van 'rattle' te verwijderen). Voor die situaties waar toch maatregelen aan schroefgeluid en/of cavitatie nodig en haalbaar zouden zijn, moet worden verwacht dat de adviseur de benodigde meetmethode zelf kan opzetten, dan wel daarvoor een andere deskundige zal betrekken. In ieder geval levert dit meetprotocol de resultaten om zo'n vervolgtraject te signaleren.

Naast het vaststellen van een deskundig advies is ook een goede begeleiding tijdens het aanbrengen van de maatregelen nodig. Kleine onzorgvuldigheden in de uitvoering van de maatregelen, kunnen een groot negatief effect hebben op het geluidreducerend resultaat. Als de motor bijvoorbeeld op trillingsisolatoren wordt gezet maar de leidingen van en naar de motor blijven star gekoppeld aan het schip, dan is het reducerende effect van de trillingsisolatoren veel minder dan op basis van de specificaties van de isolatoren mag worden verwacht.

7 Conclusies en aanbevelingen

Binnenvaartschepen op de internationale Rijn moeten voldoen aan de technische eisen inclusief geluideisen uit de ROSR. In 2003 is besloten dat ook schepen gebouwd voor het jaar 1976 vanaf 2020 moeten gaan voldoen aan deze eisen. Door de brancheorganisaties voor de binnenvaart is bij het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) gesignaleerd dat het voldoen aan de geluideisen uit de ROSR zal leiden tot technische en/of financiële knelpunten.

Het vooronderzoek door TNO en Level Acoustics⁶ bevestigt dit. De uitgevoerde metingen in het kader van voorliggend onderzoek geven vergelijkbare resultaten. De geluidproblemen zijn het grootst in de woon- en slaapkamers. In de woonkamers zijn overschrijdingen tot 9 dB gemeten, in de slaapkamers zelfs tot 21 dB.

Om een overschrijding van 9 dB op te heffen, wordt in eerste instantie geadviseerd maatregelen aan de motorzijde te treffen (het op veren zetten van de motor en al het leidingwerk, het verstevigen van de fundatie, idealiter in combinatie met het aanpakken van de keerkoppeling en schroef). Een verdere reductie kan worden gerealiseerd door aanvullend ontdreuningsmatten toe te passen op de juiste plaatsen in de betreffende ontvangruimten. Het opheffen van overschrijdingen tot maximaal 10 à 13 dB zou dus technisch mogelijk moeten zijn, mits analyse en uitvoering van de maatregelen deskundig gebeuren. De bijbehorende financiële investering kan echter hoog oplopen.

In geval van overschrijdingen tot 21 dB wordt naast het financieel vraagstuk ook het technisch verhaal een stuk ingewikkelder. De kans is zelfs reëel dat dit soort overschrijdingen, binnen redelijke randvoorwaarden, niet volledig technisch oplosbaar zijn.

Op basis van bovenstaande is geconcludeerd dat flexibilisering van de normstelling een primaire vereiste is om een grote groep schepen een kans op overleven te gunnen. Een vorm van flexibilisering wordt ook toegepast in de geluidwetgeving in diverse andere domeinen zoals in de Wet geluidhinder (wegverkeer, railverkeer), de milieuhygiënische strategie uit de Arbeidsomstandighedenwet en het ALARA principe uit de industrie (As Low As Reasonably Achievable). Deze inzichten hebben geleid tot een toetsing op basis van een reële blootstelling aan geluid waarbij ook de duur van de blootstelling en de financiële component een belangrijke rol spelen.

In voorliggend onderzoek zijn daarom diverse voorstellen opgenomen om de huidige normstelling uit het ROSR aan te passen, rekening houdend met deze 'nieuwe' inzichten. De belangrijkste punten hierin zijn:

- MCR-mix of toerental mix: geluidmetingen uitvoeren bij representatieve vaaromstandigheden in plaats van het maximale en weinig gebruikte 95% MCR;
- equivalente geluidniveaus en saldering: (verblijf)tijdsaspecten mee laten wegen in de bepaling van het te beoordelen *gemiddelde* geluidniveau in plaats van het momentane geluidniveau;
- Introduceren van een flexibele normstelling: ontheffingssystematiek op basis van doelmatigheid van maatregelen waardoor financiële aspecten ook een weegfactor krijgen, echter zonder dat gezondheidsaspecten hierdoor in het gedrang komen.

⁶ Rapport 2013 R11830, juli 2014, Overgangstermijnen geluidsnormen binnenvaart - Geluidstechnische en financiële consequenties van het toepassen van de normen – Definitief rapport
Vervolgonderzoek Geluid Binnenvaartschepen
Eindrapport - definitief

Het onderzoek leidt tot de volgende aanbevelingen:

1. Bespreekbaar maken van de voorstellen tot flexibilisering van de normstelling in de CCR commissie;
2. Onderzoek (laten) uitvoeren naar de financiële aspecten van de doelmatigheid van geluidreducerende maatregelen;
3. Onderzoek (laten) uitvoeren naar de vertaling van %MCR naar percentage toerental in verband met de uitvoering van het meetprotocol.

DPA Cauberg-Huygen B.V.



C.J. Ostendorf, Adviseur

Level Acoustics



ir. C.E. Laudij, Adviseur