

**Technical Sciences**

Oude Waalsdorperweg 63  
2597 AK Den Haag  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 10 00

F +31 70 328 09 61

**TNO-rapport****2013 R11830****Overgangstermijnen geluidnormen  
binnenvaart - Geluidtechnische en financiële  
consequenties van het toepassen van de  
normen - Definitief rapport**

Datum	juli 2014
Auteur(s)	Foort de Roo Casper Bosschaart Eddy Gerretsen (Level Acoustics) Mark Houben Erwin Jansen Sabine Janssen Arnold Koopman (Level Acoustics) Remy Wenmaekers (Level Acoustics)
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	109 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	14
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Milieu t.a.v. Mr. L. Vermeulen Postbus 20904 2500 EX DEN HAAG
Projectnaam	Onderzoek overgangstermijnen geluidnormen binnenvaart – Zaaknr. 31082862
Projectnummer	060.04645

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

## Samenvatting

De geluideisen met betrekking tot de toelaatbare geluidniveaus in ruimten op het schip en in de buitenlucht in de nabijheid van het schip, die zijn vastgelegd in het Reglement voor onderzoek van schepen op de Rijn (ROSR), zullen met ingang van 1 januari 2020 ook gaan gelden voor binnenvaartschepen waarvan de kiel is gelegd op 1 april 1976 of daarvoor.

Door de brancheorganisaties voor de binnenvaart is bij het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) onder de aandacht gebracht dat het voldoen aan de geluideisen zal leiden tot technische en / of financiële knelpunten voor diverse categorieën van oudere binnenvaartschepen.

De aard en de omvang van de knelpunten met betrekking tot het voldoen aan de geluideisen uit het ROSR zijn in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu onderzocht door TNO in samenwerking met het adviesbureau Level Acoustics.

Bij de discussie over de consequenties van het toepassen van de geluidnormen zijn ook vragen gerezen over de onderbouwing van de aard en de zwaarte van de gestelde geluideisen. Daarom is het onderzoek uitgevoerd aan de hand van de volgende onderzoeksvragen:

- a) Zijn, met het oog op veiligheid, arbeidsomstandigheden en comfort, de normen uit het reglement ten aanzien van geluidproductie door binnenvaartschepen adequaat en noodzakelijk?
- b) Welke argumentatie ligt ten grondslag aan de formulering van de eisen en de daarbij behorende meetmethode en de bedrijfscondities van de voortstuwingsmachine en de hulpaggregaten tijdens de meting? In hoeverre wordt deze argumentatie door feiten ondersteund?
- c) In hoeverre voldoet de bestaande binnenvaartvloot van voor 1976 aan de normen? Hoe groot is het gedeelte van de vloot dat niet aan de normen voldoet, uitgesplitst naar CEMT klassen?
- d) Is het voor bestaande schepen technisch mogelijk om binnen de gestelde overgangstermijn aan de norm te voldoen? Welke maatregelen moeten worden getroffen en wat zijn de kosten van deze maatregelen?
- e) Welke maatregelen kunnen worden genomen om bij schepen die niet aan de normen kunnen voldoen, toch een verbeterde situatie te creëren die de norm benadert en wat zijn de kosten van deze maatregelen?

Ter beantwoording van deze vragen zijn de volgende onderzoekstappen uitgevoerd:

- Literatuuronderzoek naar de onderbouwing van de eisen en naar geluidmeetgegevens van binnenvaartschepen uit eerdere onderzoeken;
- Uitgebreide geluid- en trillingsmetingen op vier binnenvaartschepen;
- Analyse van de meetresultaten en uitwerking van geluidreducerende maatregelen;
- Kostenschattingen van de geluidreducerende maatregelen;
- Inventarisatie van de samenstelling van de binnenvaartvloot uit 1976 en eerder.

Uit de verkregen onderzoeksresultaten worden in relatie tot de gestelde onderzoeksvragen de volgende conclusies getrokken:

- Ad a) De geluideisen voor de machinekamer en het stuurhuis zijn adequaat en noodzakelijk uit een oogpunt van gehoorbescherming en ten aanzien van de vereisten voor communicatie. Ten aanzien van vermoeidheid en concentratie bij de uitvoering van de besturingstaak is de informatie uit de literatuur niet eenduidig. Daardoor kan geen conclusie worden getrokken over de vraag of de geluideis voor het stuurhuis ten aanzien van vermoeidheid en concentratie bij de besturing adequaat is. De eisen voor de woon- en slaapruidten zijn bij lange na niet toereikend indien de uitgangspunten van woon- en slaapcomfort worden gehanteerd die gebruikelijk zijn voor woon- en slaapverblijven in woningen. Echter, gezien de specifieke beperkende randvoorwaarden die gelden aan boord van binnenvaartschepen, en de verschillende niet-akoestische factoren die ervoor kunnen zorgen dat de geluidniveaus aan boord van schepen anders worden ervaren dan in een gewone woonomgeving, kan op dit moment vanuit onderzoekresultaten geen onderbouwing worden gegeven van grenswaarden voor geluid in woon- en slaapruidten aan boord van binnenvaartschepen. Derhalve wordt voorlopig geconcludeerd dat de huidige eisen als minimaal noodzakelijk en als juist adequaat kunnen worden bestempeld.
- Ad b) De voorgeschreven bedrijfsconditie tijdens de geluidmeting gaat uit van een vermogensinstelling van de voortstuwingsmotor van 95 % MCR (Maximum Continuous Rating = maximaal continu beschikbaar motorvermogen). Dit is een bedrijfsconditie die op vrijwel alle binnenvaartschepen slechts bij uitzondering wordt toegepast. Het beschrijft een 'worst case' situatie en wijkt daarmee sterk af van de meetvoorschriften voor zeeschepen volgens IMO, die gespecificeerd zijn voor de normale bedrijfsconditie van het schip. Uit een statistische analyse van diverse beschikbare informatiebronnen blijkt dat alle vermogenscondities van 0 tot 100 % MCR voorkomen tijdens het normale bedrijf van binnenvaartschepen. Op basis van deze gegevens is een voorstel voor een gecombineerde geluidindicator ontwikkeld, aangeduid als het gewogen gemiddelde scheepsgeluidniveau  $L_{waSN}$  ('weighted average Ship Noise level'). Deze geluidindicator is gebaseerd op een gewogen energetisch gemiddelde van de meetwaarden bij vier meetcondities, te weten 5, 25, 55 en 85 % MCR. Als dit voorstel zou worden overgenomen zouden de meetresultaten 2,5 à 5 dB(A) lager worden dan de meetresultaten volgens het huidige meetvoorschrift.
- Ad c) Naar schatting voldoet slechts 5 % van de bestaande binnenvaartvloot van voor 1976 aan de geluideisen volgens het ROSR, gemeten volgens het thans geldende meetvoorschrift. De totale omvang van de oudere binnenvaartvloot wordt geschat op 2709 schepen. 95 % daarvan, oftewel 2574 schepen, voldoen niet volledig aan deze eisen. Niet de CEMT-klasse, maar de geluidtechnische eigenschappen van de scheepsopbouw en de voortstuwingsinstallatie zijn bepalend voor de mate waarin de eisen worden overschreden en dus voor de aard van de geluidreducerende maatregelen die moeten worden getroffen om aan de eisen te kunnen voldoen. Op grond van de statistiek van optredende overschrijdingen van de geldende geluideisen is een indeling gemaakt in geluidreductiecategorieën die in Tabel 1 wordt weergegeven.

Ad d) Voor bestaande schepen is het in principe geluidtechnisch mogelijk om te voldoen aan de huidige ROSR eisen. Voor schepen die in de hogere geluidreductie categorieën vallen (meer dan 10 dB(A)) zal echter wel een uitgebreid, evenwichtig pakket goed uitgevoerde ingrijpende geluidreducerende maatregelen nodig zijn om de aanzienlijke vereiste geluidreducties te halen. Daarbij gaat het zowel om maatregelen in de machinekamer als in de accommodatie. Akoestische maatregelen in de accommodatie vergen wel een bepaalde inbouwhoogte, die ten koste gaat van stahoogte, terwijl de voorgeschreven vrijstaande wandbetimmering ten koste gaat van het vloeroppervlak en het volume. Dit zou in conflict kunnen komen met geldende regels betreffende minimale stahoogte en/of de leefruimte in de verblijven. Indien de huidige stahoogte in de verblijven van een schip op dit moment juist voldoet aan de eisen hieromtrent, is toepassing van zwevende vloeren niet mogelijk.

Het percentage van de binnenvaartvloot waarvoor het voldoen aan de geluideisen een strijdigheid met de overige bouwkundige eisen aan de verblijven oplevert is in dit project niet verder onderzocht.

Voor een effectieve toepassing en een toereikend resultaat zullen de maatregelen moeten worden gedimensioneerd aan de hand van geluidmetingen en een geluidbijdragenanalyse uitgevoerd voor elk schip afzonderlijk. Ook een goed toezicht op de details van de uitvoering van de maatregelen is hiertoe onontbeerlijk.

Het inschakelen van een gespecialiseerd scheepsakoestisch adviesbureau voor het uitwerken van een verbouwplan en voor het begeleiden van de uitvoering wordt dan ook sterk aanbevolen.

In Tabel 1 worden de geraamde kosten per schip gegeven als functie van de geluidreductie categorie. Tevens geeft deze tabel de totale kosten voor de Nederlandse binnenvaartvloot die dateert uit 1976 en eerder.

Tabel 1 – Aantallen binnenvaartschepen ouder dan 1976 ingedeeld naar geluidreductie categorie; kosten van geluidreductie maatregelen per schip en voor de totale vloot.

Reductie categorie	Aantal schepen	Kosten per schip	Kosten vloot
		x 1000 €	x 1 miljoen €
0 – 5 dB(A)	566	80 – 200	45 – 113
6 – 10 dB(A)	669	80 – 200	54 – 134
11 – 15 dB(A)	824	120 – 295	99 – 243
> 15 dB(A)	515	160 – 370	82 – 191
<b>Totaal</b>	<b>2574</b>		<b>280 – 681</b>

Ad e) Bij schepen waarvoor het financieel niet haalbaar blijkt om het volledige vereiste maatregelenpakket uit te voeren, zou kunnen worden volstaan met het aanbrengen van doos-in-doos constructies in de slaapverblijven. Ongeacht de oorzaken van de overschrijding van de geluideisen is een dergelijke maatregel effectief en levert een relatief hoge geluidreductie (ca. 15 dB(A)) op tegen een vergelijkenderwijs niet zo hoog kostenniveau.

Met deze maatregel zal echter niet volledig en/of niet in alle ruimten aan de geluideisen kunnen worden voldaan.

Indien zou worden overgestapt van het huidige meetvoorschrift op een voorschrift op basis van de combinatie van vier meetcondities (zie Ad b) zal dit resulteren in 2,5 à 5 dB(A) lagere meetresultaten. Indien de eisen onveranderd blijven, levert dit een feitelijke verlichting van de eisen op. Voor sommige schepen die niet aan de huidige eisen kunnen voldoen, omdat de financiële of andere consequenties van de benodigde maatregelpakketten onoverkomelijk zijn, levert deze verlichting wellicht juist genoeg speelruimte op om bij een gewijzigd meetvoorschrift wél te voldoen.

Wanneer het voldoen aan de geluideisen in woon- en/of slaapruiden onoverkomelijke problemen oplevert, zou een alternatieve benadering kunnen zijn om voor het gebruik van het schip over te stappen op exploitatiewijze A1, waarbij het schip ten hoogste 14 uur per periode van 24 uur vaart. In dat geval vervallen de geluideisen voor woon- en slaapruiden. Aangezien de geluideisen voor stuurhuis en machinekamer veelal geen grote problemen opleveren, kan deze beperking van de exploitatiewijze een eenvoudige en financieel draaglijke oplossing bieden.

#### Overige bevindingen van het onderzoek

- In de praktijk van de certificering worden twee meetcondities toegepast bij het uitvoeren van geluidniveaumetingen: 95 % MCR (conform Dienstinstructie nr. 5 en ISO 2923) en 95 % van het maximaal motortoerental. De laatste conditie wordt vaak toegepast als in het stuurhuis geen instrument beschikbaar is om het momentane vermogensgebruik tijdens de geluidmetingen af te lezen. De meetresultaten bij 95 % MCR zullen doorgaans 1 tot 3 dB(A) hoger zijn dan de resultaten bij 95 % van het maximaal motortoerental.
- Conform de "Beleidsregel terugstellen motorvermogen" [34] is het mogelijk het motorvermogen met maximaal 25 % te reduceren en op die instelling te verzegelen. In dat geval worden de geluidmetingen uitgevoerd bij 95 % van het toerental, waarbij het gereduceerde maximale motorvermogen, zijnde 75 % van het oorspronkelijke maximale vermogen, wordt ontwikkeld. Uit de meetresultaten van de vier onderzochte schepen blijkt dat de geluidniveaus bij deze lagere meetconditie tussen 0 en 5 dB lager kunnen zijn dan bij de algemeen voorgeschreven meetconditie van 95 % MCR.
- Uit een analyse van 92 rapporten van vroeger uitgevoerde geluidniveaumetingen op binnenvaartschepen blijkt dat er geen correlatie bestaat tussen de gemeten geluidniveaus in de woon en slaapruiden en de volgende kenmerken van de schepen: bouwjaar motor, maximum motortoerental, verend opgestelde motor, aanwezigheid zwevende vloeren, CEMT-klasse en bouwjaar schip.
- Op de 4 gemeten binnenvaartschepen varieerde de gemeten overschrijding van de geluideisen als volgt:
  - Voor de woonruimten: -3 (onderschrijding) tot 8 dB(A) overschrijding;
  - Voor de slaapruiden: 8 tot 21 dB(A) overschrijding.
- De belangrijkste bijdragen aan de geluidniveaus in de woon- en slaapruiden zijn afkomstig van de volgende bronnen: hoofdmotor, keerkoppeling, schroef (cavitatiegeluid), uitlaatsysteem.
- Overdracht van luchtgeluid vanuit de machinekamer draagt nauwelijks bij tot de geluidniveaus in de accommodatie, zeker niet als er aanvullende akoestische maatregelen in de accommodatie zijn genomen.

- Door toepassing van een verende opstelling van hoofdmotor en keerkoppeling als geluidreducerende maatregelen voor de woon- en slaapruidten kan in de machineruimte een (beperkte) toename van de geluidniveaus optreden. Dit is echter op de gemeten binnenvaartschepen niet geconstateerd.
- De geluidniveaus in de machineruimte voldeden in de vier gemeten schepen aan de eis van 110 dB(A). Ook bij de inventarisatie van oudere meetresultaten bleek slechts in enkele gevallen een overschrijding van de eis voor te komen.
- Bij de kritische bespreking van de geluideisen is beargumenteerd dat een beperkte verruiming van de geluideis voor de machinekamer toelaatbaar zou zijn, uitgaande van een kortdurend verblijf (< 1 uur) in de machineruimte bij aanzienlijk lagere vermogensinstellingen dan 95 % MCR. Gezien de kans dat bij hogere geluidniveaus in de machinekamer de invloed van luchtgeluidoverdracht zou toenemen, hetgeen afbreuk zou doen aan het effect van constructiegeluidmaatregelen, wordt voorgesteld de huidige eis van 110 dB(A) in de machinekamer te handhaven.
- Op dit moment zijn geen onderzoekresultaten bekend, waarop een onderbouwing van grenswaarden voor geluid in woon- en slaapruidten aan boord van binnenvaartschepen kan worden gebaseerd. Verder onderzoek naar het verband tussen ervaren geluidhinder c.q. slaapverstoring en geluidniveaus in woon- en slaapruidten aan boord van binnenvaartschepen wordt aanbevolen.
- Het voldoen aan de geluideisen in de woon- en slaapruidten kan een strijdigheden opleveren met andere bouwkundige eisen, als de stahoogte of het vloeroppervlak van de ruimte te klein is om een zwevende vloer, een vrijstaande wandbetimmering of een verlaagd plafond toe te passen. Nader onderzoek naar de mate waarin deze strijdigheden zich voordoen bij oudere binnenvaartschepen wordt aanbevolen. Tevens kan daarbij worden onderzocht welke effecten van geluidreducerende maatregelen in de accommodatie haalbaar zijn met inachtnaam van de gestelde geometrische randvoorwaarden.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Onderzoeksvragen .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Opzet van het onderzoek .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Evaluatie van de gestelde geluideisen .....</b>	<b>14</b>
4.1	Achtergrond en onderbouwing van de vereiste geluidniveaus per type ruimte c.q. omgeving .....	14
4.2	Achtergrond en onderbouwing van de voorgeschreven meetmethoden.....	16
4.3	Kritische bespreking van de geluideisen .....	17
4.4	Kritische bespreking van de voorgeschreven meetmethode.....	24
<b>5</b>	<b>Evaluatie van resultaten van vroegere onderzoeken.....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Geluid- en trillingsmetingen .....</b>	<b>28</b>
6.1	Inleiding .....	28
6.2	Overzicht schepen .....	28
6.3	Metingen .....	32
6.4	Resultaten.....	32
6.5	Conclusies meetcampagnes .....	35
<b>7</b>	<b>Akoestische berekeningen aan effecten van mogelijke geluidreducerende maatregelen.....</b>	<b>37</b>
7.1	Aanpak modelberekeningen.....	37
7.2	Berekende effecten van geluidreducerende maatregelen.....	37
7.3	Conclusies berekeningen .....	38
<b>8</b>	<b>Evaluatie van de impact van de gestelde geluideisen.....</b>	<b>40</b>
8.1	Gemeten geluidniveaus per type ruimte.....	40
8.2	Aantallen schepen per klasse.....	40
8.3	Schatting van het percentage van de schepen dat niet aan de eisen voldoet .....	42
<b>9</b>	<b>Kostenconsequenties van de maatregelen .....</b>	<b>43</b>
9.1	Retrofitkosten per type maatregel .....	43
9.2	Kosten per schip per geluidreductie categorie voor het meest effectieve maatregelpakket .....	50
9.3	Kosten voor de Nederlandse binnenvaartvloot .....	52
<b>10</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>53</b>
10.1	Met betrekking tot het reglement (ROSR) van de Centrale Commissie Rijnvaart ..	53
10.2	Met betrekking tot te treffen geluidtechnische maatregelen aan schepen.....	54
10.3	Overige bevindingen van het onderzoek .....	56
10.4	Aanbevelingen voor verder onderzoek.....	57
10.5	Aanbeveling voor onderzoek naar alternatieve benadering.....	57
10.6	Aanbeveling opstellen handleiding geluidreducerende maatregelen.....	57

<b>11</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>62</b>

**Bijlage(n)**

- A Overzicht geluidmeetresultaten uit vroegere onderzoeken
- B Correlaties tussen geluidmeetwaarden van oudere onderzoeken en kenmerken van schepen
- C Meetprogramma MTS Marina
- D Karakteristieke eigenschappen van MTS Marina
- E Meetprogramma MS Twillis
- F Karakteristieke eigenschappen MS Twillis
- G Overzichtstekeningen MS Estero
- H Karakteristieke eigenschappen MS Estero
- I Overzichtstekeningen MS Valé
- J Karakteristieke eigenschappen MS Valé
- K Gedetailleerde analyse van geluid- en trillingsmeetresultaten
- L Akoestische berekeningen aan effecten van mogelijke geluidreducerende maatregelen
- M Verdeling van bedrijfscondities over bedrijfstijd
- N Verdeling van vermogensgebruik herleid uit positiedata van de Marine Traffic website



# 1 Inleiding

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; zie [30]).

Voor schepen waarvan de kiel is gelegd op 1 april 1976 of daarvoor, is voor een aantal technische voorschriften een overgangstermijn vastgesteld die op 1 januari 2020 afloopt. Bij verlenging van het certificaat na de einddatum van de overgangstermijn moeten ook deze oudere schepen aan de voorschriften voldoen. Voor een aantal technische eisen met betrekking tot de toelaatbare geluidniveaus in ruimten op het schip en in de buitenlucht in de nabijheid van het schip gelden overgangsbepalingen met als einddatum 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 binnenvaartschepen.

Indien een maatregel in de praktijk moeilijk uitvoerbaar is of onevenredig hoge kosten met zich mee brengt voor de individuele binnenvaartondernemer, heeft de CCR de mogelijkheid een afwijkende eis te stellen via de hardheidsclausule zoals vastgelegd in artikel 24.04 lid 4 ROSR [30].

Het Ministerie van I&M heeft aan TNO opdracht verleend voor het uitvoeren van een nader onderzoek naar de aard en de omvang van de knelpunten met betrekking tot het voldoen aan de geluideisen uit het ROSR. De opdracht wordt door TNO uitgevoerd in samenwerking met het adviesbureau Level Acoustics te Eindhoven.

## 2 Onderzoeksvragen

Aangezien bij de discussie over de consequenties van het toepassen van de geluidnormen ook vragen zijn gerezen over de ratio achter de gestelde geluideisen en over de relevantie van de geluidnormen en de daaruit voortvloeiende vereiste maatregelen voor de beoogde doelen, is de vraagstelling voor het uit te voeren onderzoek als volgt geformuleerd:

- a) Zijn, met het oog op veiligheid, arbeidsomstandigheden en comfort, de normen uit het reglement ten aanzien van geluidproductie door binnenvaartschepen adequaat en noodzakelijk?
- b) Welke argumentatie ligt ten grondslag aan de formulering van de eisen en de daarbij behorende meetmethode en de bedrijfscondities van de voortstuwingsmachine en de hulpaggregaten tijdens de meting? In hoeverre wordt deze argumentatie door feiten ondersteund?
- c) In hoeverre voldoet de bestaande binnenvaartvloot van voor 1976 aan de normen? Hoe groot is het gedeelte van de vloot dat niet aan de normen voldoet, uitgesplitst naar CEMT klassen?
- d) Is het voor bestaande schepen technisch mogelijk om binnen de gestelde overgangstermijn aan de norm te voldoen? Welke maatregelen moeten worden getroffen en wat zijn de kosten van deze maatregelen?
- e) Welke maatregelen kunnen worden genomen om bij schepen die niet aan de normen kunnen voldoen, toch een verbeterde situatie te creëren die de norm benadert en wat zijn de kosten van deze maatregelen?

Aangezien de overschrijding van het toelaatbare geluidniveau in de buitenlucht in de nabijheid van het schip direct gerelateerd blijkt te zijn met de overschrijding van de toelaatbare geluidniveaus in de verschillende ruimten van het schip, behoeft geen apart onderzoek naar de geluidniveaus in de buitenlucht te worden uitgevoerd.

### 3 Opzet van het onderzoek

In het verleden zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de optredende geluidniveaus in diverse ruimten van binnenvaartschepen en naar het effect van geluidreducerende maatregelen op deze niveaus. Hoewel de resultaten van deze onderzoeken geen afdoend antwoord geven op de huidige onderzoeksvragen, wordt wel een aanzienlijke hoeveelheid relevante informatie ontleend aan de rapporten van vroegere onderzoeken.

Het huidige onderzoek is als volgt gefaseerd:

#### Fase 1 – Inventarisatie beschikbare kennis en informatie

Aan de hand van beschikbare literatuur en informatie uit de archieven van de CCR, de IVR en de brancheorganisaties voor de binnenvaart is de informatie die relevant is voor de verschillende onderzoeksvragen geïnventariseerd en geëvalueerd.

Rapporten van vroeger verrichte onderzoeken zijn verzameld en de geluidmeetgegevens zijn geëvalueerd.

Uit het gegevensbestand van de IVR (Internationale Vereniging het Rijnschepenregister) is informatie verkregen over de aantallen schepen van verschillende klassen, lengtes, tonnages en bouwjaren die op dit moment een Rijnvaartcertificaat hebben.

Uit het klankbordoverleg met vertegenwoordigers van de brancheorganisaties is gebleken dat binnen elk scheepstype en –klasse een grote variatie voorkomt van de geluidtechnisch relevante specificaties [bijv. lengte, laadvermogen, motortype (aantal cilinders, maximaal toerental, maximaal vermogen), bepalende geluidbronnen, typerende constructiewijze in relatie tot geluidoverdrachtspaden].

#### Fase 2 – Onderzoek van achtergrond en onderbouwing van de geluideisen

- Eisen t.a.v. geluidniveaus

Voor de eisen t.a.v. de geluidniveaus in verschillende ruimten en op 25 afstand van het schip is nagegaan of er informatie is over de onderbouwing van de eis, welke overwegingen zijn gehanteerd voor het opnemen van de eis in de ROSR, welke keuzes er zijn gemaakt en of deze relevant zijn voor de beoogde doelen. Indien niet kon worden achterhaald waarop de eisen zijn gebaseerd dan zijn deze voor zover mogelijk vergeleken met andere bekende eisen, normen, en beschikbare kennis. Hierbij is gekeken naar verschillende aspecten op het gebied van veiligheid, gezondheid en comfort.

Met betrekking tot de eisen voor het stuurhuis en de machinekamer is o.a. nagegaan hoe deze zich verhouden tot de EU Kaderrichtlijn Arbeidsveiligheid (89/391/EEG).

Met betrekking tot de eisen aan de geluidniveaus in de woon- en slaapverblijven is nagegaan hoe de gestelde eisen zich verhouden tot de huidige kennis op het gebied van hinder en slaapverstoring door transportgeluid in het algemeen. Met betrekking tot de eis aan het geluidniveau op 25 m afstand is nagegaan in hoeverre deze eis voldoende bescherming biedt aan bewoners van woningen dicht aan de vaarweg. Op basis van de bevindingen is bepaald of de in de ROSR gestelde eisen onderbouwd kunnen worden op basis van de huidige kennis, en op welke punten de kennis tekortschiet.

- Voorgeschreven meetmethoden  
De relevantie en juistheid van de voorgeschreven meetmethoden en de daarbij in te stellen bedrijfscondities van de voortstuwingsmachines en hulpaggregaten zijn geëvalueerd aan de hand van informatie, die verkregen is van de schippers van de binnenvaartschepen, waarop de geluidmetingen (zie fase 4) zijn verricht. Van deze schepen en van 29 andere schepen is ook de statistische verdeling van de bedrijfscondities (vermogen, motortoerental) bepaald aan de hand van positie- en snelheidsgegevens, die zijn verkregen via de website Marine Traffic [35].  
Op basis van de resultaten van deze evaluatie is een concept van een gewijzigde Dienstinstructie nr. 5 voor de Commissies van Deskundigen ingevolge artikel 1.07 van het ROSR voor het uitvoeren van geluidmetingen opgesteld. Uitgangspunt hierbij is dat de gewijzigde meetinstructies gebaseerd blijven op de onderliggende ISO normen 2923 en 2922.

### Fase 3 – Uitwerken meetplan

Mede aan de hand van de resultaten van Fase 1 is voor elk schip een gedetailleerd meetplan opgesteld voor de aanvullende geluidmetingen. Doel van de metingen is de bepaling van de geluidniveaus die relevant zijn voor het al dan niet voldoen aan de geluidnormen en de bepaling van de dominante bronnen en geluidoverdrachtspaden, waaruit de effectiviteit van maatregelen is te herleiden. In de meetplannen is per schip uitgewerkt hoeveel metingen uitgevoerd dienden te worden per ruimte c.q. constructiedeel m.b.t.:

- geluidniveaumetingen in ruimten;
- trillingsmetingen op constructiedelen en werktuigen;
- geluidoverdrachtsmetingen tussen ruimten;
- trillingsoverdrachtsmetingen tussen constructiedelen.

### Fase 4 – Uitvoering geluid- en trillingsmetingen en uitwerken meetdata

In verband met de korte uitvoeringsperiode en de relatief beperkte omvang van dit onderzoek is de verzameling van nieuwe gegevens met behulp van geluid- en trillingsmetingen beperkt tot een kleine steekproef van 4 schepen. Dit heeft als consequentie dat per scheepsklasse slechts één of twee schepen zijn gemeten. Daardoor kan de onzekerheidsmarge van de meetgegevens niet worden bepaald en kan voor de maatregelpakketten die op basis van de meetgegevens worden herleid geen statistische onderbouwing worden gegeven. De nieuw verkregen meetgegevens zijn echter gecombineerd de meetgegevens uit vroeger verrichte onderzoeken, zodat de representativiteit van de resultaten is vergroot. De metingen zijn uitgevoerd aan een steekproef van 4 schepen, zoals gespecificeerd in Tabel 2. De selectie van deze schepen is uitgevoerd in overleg met de brancheverenigingen CBRB (Centraal Bureau voor de Rijn – en Binnenvaart) en BVBU ( Binnenvaart Branche Unie). Bij de selectie is ernaar gestreefd zo veel mogelijk variatie van geluidtechnisch relevante kenmerken in de steekproef mee te nemen.

Tabel 2 – Kenmerken van de schepen waarop geluidmetingen plaatsvinden.

Schip	Bouwjaar	CEMT klasse	Motor	Flexibele opstelling motor	Zwevende vloer
<b>Estero</b>	1963	II	1800 rpm	ja	Nee
<b>Marina</b>	1972	III (verlengd)	1600 rpm	Ja	Ja
<b>Valé</b>	1970	IV	1800 rpm	Nee	Ja, zwevende dekopbouw
<b>Twillis</b>	1963	IV (verlengd)	1600 rpm	Nee	Nee

De meetdata zijn digitaal opgeslagen en na afloop van de meetseries geanalyseerd en omgewerkt tot bruikbare gegevens in de volgende fasen. De meetresultaten zijn deels gebruikt voor het bepalen of al dan niet wordt voldaan aan de eisen en dienen deels als input voor berekening van de effecten van maatregelen in fase 5.

#### Fase 5 – Analyse van mogelijke maatregelen

Per scheepstype c.q. -klasse is bepaald welke knelpunten zich in belangrijke mate voordoen bij het voldoen aan de diverse geluideisen.

Voor elk van deze knelpunten zijn de mogelijke geluidreducerende maatregelen geïnventariseerd.

Deze maatregelen zijn vervolgens op haalbaarheid getoetst aan de hand van de mate waarin de scheepsconstructie moet worden gewijzigd en het daarmee verbonden geschatte kostenniveau.

Voor de haalbaar geachte maatregelen is met behulp van simulatiemodellen berekend welke geluidreductie daarmee kan worden behaald en is bepaald of naar verwachting aan de geluideis kan worden voldaan. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het door TNO ontwikkelde rekenmodel CABIN.

De maatregelen die een voldoende reductie opleverden zijn in fase 6 kosten-technisch onderzocht.

#### Fase 6 – Kostencalculatie

Per maatregelen en per scheepstype c.q. geluidreductie categorie is een kostenraming uitgevoerd.

De resultaten worden in hoofdstuk 9 per maatregel en als totale kosten per geluidreductie categorie gepresenteerd.

#### Fase 7 – Rapportage

## 4 Evaluatie van de gestelde geluideisen

*Dit hoofdstuk behandelt de resultaten van Fase 2 – Onderzoek van achtergrond en onderbouwing van de geluideisen. Ter beantwoording van onderzoeksvraag a) “Zijn, met het oog op veiligheid, arbeidsomstandigheden en comfort, de normen uit het reglement ten aanzien van geluidproductie door binnenvaartschepen adequaat en noodzakelijk?”*

### 4.1 Achtergrond en onderbouwing van de vereiste geluidniveaus per type ruimte c.q. omgeving

De eisen ten aanzien van de geluidniveaus in verschillende ruimten aan boord en op 25 m afstand van het schip staan in het Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn (ROSR) in Artikel 3.04 lid 7 (p. 20 van editie 2011), Artikel 7.01 lid 2 (p. 35), Artikel 8.10 lid 2 (p. 46) en Artikel 12.02 lid 5 (p. 77). Deze geluideisen worden in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 3 - Geluideisen in ROSR per type ruimte c.q. omgeving.

Artikel	Betreft	Aard risico	Geluideis	Meetconditie
<b>3.04 lid 7</b>	Machinekamer (meetpunten gebaseerd op noodzakelijke onderhoudswerkzaamheden)	Gehoorschade	110 dB(A)	Tijdens normale bedrijf van installaties varend bij 95% MCR (=95% Maximaal continu beschikbaar motorvermogen)
<b>7.01 lid 2</b>	Stuurhuis (meetpunt ter hoogte van het hoofd van de roerganger bij stuurstelling)	Verstoring communicatie (marifoon); vermoeidheid en verminderde concentratie	70 dB(A)	Tijdens normale bedrijf van het schip varend bij 95% MCR (=95% Maximaal continu beschikbaar motorvermogen)
<b>8.10 lid 2</b>	Op 25 m afstand zijdelings van scheepswand	Geluidhinder omwonenden vaarweg	75 dB(A) 65 dB(A)	Varend bij maximaal continu toerental Stilliggend*
<b>12.02 lid 5</b>	Woonruimte  Slaapruimte	Verstoring wooncomfort  Slaapverstoring	70 dB(A)**  60 dB(A)**	Varend bij 95% MCR (=95% Maximaal continu beschikbaar motorvermogen)

\* Hoofdmotor uitgeschakeld, hulpmotoren draaiend zoals nodig voor continu bedrijf

\*\* Deze eisen gelden niet als het schip volgens exploitatiewijze A1 wordt ingezet; dit houdt in dat het schip ten hoogste 14 uur per 24 uur vaart (zie [31] – paragraaf 2; Art. 3-10).

De geluideisen verschillen per ruimte vanwege de verschillende functies van de ruimte en de bijbehorende activiteiten van de personen die er verblijven. De aard van het risico per type ruimte c.q. omgeving wordt genoemd in Bijlage 1b van het rapport “Onderzoek en beleidsadvies overgangsbepalingen binnenvaart”, K plus V, aug. 2011 [32]. In de machinekamer zal men over het algemeen maar kort verblijven en moet vooral gehoorschade worden voorkomen (geluideisen in

combinatie met gehoorbeschermers). In het stuurhuis zal met name de concentratie van de roerganger bij zijn werkzaamheden en de communicatie met anderen (via marifoon) in het geding kunnen komen door geluid. Verder dienen de geluideisen in de woonverblijven ter voorkoming van hinder en verstoring van wooncomfort, terwijl het in de slaapverblijven uiteraard met name van belang is dat er geen slaapverstoring optreedt. De eisen aan geluidniveaus op 25 m afstand van varende en aangemeerde binnenvaartschepen zijn vooral bedoeld ter bescherming van omwonenden van de vaarweg tegen geluidhinder en slaapverstoring in hun thuissituatie.

De geluideisen per type ruimte voor de binnenvaartschepen in het ROSR zijn waarschijnlijk gebaseerd op het International Maritime Organization (IMO) reglement voor geluidniveaus aan boord van zeeschepen (Resolution A.468 (XII) [36]):

- 110 dB(A) in niet-continu bemande machinekamers (90 dB(A) in continu bemande);
- Stuurhuis wordt niet genoemd, wel vergelijkbaar: 65 dB(A) voor navigatiebrug en 70 dB(A) voor luisterpost;
- 60 dB(A) in hutten (voor zowel passagiers als personeel) en 53 dB(A) in kantoren.

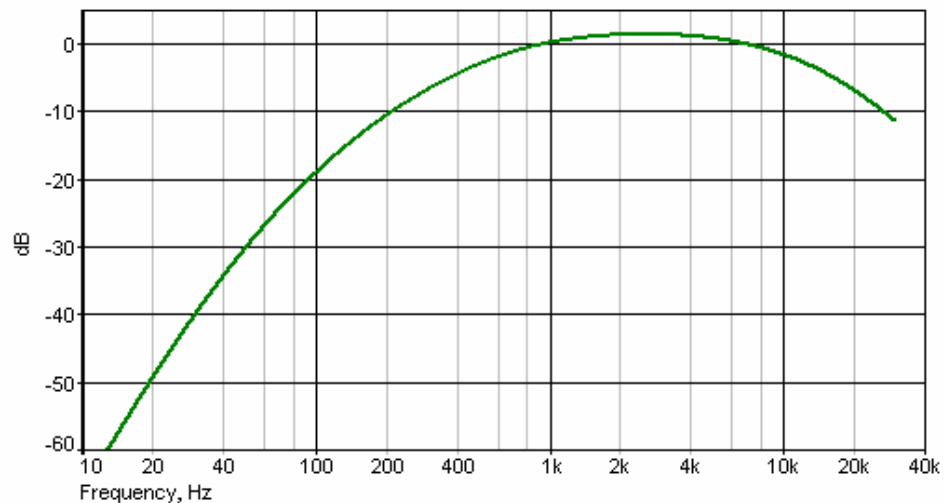
De oorspronkelijke onderbouwing hiervan is echter niet duidelijk; mogelijk zijn de maximaal toelaatbare geluidniveaus vooral gekozen aan de hand van de destijds optredende geluidniveaus per type ruimte en de haalbaarheid. De geluideisen van de IMO zijn gespecificeerd voor de meetconditie tijdens het normale bedrijf van het schip en bij het gebruikelijke toerental van de motor. Het ROSR heeft weliswaar de waarden van de IMO geluideisen overgenomen, maar vereist daarbij dat gemeten wordt bij 95% van het maximaal continu beschikbare motorvermogen. Dit kan als 'worst case' situatie beschouwd worden, waarmee het ROSR dus een stuk strenger is dan de IMO.

In het verleden is wel betoogd dat de in het ROSR voorgeschreven manier van meten en beoordelen van geluid in dB(A) niet adequaat zou zijn voor de beoordeling van geluid op binnenvaartschepen. De reden daarvoor zou zijn, dat de zogenaamde A-weging, die wordt toegepast voor de bepaling van geluidniveaus in dB(A), niet de juiste weging zou geven aan de geluidfrequenties die het meest relevant zijn voor de kans op hinder, slaapverstoring en gehoorschade op binnenvaartschepen.

Uit de resultaten van de geluidmetingen, waarbij ook is gekeken naar de spectrale samenstelling van het geluid (zie Bijlage K; paragrafen K.1.1 tot en met K.1.4), zijn geen indicaties naar voren gekomen dat de A-weging niet adequaat zou zijn. Het A-wegingsfilter bootst in een geluidmeetinstrument de spectrale gevoeligheid van het menselijk gehoor na door aan verschillende frequenties een verschillend gewicht toe te kennen alvorens alle frequentiecomponenten worden gesommeerd tot één niveau. Bij deze wijze van wegen wordt het grootste gewicht toegekend aan geluidcomponenten met frequenties tussen 800 en 8000 Hz (zie Figuur 1). Deze A-weging wordt internationaal aanbevolen voor de beoordeling van omgevingsgeluid met betrekking tot effecten op de mens (ISO 1996-1; [40]), waarbij een strengere beoordeling kan gelden bij bepaalde specifieke kenmerken van het geluid, zoals beperkte frequentiesamenstelling of impulsief karakter.

Uit de resultaten van de frequentie-analyse blijkt dat alle frequenties van 25 Hz tot en met 10.000 Hz in het geluid aan boord van binnenvaartschepen aanwezig zijn en dat er geen sprake is van geluid met een beperkte frequentiesamenstelling. Het geluidniveau is bij gelijkblijvende bedrijfscondities vrijwel constant en vertoont geen impulsief karakter.

Dit alles toont aan dat de A-weging een relevante beoordelingsmethode vormt voor het bepalen van een ééngetalsaanduiding voor dit type geluid.



Figuur 1 – Frequentieresponsie van het A-wegingsfilter (zie [39]).

#### 4.2 Achtergrond en onderbouwing van de voorgeschreven meetmethoden

De meetmethode voor de bepaling van de geluidniveaus in de verschillende typen ruimten is vastgelegd in de Dienstinstructie nr. 5 [29]. In Artikel 3 schrijft deze Dienstinstructie voor dat de geluidmetingen aan boord van de schepen “moeten worden uitgevoerd volgens de norm ISO 2923: 2003 [33], onderdelen 5 tot en 8, met de beperking dat alleen de geluiddrukkniveaus A moeten worden gemeten”. In Clause 7 van deze norm wordt aangegeven dat de hoofdmotor(en) van binnenvaartschepen tijdens de geluidmetingen moeten worden ingesteld op ten minste 95 % van de ‘Maximum Continuous Rating’ (MCR). De norm geeft geen definitie van het begrip MCR, maar in Wikipedia wordt dit gedefinieerd als het maximaal continu beschikbaar motorvermogen onder normale bedrijfscondities. Dit betekent dat volgens de dienstinstructie de geluidmetingen moeten worden verricht bij een zeer hoge vermogensinstelling van de voortstuwingsmotor. Dit vormt zeker geen gemiddelde over de veelvuldig toegepaste bedrijfscondities, maar kan worden beschouwd als een ‘worst case’.

Zoals in paragraaf 4.1 is besproken is deze testconditie aanzienlijk strenger dan de voorgeschreven testcondities voor het meten van geluidniveaus op zeeschepen, die op continue bedrijf zijn gebaseerd. In de dienstinstructie of in ISO 2923 is hiervoor geen motivatie te vinden. Waarschijnlijk is deze keuze gemaakt om, in het licht van de grote variatie van voorkomende bedrijfscondities voor binnenvaartschepen, een eenvoudig en gemakkelijk uitvoerbaar meetvoorschrift te geven. Vermoedelijk heeft de overweging van representativiteit van de meetcondities hierbij niet meegespeeld. In sub-paragraaf 4.4 wordt op dit aspect nader ingegaan.



Voorts is geconstateerd dat in diverse meetrapporten van in Nederland uitgevoerde geluidmetingen is aangegeven dat de meting is uitgevoerd bij 95 % van het maximum toerental. De reden hiervoor is dat op oudere schepen meestal geen mogelijkheid is om het actuele motorvermogen in het stuurhuis af te lezen. Het toerental van de motor of de schroefas kan veelal wel op een instrument worden afgelezen. Men kiest er dan voor het toerental als instelcriterium te gebruiken bij het uitvoeren van geluidmetingen. De twee testcondities komen niet volledig overeen. Het verschil tussen deze twee condities kan resulteren in een verschil in gemeten geluidniveaus van 1 tot 3 dB(A), in een enkel geval oplopend tot 5 dB(A).

Conform de “Beleidsregel terugstellen motorvermogen” [34] is het mogelijk op verzoek van de eigenaar van het schip het motorvermogen met maximaal 25 % te reduceren. Indien deze afstelling is verzegeld en op het certificaat is vermeld, worden de geluidmetingen uitgevoerd bij 95 % van het toerental, waarbij het gereduceerde maximale motorvermogen, zijnde 75 % van het oorspronkelijke maximale vermogen, wordt ontwikkeld. Uit de meetresultaten van de vier onderzochte schepen blijkt dat de geluidniveaus bij deze lagere meetconditie tussen 0 en 5 dB lager kunnen zijn dan bij de algemeen voorgeschreven meetconditie van 95 % MCR.

#### 4.3 Kritische bespreking van de geluideisen

##### 4.3.1 *Geluideisen machinekamer – gehoorbeschadiging*

Wettelijk gezien (middels het arbobesluit [10] ) mag de lawaai-belasting op het oor niet hoger zijn dan 80 dB(A) gedurende 8 uur per dag (equivalent A-gewogen geluidniveau  $L_{Aeq}$  maximaal 80 dB). Met deze grenswaarde wordt tevens voldaan aan de richtlijnen vastgelegd in Europees besluit [11]. Bij deze maximale belasting wordt het risico op gehoorbeschadiging aanvaardbaar klein geacht [12]. Het overschrijden van de grens kan worden gecompenseerd door de blootstellingsduur te verkorten. Per 3 dB overschrijding moet de blootstellingsduur worden gehalveerd: de totale lawaai-expositie bij 80 dB(A) gedurende 8 uur is gelijk aan die bij 83 dB(A) gedurende 4 uur, of 86 dB(A) gedurende 2 uur, etc. Een voorwaarde hierbij is dat gedurende de resterende tijd geen blootstelling aan ander geluid plaatsvindt.

Bij een A-gewogen geluidniveau van 110 dB, de ROSR limiet voor de machinekamer, waarbij wel moet worden opgemerkt dat dit een worst-case situatie van extreme bedrijfsconditie (95% MCR) betreft, wordt de maximale dagdosis al bereikt bij blootstelling gedurende 29 seconde<sup>1</sup>. In deze ruimte is het dragen van gehoorbescherming dan ook noodzakelijk en verplicht. Volgens het Arbo-besluit [38] moet namelijk bij een geluidniveau boven 80 dB(A) een persoonlijk gehoorbeschermingsmiddel worden verstrekt en boven 85 dB(A) moet deze verplicht worden gedragen. Indien gehoorbescherming wordt gedragen, dan dient de lawaai-belasting aan het oor – met de demping van de gehoorbescherming meegerekend – terug gebracht te worden tot (net) onder 80 dB(A), maar de dagelijkse blootstelling (zonder aftrek voor de demping van de gehoorbeschermende middelen) mag beslist niet hoger zijn dan 87 dB(A). Een veel hogere geluidverzwakking is niet gewenst omdat dat het waarnemen van

<sup>1</sup> Een equivalent geluidniveau van 110 dB(A) in plaats van 80 dB(A) reduceert de toegestane blootstellingsduur van 8 uur (28800 s) naar  $28800 * 10^{(80-110)/10} = 29$  s.

waarschuwingssignalen bemoeilijkt en een oncomfortabel gevoel van isolatie kan geven. Gezien het hoge geluidniveau in de machinekamer is het niet aannemelijk dat de gehoorbeschermer het geluidniveau aan het oor tot veel minder dan 80 dB(A) reduceert.

Als gehoorbescherming wordt gedragen, dan kan aan de hand van de geluidverzwakking van de gehoorbescherming worden berekend wat de geluidbelasting is aan het oor (onder de gehoorbeschermer). De geluidverzwakking van een gehoorbeschermer, uitgedrukt in APV waarden (de *Assumed Protection Value*, de gemiddelde demping minus één keer de standaard deviatie), wordt doorgaans gegeven per octaafband met middenfrequenties van 63 Hz of 125 Hz tot 8 kHz (ISO 4869-1:1995). Hiermee kan bij bekend geluidniveau en –spectrum de geluidbelasting onder de gehoorbeschermer worden bepaald. Om eenvoudiger de effectiviteit van gehoorbeschermers te kunnen vergelijken wordt de geluidverzwakking vaak uitgedrukt in één enkele waarde, veelal de *single number rating* (SNR) [13].

Het is lastig de geluidverzwakking van een ‘typische’ gehoorbeschermer te geven omdat de geluidverzwakking van gehoorbeschermers sterk uiteen lopen. Maar ter indicatie: de EAR classic (de klassieke gele foam plug) en EAR Classic Soft hebben een SNR van respectievelijk 28 en 36 dB, de Peltor Optime I en Peltor Optime III oorkappen hebben een SNR van respectievelijk 27 en 35 dB.

Om de veronderstelde geluidbelasting op de oren te bepalen aan de hand van de SNR, moet het C-gewogen geluidniveau bekend zijn: geschatte effectieve A-gewogen geluidniveau = C-gewogen geluidniveau – SNR. Als het verschil tussen C-gewogen en A-gewogen niveau bekend is, dan kan ook vanuit het A-gewogen geluidniveau gerekend worden: geschatte effectieve A-gewogen geluidniveau = A-gewogen geluidniveau + (C-gewogen – A-gewogen niveau) – SNR. Metingen uitgevoerd in het kader van dit rapport laten voor de motorkamer een verschil in C- en A-gewogen niveau zien van gemiddeld 1 dB, met een range van 0 tot 3 dB voor verschillende rotatiesnelheden van de motor van de vier schepen. Uitgaande van de in het ROSR gestelde limiet van 110 dB(A) en het gemiddelde gemeten verschil in C- en A-gewogen niveau geeft dit een geschatte geluidbelasting van 75 tot 84 dB(A) bij bovengenoemde voorbeelden van gehoorbeschermers. Dit komt respectievelijk overeen met geen restrictie in verblijfsduur (dus per dag de gehele 8 uur toegestaan) en een maximale verblijfsduur van ongeveer 3 uur. Aangenomen dat men zich slechts een beperkte tijd in de machinekamer bevindt tijdens bedrijf, is dit een werkbare situatie en is dus de eis strikt genoeg; een lager maximaal geluidniveau eisen in de machinekamer is dan niet nodig, mits continu adequate gehoorbescherming correct wordt gedragen.

Van de andere kant, lijkt het er ook op dat het maximaal toegestane geluidniveau beter niet kan worden verhoogd. Immers, als het maximale geluidniveau wordt verhoogd naar bijvoorbeeld 115 dB(A), dan zal het maximale geluidniveau aan het oor bij bovengenoemde voorbeelden van gehoorbeschermers 80 tot 89 dB(A) zijn, of te wel een maximale verblijfsduur in de machinekamer van 8 uur tot 1 uur. Echter, indien het onrealistisch is dat men zich langer dan 1 uur per dag in de machinekamer bevindt terwijl de motor in bedrijf is dan biedt dat ruimte om de eis iets te verruimen, zeker als het verblijf in de machinekamer niet zal plaatsvinden gedurende de extreme bedrijfscondities waarop de eis is gebaseerd (95% MCR).

N.B. Indien de behaalde geluidverzwakking van een gehoorbeschermer niet toereikend is, dan is er de mogelijkheid om dubbele gehoorbescherming te dragen: een oordop in combinatie met oorkap. In de praktijk zal de geluidverzwakking voor de combinatie ongeveer 3 tot 5 dB hoger zijn dan de hoogste geluidverzwakking van de twee beschermers afzonderlijk (de totale demping van kap en dop is niet gelijk aan de som van de individuele dempingskarakteristieken door akoestische koppeling tussen beide gehoorbeschermers en beengeleiding, geluid dat niet via de lucht maar via het lichaam binnentreedt). Grofweg wordt de toegestane verblijftijd in de lawaaiige ruimte hiermee verdubbeld. Men kan zich afvragen of in de praktijk dubbele gehoorbescherming consequent zal worden gedragen of dat men al snel genoeg neemt met een van de twee.

#### 4.3.2 *Geluideisen stuurhuis – concentratie/communicatie*

In het ROSR wordt voor het stuurhuis een maximaal geluidniveau van 70 dB(A) geëist. Hierbij zal er geen gehoorbescherming worden gedragen. Zowel bij de spreker als bij de luisteraar is het voor de verstaanbaarheid van radiocommunicatie (marifoon) van belang het niveau van het lawaai ten opzichte van dat van spraak zo laag mogelijk te houden. Voor een redelijke (70%) tot goede (100%) verstaanbaarheid zal even luid dan wel luider in de microfoon moeten worden gesproken. Bij normale conversatie (60 dB(A) gemeten op 1 meter) ligt het spraakniveau vlak bij de mond op circa 95 dB(A). Daar boven op kan een luid sprekende persoon met tenminste 15 tot 20 dB zijn of haar stem verheffen. Een positieve signaal-ruisverhouding bij de microfoon is dus realiseerbaar in lawaai tot zeker 110 dB(A). Bij een maximaal geluidniveau in het stuurhuis van 70 dB(A) is er aan de sprekerkant dus geen probleem. Indien nodig kan men van zeer dichtbij spreken met de handset bij de mond.

Aan de luisterzijde geldt een vergelijkbare redenering ten aanzien van de signaal-ruisverhouding. Voor een redelijke tot goede verstaanbaarheid moet, afhankelijk van het lawaainiveau, de spraak even luid dan wel luider dan het lawaai bij de luisteraar worden weergegeven. Een signaal/ruis verhouding van 0 dB komt overeen met een STI (*Speech Transmission Index*) van 0,5, dat in Europese normen als voldoende verstaanbaar wordt beschouwd. Aangezien een marifoon een beperkte bandbreedte heeft is het verstandig daar 3 dB bij op te tellen. Houden we ook nog rekening met een spraakboodschap in een non-native taal dan moet de signaal/ruis verhouding gemiddeld ongeveer 4 dB hoger zijn om het goed verstaanbaar te houden. Zo komen we uit op een signaal-ruis verhouding bij de luisteraar van minimaal 7 dB. In een ruimte met maximaal 70 dB(A) achtergrondlawaai betekent dit een spraakniveau van minimaal 77 dB(A) op de plek van de luisteraar. Dit is onder de limiet van 80 dB(A) in het arbobesluit ter voorkoming van gehoorschade, dus niet schadelijk voor het gehoor, mits het niveau van de marifoon niet veel hoger wordt ingesteld dan noodzakelijk voor spraakverstaanbaarheid. Indien dit laatste wel het geval is hoeft dat niet meteen problematisch te zijn omdat er niet continu gecommuniceerd zal worden via de marifoon, maar slechts een beperkte deel van de totale verblijfsduur in het stuurhuis.

Daarnaast moeten we er van uitgaan dat de marifoon is opgehangen (ROSR artikel 7.07 lid 1 (p.39) "Op schepen met een éénmansstuurstelling voor het varen op radar moet voor het schip-schipverkeer en de nautische informatie het ontvangen door een luidspreker en het zenden door een vast opgestelde microfoon

geschieden"). De marifoon bevindt zich in dit geval op enige afstand van – en idealiter gericht naar – de luisteraar en zal dus een hoger niveau moeten produceren om het gewenste niveau bij de luisteraar te bereiken. Bij een verdubbeling van de afstand ten opzichte van de luisteraar moet het geluidniveau dat de marifoon produceert ca 6 dB hoger zijn<sup>2</sup> om het gewenste niveau op de plek van de luisteraar te verkrijgen. Het niveau van 83 dB(A) in dit voorbeeld zal waarschijnlijk geen probleem zijn, maar dit hangt uiteraard af van de weergever in de marifoon.

Samengevat lijkt de gestelde eis van 70 dB(A) in het stuurhuis strikt genoeg voor verstaanbare communicatie via marifoon, mits het weergaveniveau bij de luisteraar daar ruim boven zit, met minimaal +7 dB(A).

Luisteren naar een spreker via de marifoon heeft naast spraakverstaanbaarheid een luisterinspanning (*listening difficulty*) aspect. Hierbij dient opgemerkt te worden dat spraakverstaanbaarheid niet hetzelfde is als spraakkwaliteit. Het is mogelijk dat de spraakverstaanbaarheid 100% is terwijl de spraakkwaliteit te wensen over laat, bijvoorbeeld door vervorming bij het weergeven van het geluid. Dit kan gevolgen hebben voor de luisterinspanning (concentratie) die nodig is om het gesprokene te verstaan, en leiden tot eerder vermoeid raken. Dit geldt des te meer voor ouderen; voor een gelijke luisterinspanning moet voor deze populatie de signaal-ruis verhouding hoger zijn dan bij jonge luisteraars. Daarnaast zal een slechte geluidskwaliteit negatief bijdragen aan het gevoel van comfort tijdens het werk.

Wat betreft waarschuwingssignalen in het stuurhuis stelt het ROSR dat het akoestische signaal (dat rode signaallampjes vergezeld bij storingen of het uitvallen van inrichtingen waarvan controle verplicht is) ten minste 3 dB hoger moet zijn dan het A-gewogen maximaal heersende geluidniveau ter plaatse van de stuurstelling (ROSR artikel 7.03 lid 6). Wat betreft de alarminstallatie moet in de verblijven, en we nemen aan ook in het stuurhuis, het geluidniveau van het alarmsignaal ten minste 75 dB(A) bedragen (ROSR artikel 7.09 lid 3). Ter vergelijking: In de LSA (International Life-saving Appliance) code voor zeeschepen [14] wordt een minimum geluidniveau van 80 dB(A) geëist en minimaal 10 dB(A) boven het omgevingslawaai. Bij een maximaal geluidniveau in het stuurhuis van 70 dB(A) zal het geen probleem zijn om aan de gestelde niveaus voor waarschuwings- en alarmsignalen te voldoen. Zelfs bij hogere geluidniveaus, bijv 80 dB(A), zal dit geen problemen opleveren, terwijl er tegelijkertijd voldoende ruimte is om het signaal luid genoeg aan te bieden maar niet zo luid dat het zeer onprettig wordt of dat er al bij korte blootstelling reële kans is op gehoorschade.

Naast problemen met communicatie zijn er andere aspecten die een negatieve invloed kunnen hebben op de taakprestatie tijdens het werken in een lawaaiige omgeving. Alhoewel geluid de aandacht en alertheid kan vergroten, kan het ook een toename van vermoeidheid teweegbrengen, welke weer een negatief effect kan hebben op de concentratie. In maritieme ongelukken met menselijke fouten als oorzaak speelt vermoeidheid vaak een rol (zie bijv. Houtman et al, 2005 [15]). Echter, het effect van geluid op alertheid en cognitieve taakprestaties is verre van eenduidig (zie inventarisatie door Dalton & Behm, 2007 [16]). Smith & Ellis (2002) [17] vonden dat op schepen het geluidniveau (gemiddelde  $L_{Aeq}$  gedurende 12 uur

<sup>2</sup> Vereiste toename van bronsterkte voor gelijk geluidniveau op de plek van een luisteraar op 2 m afstand i.p.v. 1 m:  $20 \cdot 10 \log(2 / 1) = +6$  dB.

van 63 dB(A) overeenkomend met  $L_{Aeq}$  gedurende 8 uur van ongeveer 65 dB(A)) gerelateerd is aan een toename van alertheid, maar tevens aan langere reactietijden. Ook vonden zij een betere focus van de aandacht, maar tevens vaker afgeleid zijn. De complexiteit of eentonigheid van de taak zal een rol spelen, alsmede de mate van beweging van het schip, maar hoe deze gerelateerd zijn en afhankelijk zijn van de aard en het niveau van het lawaai is onduidelijk. Het is dan ook moeilijk te voorspellen welk effect een maximaal geluidniveau van 70 dB(A) in het stuurhuis heeft op de concentratie, alertheid, vermoeidheid of taakprestatie in het algemeen.

#### 4.3.3 *Geluidseisen woonruimte – verstoring wooncomfort*

Het ROSR hanteert een maximaal toelaatbaar geluidniveau van 70 dB(A) in woonverblijven op binnenvaartschepen (bij 95% MCR). Dit is te beschouwen als 'worst case' situatie, en is dus aanzienlijk hoger dan de bijbehorende waarde uitgedrukt in equivalente geluidbelasting over een langere periode, zoals meestal gebruikt als indicator voor de hinder en verstoring van wooncomfort. Voor het bepalen van een bij deze maximale waarde behorende representatieve equivalente geluidbelasting is meer informatie nodig over de geluiddruk optredend onder gebruikelijke vaarcondities. Op grond van de evaluatie van de meetresultaten op twee van de vier gemeten schepen volgens de methode zoals voorgesteld in paragraaf 4.4.2 is een voorlopige schatting dat de representatieve equivalente geluidbelasting 2,5 à 5 dB(A) lager ligt dan het geluidniveau bij de thans voorgeschreven bedrijfsconditie (zie Tabel 10 en Tabel 11).

Er is veel onderzoek gedaan naar de gevolgen van transportgeluid in de woonomgeving, resulterend in blootstelling-respons relaties voor hinder door geluid van weg-, rail-, en vliegverkeer, industriegeluid en windturbines (Miedema & Oudshoorn, 2001 [18], Miedema & Vos, 2004 [19], Janssen et al, 2011 [20]). Hieruit zijn per bron grenswaarden afgeleid voor de jaargemiddelde equivalente geluidbelasting aan de gevel van de woning waaraan bewoners mogen worden blootgesteld. Voor scheepvaartgeluid zijn dergelijke blootstelling-respons relaties niet beschikbaar. Bovendien zouden deze om meerdere redenen niet toepasbaar zijn op de situatie van opvarenden aan boord van een schip.

Ten eerste is het bij een schip niet relevant om hinder te relateren aan de geluidbelasting aan de buitenkant van het schip, de geluidbron is immers het schip zelf.

Ten tweede zal een jaargemiddelde geluidbelasting lang niet altijd van toepassing zijn, omdat het schip vaak niet voor het hele jaar de verblijfplaats is voor de opvarenden.

Ten derde is uit onderzoek naar hinder in de woonsituatie gebleken dat geluidhinder beduidend lager kan zijn in gevallen waar de omwonenden economisch baat hebben bij de geluidbron, zoals wanneer mensen bij een luchthaven werken (Miedema & Vos, 1999 [21]) of mede-eigenaar zijn van een windturbine (Janssen, 2011 [20]). Dit is bij uitstek het geval bij (familie van) een binnenvaartschipper en eventueel personeel, voor wie het schip hun bron van inkomsten is. Bovendien veroorzaken zij zelf het geluid en kunnen ze bijvoorbeeld door het aanpassen van de snelheid ook invloed uitoefenen op het geluid dat door het schip wordt voortgebracht, bekend als belangrijke moderator van geluidhinder (Guski, 1999 [22]).

Tenslotte kan ook de verwachting een rol spelen: op een varend schip verwacht men hierbij passende geluiden te horen, die in woningen als vreemd en daardoor

als hinderlijker zouden worden ervaren. Genoemde niet-akoestische invloeden kunnen een vermindering in hinder teweegbrengen die vergelijkbaar is met een geluidreductie van 2 dB tot wel 15 dB.

Bovenstaande suggereert dat de grenswaarden voor geluid in woonverblijven van binnenvaartschepen om meerdere redenen beduidend minder streng hoeven te zijn dan die gehanteerd voor geluid in woningen. Gehanteerde voorkeursgrenswaarden voor de equivalente geluidbelasting op de woninggevel zijn respectievelijk 48 en 55 dB(A) voor weg- en railverkeersgeluid, en 50 dB(A) voor industriegeluid (corresponderend met maximaal 5% ernstig gehinderden). De hoogst toelaatbare waarde voor het gevelniveau is 65-68 dB(A), afhankelijk van de situatie en de bron. Bij overschrijding van de grenswaarden geldt als aanvullende eis dat de maximale geluidbelasting binnen woningen (33-35 dB(A), afhankelijk van de bron) niet overschreden wordt. Daarnaast wordt in het Bouwbesluit 2012 [23] voor geluid van installaties in woningen een grenswaarde van 30 dB(A) aangehouden.

Deze binnenwaarden zijn echter onrealistisch laag voor de situatie aan boord van een varend schip, en liggen ook ver af van de ROSR geluideis van 70 dB(A) (ook na reductie hiervan met 5 dB voor een schatting van het bij deze maximumwaarde behorende equivalente geluidniveau).

Zoals hierboven beschreven zijn er meerdere redenen waarom het geluidniveau aan boord van een schip anders wordt ervaren dan hetzelfde geluidniveau in de woonomgeving, waardoor het maximale geluidniveau dat geaccepteerd wordt een stuk hoger zal liggen.

Op dit moment zijn geen onderzoekresultaten bekend, waarop een onderbouwing van een grenswaarde voor geluid in woonruimten aan boord van binnenvaartschepen kan worden gebaseerd. Derhalve wordt voorlopig geconcludeerd dat de huidige eisen minimaal noodzakelijk en juist adequaat zijn. Verder onderzoek naar het verband tussen geluidhinder en geluidniveaus aan boord van binnenvaartschepen wordt aanbevolen.

#### 4.3.4 *Geluideisen slaapruijnte – slaapverstoring*

In de slaapvertrekken aan boord hanteert het ROSR een maximaal toelaatbare waarde van 60 dB(A), gemeten bij 95% MCR. In een vragenlijststudie waarin 100 passagiers van zeeschepen werd gevraagd naar de aspecten van comfort aan boord die verbetering behoeften, werd door de meeste passagiers (44%) de akoestische aspecten genoemd (Goujard et al. 2005 [24]). Passagiers (31%) vonden de slaapvertrekken de minst comfortabele plekken op het schip met betrekking tot geluid en trillingen, wat wijst in de richting van slaapverstoring als kritisch effect.

In onderzoek naar slaapverstoring door omgevingsgeluid in de woonomgeving is de relatie tussen geluid en verschillende aspecten van de slaap gekwantificeerd (NNGI [28]). Naar aanleiding hiervan is een richtwaarde opgesteld van 40 dB(A) voor de equivalente geluidwaarde tijdens de nacht (meestal bepaald tussen 23:00-07:00) buiten op de hoogst belaste gevel. Daarnaast is, voor situaties waar deze richtlijn niet op korte termijn bereikt kan worden, een voorlopige streefwaarde van 55 dB(A) aangeraden. Deze streefwaarde voor de gevel correspondeert met een binnenwaarde van ongeveer 35 dB(A), veel lager dus dan de maximum waarde van 60 dB(A) voor slaapruijnten van binnenvaartschepen.

Naar slaapverstoring door geluid op schepen is slechts heel summier onderzoek gedaan. In een laboratoriumstudie met drie proefpersonen bleek nachtelijke blootstelling aan continu scheepsgeluid van 65 dB(A) negatieve effecten op de slaap te hebben, vooral op zelf-gerapporteerde maar ook op objectief gemeten slaapaspecten (Tamura et al., 1997 [25]). In een vergelijkbare laboratoriumsetting waarin vier proefpersonen meerdere nachten achter elkaar werden blootgesteld aan continu scheepsgeluid van 60 dB(A) bleek gewenning op te treden op zelf-gerapporteerde maar niet op objectieve slaapaspecten (Tamura et al., 2002 [26]). Ook in een veldstudie onder 62 opvarenden van zeeschepen met een gemiddelde equivalente geluidbelasting van 63 dB(A) werden effecten op objectief gemeten aspecten van de slaap gevonden (Smith & Ellis, 2002 [17]).

In een opvolgende vergelijkbare veldstudie op zeeschepen (zowel passagiers- als vrachtschepen en tankers, gemiddelde equivalente geluidbelasting 65 dB(A)) werden echter geen effecten van geluid op objectieve slaapaspecten gevonden (Ellis et al., 2003 [27]). De auteurs schrijven dit toe aan het vrij constante geluidniveau in de tweede studie, wat mogelijk gewenning aan het geluid vergemakkelijkte, in tegenstelling tot alarmsignalen en slaande deuren in de eerdere studie.

Deze wisselende bevindingen geven geen uitsluitel over de vraag of de ROSR geluideis van 60 dB(A) afdoende beschermt tegen slaapverstoring aan boord. Aangezien 60 dB(A) echter de grenswaarde bij 95% van het maximaal beschikbare motorvermogen betreft, is de toegestane waarde tijdens normaal bedrijf van het schip lager (hoewel lang niet zo laag dat hiermee voldaan wordt aan de algemene richtlijn voor nachtelijk geluid in de woonomgeving (NNGL [28])).

Op dit moment zijn geen onderzoekresultaten bekend, waarop een onderbouwing van een grenswaarde voor geluid in slaapruidten aan boord van binnenvaartschepen kan worden gebaseerd. Derhalve wordt voorlopig geconcludeerd dat de huidige eisen minimaal noodzakelijk en juist adequaat zijn. Verder onderzoek naar het verband tussen slaapverstoring en geluidniveaus in slaapruidten aan boord van binnenvaartschepen wordt aanbevolen.

#### 4.3.5 *Geluideisen 25 m afstand van het schip – geluidhinder omwonenden*

De ROSR geluideisen op 25 m afstand zijdelings van de scheepswand zijn respectievelijk 75 dB(A) voor varende schepen (bij maximaal continu toerental) en 65 dB(A) voor stilliggende schepen (met de hoofdmotor uitgeschakeld en hulpmotoren draaiend zoals nodig voor continu bedrijf). De geluideis voor varende schepen betreft een 'worst case' situatie en heeft bovendien betrekking op een voorbijgaande bron, zodat de relevantie voor omwonenden niet goed te bepalen is. De geluideis voor stilliggende schepen is beter vergelijkbaar met gehanteerde grenswaarden voor equivalente geluidbelasting in de woonomgeving, al is hier nog wel extra informatie nodig over de minimale afstand waarop woningen zich van de wal bevinden (even buiten beschouwing latend dat het geen jaargemiddelde betreft en dat de avond- en nachtwaarden niet zwaarder meegewogen worden zoals in de grenswaarden voor de woonomgeving). Hoewel weinig woningen op slechts 25 m afstand van de wal zullen staan, zal de equivalente geluidbelasting vanwege een aangemeerd schip hier dus maximaal 65 dB(A) mogen zijn. Dit is aan de hoge kant, zeker als men in acht neemt dat geen strengere eisen aan de nachtperiode zijn gesteld, maar nog wel in dezelfde orde van grootte als de hoogst toelaatbare gevelniveaus van geluid uit andere bronnen (65-68 dB(A)). Er bestaan geen wettelijke voorkeursgrenswaarden of hoogst toelaatbare waarden voor de jaargemiddelde geluidbelasting op de woninggevel (of binnenshuis) ten gevolge

van scheepvaart, zoals dat wel het geval is voor andere transportgeluidbronnen of voor industriegeluid. Wel bestaat er jurisprudentie (RvS nr. 200602487/1) over cumulatie van geluid uit verschillende bronnen, waarbij gesteld wordt dat scheepvaartgeluid meegewogen moet worden wanneer aannemelijk is dat het ter plaatse een significante rol speelt.

Aangezien voor hinder van scheepvaartgeluid vooralsnog echter geen blootstelling-respons relaties beschikbaar zijn, is onduidelijk op welke manier dit dan meegewogen moet worden.

Derhalve wordt voorlopig geconcludeerd dat de huidige eisen minimaal noodzakelijk en juist adequaat zijn. Verder onderzoek naar het verband tussen ervaren geluidhinder en geluidbelasting in de woonomgeving ten gevolge van langsvarende of stilliggende binnenvaartschepen wordt aanbevolen.

#### 4.4 Kritische bespreking van de voorgeschreven meetmethode

##### 4.4.1 *Representativiteit van de voorgeschreven meetcondities*

Zoals in paragrafen 4.1 en 4.2 besproken is de meetconditie voor de geluidmetingen van 95 % van de MCR niet representatief voor het normale gebruik. De op deze wijze gemeten geluidniveaus geven daardoor geen goed beeld van de lange-termijn geluidbelastingen waaraan de opvarenden van binnenvaartschepen blootstaan.

Aan de hand van diverse informatiebronnen is nagegaan hoe de representativiteit van de meetgegevens kan worden verbeterd.

De eerste bron wordt gevormd door de informatie van de schippers van de vier gemeten schepen aangaande de vermogensinstelling die zij het meest gebruiken. De ontvangen informatie is als volgt:

Tabel 4 – Meest gebruikte bedrijfscondities voor de vier gemeten schepen.

Naam schip	Meest gebruikt toerental	Percentage van max. toerental	Percentage van max. vermogen
Marina	1400	88 %	65 %
Twillis	1300 – 1400	82 – 89 %	56 – 70 %
Estero	1350	75 %	42 %
Valé	1260	70 %	34 %

De tweede bron van informatie bestaat uit een negental statusrapporten van scheidsmotoren met elektronische motorbewaking. Voor deze negen schepen is een gedetailleerd overzicht beschikbaar van de verdeling van de motorbelasting over de bedrijfstijd.

In bijlage M worden de histogrammen van de vermogensverdeling in grafiekvorm gepresenteerd. Hieruit blijkt dat er een grote diversiteit optreedt in de verdeling van de bedrijfscondities. Er komen niet een aantal specifieke bedrijfscondities naar voren die voor het merendeel van de schepen een groot aandeel in de bedrijfstijd hebben.

Klaarblijkelijk is de verdeling van de bedrijfscondities sterk afhankelijk van scheepstype of vaarroute gebonden factoren. Duidelijk is wel dat een hoog tijdspercentage voor een hoge vermogensinstelling slechts bij één van de negen schepen voorkomt.



Soortgelijke constatering doen zich voor bij de derde bron van informatie. Deze bron bestaat uit vaarroute-traceergegevens van 33 schepen die behoren tot de onderzoeksgroep, en waarvan de vier gemeten schepen deel uitmaken. Deze gegevens zijn verkregen door de 33 schepen gedurende drie maanden te volgen via de website Marine Traffic en de geografische posities van de schepen met tijdsintervallen van 1 minuut op te slaan. Uit de positiegegevens als functie van de tijd zijn de momentane vaarsnelheden bepaald, waaruit histogrammen van de verdeling van de vaarsnelheden over de tijd zijn herleid. De op deze wijze bepaalde snelheden zijn ingedeeld in 50 klassen met een breedte van 0,5 km/h, lopend van 0,5 km/h tot en met 25 km/h. Snelheden van 0 – 0,25 km/h worden in de verdeling niet meegenomen, omdat anders alle tijd dat een schip aan de wal ligt in de verdeling wordt betrokken, hetgeen een vertekend beeld zou geven van de werkelijke vaarsnelheden. Aangezien het benodigde vermogen voor de verplaatsing een derdemachtsfunctie van de vaarsnelheid is, kunnen uit de histogrammen van de vaarsnelheden ook histogrammen van het vermogensgebruik worden afgeleid. Deze zijn voor de 33 gevolgde schepen eveneens bepaald.

In bijlage N - Tabel 26 zijn de vermogens-histogramgegevens per getraceerd schip opgenomen in tabelvorm. De percentages van het MCR zijn opgedeeld in 38 klassen met een breedte van 2,7 % MCR. De gemiddelden, de standaarddeviaties en de maximaal voorkomende waarden van de tijdspercentages per vermogensklasse zijn gegeven onderaan de tabel. De meest rechtse kolom geeft het gemiddelde vermogensgebruik per schip gedurende de traceerperiode. De hoogste gemiddelde waarde voor één schip is 51,5 % MCR; het algeheel gemiddelde vermogenspercentage bedraagt 32,5 % MCR.

Uit deze gegevens blijkt dat de standaarddeviaties van de tijdspercentages per vermogensklasse veelal even groot of groter zijn dan de gemiddelde waarden. Dit illustreert dat er een grote variatie optreedt in de bedrijfscondities en dat er geen condities voorkomen die veel vaker optreden dan andere. Ook de maximale waarden van de tijdspercentage per vermogensklasse geven geen aanknopingspunt voor het identificeren van prominent optredende bedrijfscondities. Een en ander wordt grafisch weergegeven in bijlage N - Figuur 33 en Figuur 34.

#### 4.4.2 *Voorstel voor meer representatieve meetcondities*

De algemene conclusie op basis van de in de vorige paragraaf beschreven informatie is dat het volledige bereik van vermogensinstellingen tussen 0% en 100 % MCR regelmatig in de praktijk wordt toegepast, dat er geen prominente vermogensinstellingen gevonden zijn die veel meer worden toegepast dan andere en dat de lagere vermogensinstellingen vaker voorkomen dan de hogere.

Op grond van deze bevindingen wordt voorgesteld om de Dienstinstructie aan te passen en de geluidniveaus in het stuurhuis en de woon- en slaapvertrekken in de toekomst te bepalen als een gewogen energetisch gemiddelde van de meetwaarden bij vier meetcondities, zoals weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 – Voorstel voor meetcondities voor geluidmetingen in stuurhuis, woon- en slaapruidten.

Meetconditie	% MCR	% maximum toerental	Wegingsfactor
<b>A</b>	5 %	37 %	$w_A = 0,26$
<b>B</b>	25 %	63 %	$w_B = 0,37$
<b>C</b>	55 %	82 %	$w_C = 0,23$
<b>D</b>	85 %	95 %	$w_D = 0,14$

In formulevorm wordt het eindresultaat van de metingen per ruimte dan gegeven door:

$$L_{waSN} = 10 \cdot \lg \left( w_A \cdot 10^{(0,1 \cdot L_A)} + w_B \cdot 10^{(0,1 \cdot L_B)} + w_C \cdot 10^{(0,1 \cdot L_C)} + w_D \cdot 10^{(0,1 \cdot L_D)} \right)$$

waarin:

$L_{waSN}$  = gewogen gemiddelde scheepsgeluidniveau (weighted average Ship Noise soundlevel) in dB(A);

$L_A$  = gemeten scheepsgeluidniveau in dB(A) bij meetconditie A;

$L_B$  = gemeten scheepsgeluidniveau in dB(A) bij meetconditie B;

$L_C$  = gemeten scheepsgeluidniveau in dB(A) bij meetconditie C;

$L_D$  = gemeten scheepsgeluidniveau in dB(A) bij meetconditie D;

$w_A, w_B, w_C, w_D$  = weegfactoren voor meetcondities A, B, C en D.

De 4 testcondities zijn verkregen door het totale bereik van 0 tot 100 % MCR te verdelen in vier gebieden die elk een relevant deelgebied van bedrijfscondities vertegenwoordigen:

- Conditie A (5 % MCR) is representatief voor 0 – 9,5 % MCR;
- Conditie B (25 % MCR) is representatief voor 9,6 – 39 % MCR;
- Conditie C (55 % MCR) is representatief voor 39,5 – 69 % MCR;
- Conditie D (85 % MCR) is representatief voor 69,5 – 100 % MCR.

De in Tabel 5 gegeven weegfactoren zijn verkregen door de gemiddelde tijdspercentages uit Tabel 26 (Bijlage N) behorend bij de vermogensklassen die binnen de hierboven gegeven % MCR-bereiken vallen, bij elkaar op te tellen en vervolgens af te ronden.

Het volgens de voorgestelde methode bepaalde meetresultaat mag vanwege de energetische middeling geacht worden representatief te zijn voor de langtijdige geluidbelasting in de diverse ruimten en past daarom beter bij de in het ROSR gestelde geluideisen dan de resultaten van de thans voorgeschreven meetmethode.

Het gesignaleerde verschil tussen de uitgangspunten van de ROSR-geluideisen en van de IMO-geluideisen kan hiermee worden opgeheven.

Bij twee van de gemeten schepen, de Estero en de Valé, zijn ook geluidmetingen uitgevoerd bij zodanig lage MCR percentages dat de formule voor  $L_{waSN}$  kan worden toegepast.

In Tabel 10 en Tabel 11 worden de resultaten van de bepaling van  $L_{waSN}$  voor deze twee schepen gepresenteerd.

## 5 Evaluatie van resultaten van vroegere onderzoeken

Sinds 1982 zijn een groot aantal onderzoeken uitgevoerd aan geluidniveaus op binnenvaartschepen. In veel gevallen betrof het uitsluitend metingen van de niveaus in diverse ruimten [1] [2] [3] [4] [5] en in een aantal studies heeft ook een verdere analyse van de oorzaken van overschrijding van de eisen plaatsgevonden in combinatie met een evaluatie van mogelijke maatregelen [6] [7] [8] [9]. Alle beschikbare meetresultaten (92) zijn verzameld en gerubriceerd in een overzichtstabel (zie Bijlage A).

Op basis van de meetwaarden in deze overzichtstabel is nagegaan of statistische correlaties kunnen worden gevonden tussen kenmerken van het schip en de geluidmeetwaarden. Hierbij is gekeken naar de volgende kenmerken: bouwjaar motor, maximum motortoerental, verend opgestelde motor, aanwezigheid zwevende vloeren, CEMT-klasse en bouwjaar schip.

Geen van deze kenmerken blijkt (significant) te correleren met de resultaten van de geluidmetingen in de slaaphutten. Hieruit is geconcludeerd dat het al dan niet voldoen aan de geluideisen niet gerelateerd is aan de CEMT-klasse of de leeftijd van het schip of de motor.

De statistische plots van de verbanden tussen geluidmeetwaarden en de scheepskenmerken zijn opgenomen in Bijlage B.

## 6 Geluid- en trillingsmetingen

### 6.1 Inleiding

In het najaar van 2013 zijn aan boord van een viertal binnenvaartschepen geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd. Het doel van de metingen was:

- Het vaststellen van de geluidniveaus in de accommodatie bij meetcondities zoals omschreven in het ROSR.
- Het vaststellen van de geluidniveaus in de accommodatie bij van het ROSR afwijkende meetcondities;
- Vaststellen van aan boord aanwezige dominante geluidbronnen die de geluidniveaus bepalen
- Vaststellen van de dominante overdrachtspaden (via de lucht of via trillingen in de staalconstructie).
- Beoordeling van prestatie van reeds getroffen geluidreducerende maatregelen.
- Bepalen van bronsterktes werktuigen (trillingen machinevoeten) t.b.v. invoer rekenmodel voor kwantificeren effecten van geluidreducerende maatregelen.

### 6.2 Overzicht schepen

In verband met de korte uitvoeringsperiode en de relatief beperkte omvang van dit onderzoek is de verzameling van nieuwe gegevens met behulp van geluid- en trillingsmetingen beperkt tot een kleine steekproef van 4 schepen. Figuur 2 t/m Figuur 5 tonen foto's van de geselecteerde schepen.

De selectie van deze schepen is uitgevoerd in overleg met de brancheverenigingen CBRB (Centraal Bureau voor de Rijn – en Binnenvaart) en BVBU ( Binnenvaart Branche Unie). Bij de selectie is ernaar gestreefd zo veel mogelijk variatie van geluidtechnisch relevante kenmerken in de steekproef mee te nemen. Tabel 6 geeft een overzicht van de selecteerde schepen met de gegevens van de belangrijkste werktuigen aan boord.

Aan boord van een aantal schepen zijn reeds diverse geluidreducerende maatregelen getroffen. Tabel 7 geeft een nader overzicht van deze maatregelen.

Van bijna geen van de schepen waren tekeningen van het algemeen plan en de constructie voorhanden. Daarom is op locatie door het meetteam de accommodatie ingemeten. Figuur 6 toont een schets van de indeling van de accommodatie en de locatie ten opzichte van de belangrijkste geluidbronnen.

Wat in deze figuur opvalt, is dat de Twillis en de Estero slaapvertrekken, waarvoor de strengste geluideis van 60 dB(A) geldt, achter in de accommodatie op akoestisch kritische locaties boven de schroeven zijn geplaatst. Hutten waarvoor hogere grenswaarden gelden, zoals de woonkamer, kunnen beter op akoestisch kritische locaties van het schip geplaatst worden, zoals is gedaan voor de Marina en de Valé.

Tabel 6 – Overzicht belangrijkste geluidbronnen per meetschip.

	<b>Marina</b>	<b>Twillis</b>	<b>Estero</b>	<b>Valé</b>
<b>Klasse</b>	III-IV	V	II	IV
Bouwjaar	1972	1963	1963	1970
Lengte [m]	83,35	105	56	85
Tonnage [ton]	8,26	1914,647	616	1633
<b>Hoofdmotor</b>				
Fabrikant	Caterpillar	Caterpillar	Detroit Diesel	Cummins
Type	3508	3512 B	12V92	KTA 38 M 2
Aantal	1	1	1	1
Max vermogen en toerental	746 kW @1600 tpm	1.015 kW @1600 tpm	441 kW @1800 tpm	955,5 kW @ 1800 tpm
Meest gebruikt % MCR en toerental	65%@ 1400 tpm	56-70%@ 1300 - 1400 tpm	42%@ 1350 tpm	34%@ 1260 tpm
<b>Keerkoppeling</b>				
Fabrikant	Reintjes	ZF	ZF	Twin Disc
Type	Waf 541	BW 461	BW 191	MGN 726 V
Reductieverhouding	1:4,45	1: 4,2941	1: 4,383	1:4,48
<b>Schroef</b>				
Fabrikant	Wartsila	-	Van Voorden	Lips
Type	Tiprake	-	-	cunial
Aantal bladen	5	8	4	5
Diameter [mm]	1400	1550	1300	1500
Straalbuis?	Nee	Ja	Nee	Ja

Tabel 7 – Overzicht geluidreducerende maatregelen aan boord van de meetschepen. Er is onderscheid gemaakt tussen maatregelen aan de bron (werktuigen) en bij de ontvanger (accommodatie).

Schip	Werktuigen				Accommodatie	
	Hoofd-motor verend	Hoofd-motor omkast	Keer-koppeling verend	Ophanging uitlaat-leidingen flexibel	Zwevende vloer	Zwevend dekhuis
<b>Marina</b>	+	-	-	+	+	-
<b>Twillis</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Estero</b>	+	-	-	+	-	-
<b>Valé</b>	-	-	-	-	-	+



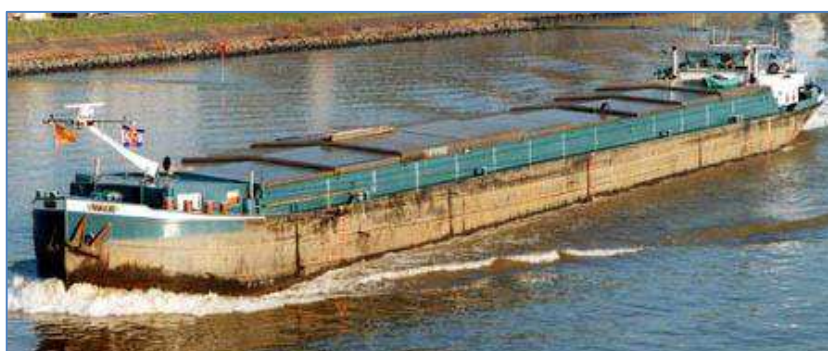
Figuur 2 – MTS Marina.



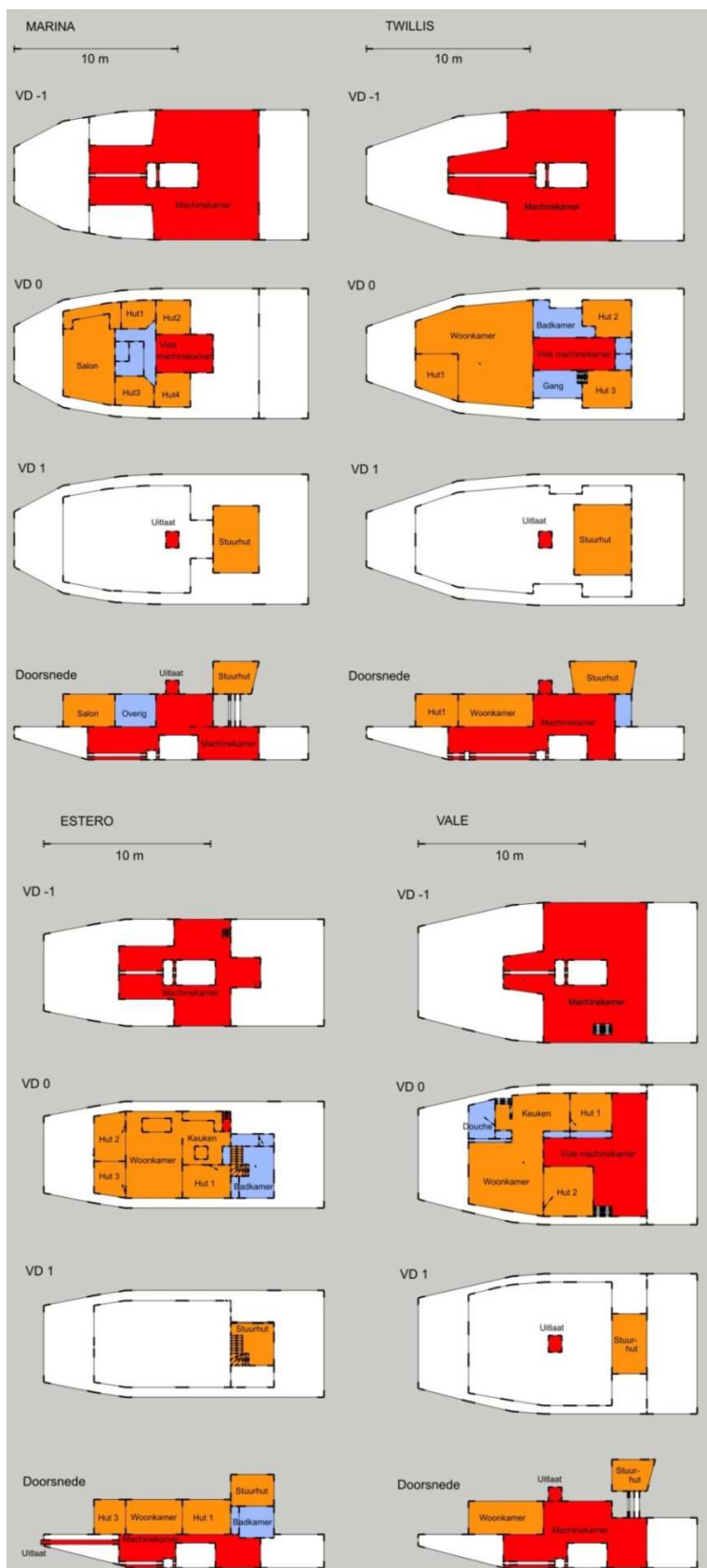
Figuur 3 – MS Twillis.



Figuur 4 – MS Estero.



Figuur 5 – MS Valé.



Figuur 6 - Overzicht indeling en bemating accommodatie schepen. De tekening is op schaal. De spantafstand bedraagt op alle schepen ca. 500 mm. Oranje geeft accommodatie weer, blauw natte cellen en rood machinekamer.

### 6.3 Metingen

De metingen zijn uitgevoerd op verschillende dagen in het najaar van 2013 op verschillende waterwegen in Nederland, gelegen op de vaarroute van de betreffende schepen. Iedere meetsessie omvatte geluid- en trillingsmetingen onder twee omstandigheden:

- Tijdens de vaart  
Geluid in de accommodatie bij verschillende toerentallen en vermogensinstellingen van de hoofdmotor. Tegelijkertijd zijn trillingsmetingen uitgevoerd op de motorvoeren van de belangrijkste werktuigen, en diverse constructiedelen.
- Stilliggend aan de wal.  
Bij stilliggende metingen zijn metingen gedaan waarbij met behulp van een luidspreker in de machinekamer kunstmatig geluid is gemaakt, en zijn diverse metingen uitgevoerd met een onbelaste hoofdmotor.

Het meetplan voor deze metingen op MTS Marina is opgenomen in Bijlage C en voor MS Twillis in Bijlage E. Op de beide andere schepen is op analoge wijze gemeten.

### 6.4 Resultaten

#### 6.4.1 *Geluidmetingen in diverse ruimten*

De resultaten van de geluidmetingen in de diverse ruimten in dB(A) worden gepresenteerd in de hierna volgende paragrafen. Resultaten van gedetailleerde analyses (geluidspectra, bronsterkte van werktuigen en effecten van toegepaste geluidreducerende maatregelen) worden besproken in Bijlage K.

##### 6.4.1.1 *Motortankschip "Marina"*

Op 29 en 30 oktober 2013 zijn geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd op het MTS Marina. Het schip was onbeladen met gevulde ballastanks. Een beschrijving van de karakteristieke eigenschappen van de Marina wordt gegeven in Bijlage D.

De samenvatting van de meetresultaten wordt gegeven in Tabel 8. Bijbehorende geluidspectra zijn getoond in Figuur 11 (Bijlage K).

Uit deze resultaten blijkt dat de geluidniveaus in de salon en in de hutten bij de voorgeschreven testconditie van 95 % MCR aanzienlijk hoger zijn dan het toegestane niveau volgens het ROSR.



Tabel 8 – Overzicht meetresultaten geluidniveaus per meetruimte op het MTS Marina.

MTS Marina	Meetcondities					Eis
	% MCR* (afgelezen)	45%	65%	85%	95%	ROSR
	Motortoerental	1300	1400	1500	1600	
Meetruimte	Geluidniveaus in dB(A)					dB(A)
Motorkamer		104	105	106	107	110
Salon		70	73	73	78	70
Hut1		65	69	70	71	60
Hut2		67	70	73	74	60
Hut3		66	68	69	71	60
Hut4		68	70	70	74	60
Stuurhuis		57	64	61	64	70

\* MCR = Maximum Continuous Rating = Maximaal continu beschikbaar motorvermogen

#### 6.4.1.2 Motorschip "Twillis"

Op 20 november 2013 zijn geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd op het MS Twillis. Een beschrijving van de karakteristieke eigenschappen van de Twillis is te vinden in Bijlage F.

De samenvatting van de meetresultaten wordt gegeven in Tabel 9, bijbehorende spectra zijn te vinden in Figuur 12 (Bijlage K).

De relatie tussen het motortoerental en het MCR-percentages kon niet op de scheepsinstrumenten worden afgelezen en is achteraf door berekening bepaald met behulp van de 'Propeller Demand Curve'. Uit de resultaten blijkt dat de geluidniveaus in de salon en in de hutten bij 1500, 1520 en 1580 rpm (qua vermogen overeenkomend met 86, 89 en 100 % MCR) aanzienlijk hoger zijn dan het toegestane niveau volgens het ROSR. Vooral in hut 1, die op het achterschip boven de schroef is gelegen, is de overschrijding met 21 dB erg groot.

Tabel 9 – Overzicht meetresultaten geluidniveaus per meetruimte op het MS Twillis.

MS Twillis	Meetcondities							Eis
	% MCR* (berekend)	44%	56%	70%	86%	89%	100%	ROSR
	Motortoerental	1200	1300	1400	1500	1520	1580	
Meetruimte	Geluidniveaus in dB(A)							dB(A)
Motorkamer		108	107	107	108	108	109	110
Salon		72	73	75	78	76	78	70
Hut1		75	77	78	81	81	81	60
Hut2		70	70	71	73	75	76	60
Hut3		69	70	72	73	75	77	60
Stuurhuis		61	62	63	64	69	69	70

\* MCR = Maximum Continuous Rating = Maximaal continu beschikbaar motorvermogen

### 6.4.1.3 *Motorschip Estero*

Op 4 en 5 december 2013 zijn geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd op het MS Estero. Het schip was volledig beladen. Overzichtstekeningen en maatschetsen van dit schip zijn opgenomen in Bijlage G. Een beschrijving van de karakteristieke eigenschappen van de Estero is te vinden in Bijlage H.

De samenvatting van de meetresultaten wordt gegeven in Tabel 10, met de bijbehorende spectra in Figuur 13 (Bijlage K).

De relatie tussen het motortoerental en het MCR-percentages kon niet op de scheepsinstrumenten worden afgelezen en is achteraf door berekening bepaald met behulp van de 'Propeller Demand Curve'.

Uit de resultaten blijkt dat de geluidniveaus vooral in de hutten 2 en 3 bij 1700 en 1800 rpm (overeenkomend met 84 en 100 % MCR) aanzienlijk hoger zijn dan het toegestane niveau volgens het ROSR. In deze hutten, die op het achterschip boven de schroef zijn gelegen, is de overschrijding met 17 en 19 dB erg groot.

De meetwaarden van dit schip zijn ook geëvalueerd volgens de methode zoals voorgesteld in paragraaf 4.4.2. De resultaten worden aangeduid als  $L_{waSN}$  en zijn ook weergegeven in Tabel 10. Ze komen ca. 5 dB(A) lager uit dan de meetwaarden bij 95 % MCR.

Tabel 10 - Overzicht meetresultaten geluidniveaus per meetruimte op het MS Estero.

MS Estero	Meetcondities											Eis	
	% MCR* (berekend)	4%	17%	23%	30%	38%	47%	58%	70%	84%	100%	ROSR	
	Motor- toerental	600	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800		$L_{waSN}$
Meetruimte	Geluidniveaus in dB(A)											dB(A)	dB(A)
Motorkamer		92	97	99	100	101	101	103	106	105	106	110	101
Salon		61	65	67	69	70	71	72	73	75	75	70	70
Hut1		55	59	62	63	66	67	68	68	69	70	60	65
Hut2		57	68	71	72	73	75	76	78	79	80	60	74
Hut3		57	66	68	70	72	72	74	75	77	77	60	72
Stuurhuis		57	57	58	59	61	63	63	64	65	66	70	61

\* MCR = Maximum Continuous Rating = Maximaal continu beschikbaar motorvermogen

### 6.4.1.4 *Motorschip Valé*

Op 11 december 2013 zijn geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd op het MS Valé. Het schip was volledig beladen. Overzichtstekeningen en maatschetsen van dit schip zijn opgenomen in Bijlage I. Een beschrijving van de karakteristieke eigenschappen van de Valé is te vinden in Bijlage J.

De samenvatting van de meetresultaten wordt gegeven in Tabel 11. Geluidspectra zijn getoond in Figuur 14 (Bijlage K).

De relatie tussen het motortoerental en het MCR-percentages kon niet op de scheepsinstrumenten worden afgelezen en is achteraf door berekening bepaald met behulp van de 'Propeller Demand Curve'.

Uit de resultaten blijkt dat de geluidniveaus vooral in de hutten 1 en 2 bij 1750 rpm (overeenkomend met 92 % MCR) hoger zijn dan het toegestane niveau volgens het ROSR. In deze hutten is de overschrijding met 8 en 10 dB, dank zij de zwevende dekopbouw en de gunstiger lay-out minder groot dan bij sommige van de andere schepen.

De meetwaarden van dit schip zijn ook geëvalueerd volgens de methode zoals voorgesteld in paragraaf 4.4.2. De resultaten worden aangeduid als  $L_{waSN}$  en zijn ook weergegeven in Tabel 11. Ze komen gemiddeld 3,2 dB(A) lager uit dan de meetwaarden bij 95 % MCR.

Tabel 11 - Overzicht meetresultaten geluidniveaus per meetruimte op het MS Valé.

MS Valé	Meetcondities												Eis	
	% MCR* (berekend)	4%	17%	23%	30%	38%	47%	58%	70%	84%	92%	100%	ROSR	
	Motor- toerental	Stat	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1750	1800		$L_{waSN}$
Meetruimte	Geluidniveaus in dB(A)												dB(A)	dB(A)
Motorkamer		97	104	104	103	104	105	106	107	109	109	111	110	105
Salon		56	60	62	62	66	65	70	68	68	67	68	70	65
Hut1		57	62	59	64	65	69	67	70	70	68	68	60	65
Hut2		58	63	63	66	67	67	70	72	73	70	72	60	68
Stuurhuis		56	60	60	61	61	62	64	65	65	66	66	70	62

\* MCR = Maximum Continuous Rating = Maximaal continu beschikbaar motorvermogen

## 6.5 Conclusies meetcampagnes

In alle beschouwde binnenvaartschepen zijn de gemeten geluidrukniveaus in de salon en in de hutten bij de voorgeschreven testconditie van 95 % MCR hoger dan het toegestane niveau volgens het ROSR. Dankzij getroffen akoestische maatregelen aan boord van een aantal schepen en een gunstiger lay-out van de accommodatie, is de overschrijding minder hoog dan aan boord van schepen waar geen akoestische maatregelen zijn getroffen.

Ondanks de getroffen akoestische voorzieningen wordt in de hutten en in twee van de drie salons toch niet aan de geluideisen voldaan. Het blijkt dat aan boord van de betreffende schepen niet alle maatregelen optimaal zijn uitgevoerd.

1. Het akoestische effect van de beschouwde zwevende vloeren voldoet niet aan de verwachtingen, vermoedelijk ten gevolge van akoestische kortsluitingen en een te hoge stijfheid van de verende onderlaag van de vloer in de relatie tot de geluideis. Bij de uitvoering van een zwevende vloer zijn details, zoals randafwerking, erg belangrijk voor de werking. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat een zwevende vloer met een lage stijfheid een hogere inbouwhoogte vereist waardoor wellicht niet meer kan worden voldaan aan de geldende eisen betreffende minimale stahoogte in de verblijven.

2. Indien een CV-systeem aanwezig is, dienen flexibele slangstukken aangebracht te worden in de toe- en afvoerleidingen, en dient de radiator van de machinekamer niet op de scheepsfundatie bevestigd te worden.
3. De verende opstellingen van de hoofdmotoren van de beschouwde schepen vertonen een goede isolatie over een breed frequentiegebied. Het blijkt dus goed mogelijk te zijn om zonder aanpassingen van de scheepsfundatie een goede verende opstelling te bewerkstelligen. Als motoren star zijn opgesteld, domineren ze het geluid in de hutten vlak boven de motor volledig. Dit geeft aan dat het verend opstellen van de motor in deze situatie een goede akoestische maatregel is.
4. Uitlaatleidingen dienen akoestisch goed verend ophangen te worden. Hierbij is het van belang dat de fundaties zwaar en stijf genoeg uitgevoerd worden en de veren niet te stijf gekozen worden ten opzichte van de belangrijkste aanstootfrequenties in het uitlaatsysteem (cilinderontsteekfrequenties van de motor).
5. De akoestische werking van het beschouwde verend opgestelde dekhuis voldoet voor lage frequenties (<500 Hz) niet aan verwachtingen. Voor hoge frequenties wordt wel een goede isolatie gevonden. Aandachtspunten zijn: zware en stijve fundaties, het lokaal verstijven van de dekhuisconstructie boven de veren, het voorkomen van starre leidingverbindingen die flankerende paden kunnen vormen en het minimaliseren van het aantal toegepaste veren.
6. De bronsterkte in termen van trillingen van een aantal keerkoppelingen is relatief hoog. Er zijn stillere tandwielkasten op de markt met akoestisch geoptimaliseerde vertanding, met een hoge kwaliteit en lage toleranties.
7. Het wordt aanbevolen om altijd een akoestisch adviseur te laten meekijken in zowel ontwerp- als uitvoerende fase van geluidreducerende maatregelen.

De luchtgeluidoverdracht van de hoofdmotoren en keerkoppelingen vanuit de motorkamer naar de accommodatie is meestal voldoende beperkt, dus het aanbrengen van absorptiemateriaal in de motorkamer of een omkasting om de motor zal niet resulteren in een verlaging van de geluidniveaus in de accommodatie. Voor een aantal ruimten heeft luchtgeluidoverdracht vanaf 1kHz wel een effect. Bij toepassing van zwevende vloeren ligt het in de verwachting dat de luchtgeluid-isolatie in deze gevallen voldoende zal toenemen.

Voor de machinekamer zelf blijkt het ook niet noodzakelijk te zijn om aanvullende maatregelen te treffen. De geluiddrukkniveaus in alle gemeten machinekamers liggen onder de norm.

Het geluid in de hutten achter in de accommodatie wordt voor een groot gedeelte bepaald door de schroeven, keerkoppelingen en soms door constructiegeluid van de uitlaat.

De geluiddrukkniveaus in het stuurhuis van alle gemeten schepen voldoen aan de norm.

## 7 Akoestische berekeningen aan effecten van mogelijke geluidreducerende maatregelen

### 7.1 Aanpak modelberekeningen

Sinds 1970 heeft TNO een rekenmodel ontwikkeld en toegepast voor het voorspellen van geluidniveaus aan boord van schepen, CABIN. Het is een empirisch model gebaseerd op een grote hoeveelheid meetgegevens aan boord van schepen, waaronder ook binnenvaartschepen. Juist omdat het onderhavige onderzoek de oudere generatie binnenvaartschepen betreft, de generatie waarop het CABIN model is gebaseerd, is dit model goed te gebruiken in het huidige onderzoek. Voor nadere informatie over dit model wordt verwezen naar bijlage L.

De vier schepen zijn gemodelleerd in het rekenprogramma CABIN, waarbij de brongegevens waar mogelijk zijn gebaseerd op de actuele meetgegevens, zoals aangegeven in bijlage K.

### 7.2 Berekende effecten van geluidreducerende maatregelen

In Tabel 12 zijn de mogelijke maatregelen in algemene zin samengevat met de bereikbare geluidreductie. Hiertoe is voor de schepen met geluidreducerende maatregelen ook de referentietoestand zonder maatregelen doorgerekend, door de betreffende maatregelen uit het model te verwijderen. Volgens het model van de vier onderzochte schepen bedraagt zonder maatregelen het geluidniveau in de accommodaties gemiddeld  $82 \pm 5$  dB(A) bij 95% MCR. Gemiddeld is dus een reductie nodig van 12 dB voor een salon en 22 dB voor hutten om in het algemeen aan de eisen te kunnen voldoen bij schepen waar nog geen maatregelen genomen zijn. Gezien de spreiding in deze zeer beperkte steekproef van binnenvaartschepen, zou veiligheidshalve van 5 dB meer reductie moeten worden uitgegaan, hetgeen gezien de resultaten niet zonder meer haalbaar is.

Tabel 12 – Geschatte geluidreductie in dB(A) voor diverse maatregelen aan bronnen en/of accommodatie. HM=hoofdmotor, KK = keerkoppeling, slap en stijf verend volgens CABIN; KK-5dB en KK-10dB resp. 5 en 10 dB stillere keerkoppeling; standaardafwijking ca. 1 dB. Effect accommodatie-maatregelen onafhankelijk van bronmaatregelen (resp. 9 en 15 dB).

		Maatregel in accommodatie		
		starre accommodatie	accommodatie met standaard zwevende vloeren*	accommodatie met zwevende vloer extra*
Maatregel aan bron	HM + KK star	-	9	15
	HM stijf verend	3	12	18
	KK stijf verend	1	10	16
	HM+KK stijf verend	5	14	20
	HM stijf verend, KK-5dB	5	14	20
	HM slap verend, KK-5dB	6	15	21
	HM slap verend, KK stijf verend	7	16	22
	HM slap verend, KK-10dB	8	17	23

\* zie paragraaf L.3.1.2 in bijlage L voor verdere details.

### 7.3 Conclusies berekeningen

Het lijkt technisch haalbaar om aan de gestelde geluideisen te kunnen voldoen. Hiervoor is echter wel een uitgebreid evenwichtig pakket goed uitgevoerde ingrijpende geluidreducerende maatregelen nodig om de aanzienlijke geluidreducties te halen.

Ook blijkt het zinvol om bij selectie van hoofdmotor en keerkoppeling de voorkeur te geven aan 'stille' werktuigen en een akoestisch adviseur bronniveaus te laten beoordelen. Ook zouden bij bestelling van de werktuigen in overleg met de akoestisch adviseur geluideisen geformuleerd kunnen worden in de vorm van versnellingsniveaus van de machinevoeten.

Voor de accommodaties lijken de eisen gerealiseerd te kunnen worden als motor en keerkoppeling slap verend worden opgesteld en de hutten tenminste van een verend vloer worden voorzien met een voldoende lage eigenfrequentie. De betimmering wordt dan op de vloer bevestigd, vrij staand van de staalconstructie, een zogenaamde *doos-in-doos constructie* zie ook paragraaf L.3.1.2 in bijlage L voor verdere details. Om dit te kunnen bewerkstelligen is wel een bepaalde inbouwhoogte vereist, hetgeen in conflict zou kunnen komen met

geldende regels betreffende minimale stahoogte en/of de leefruimte in de verblijven (zie [30]; Art. 12.02 – lid 6 t/m 9). Indien de huidige stahoogte in de verblijven van een schip op dit moment juist voldoet aan de eisen hieromtrent, is toepassing van zwevende vloeren niet mogelijk.

Het percentage van de binnenvaartvloot waarvoor het voldoen aan de geluideisen een strijdigheid met de overige bouwkundige eisen aan de verblijven oplevert is in dit project niet verder onderzocht. Dit onderwerp kan in een vervolgonderzoek desgewenst meer aandacht krijgen.

Het voordeel van een goede zwevende vloer is dat het geluid ten gevolge van alle bronnen, ook schroefgeluid, wordt gereduceerd.

Deze maatregelen in de accommodatie lijken vervangen te kunnen worden door het als geheel verend opstellen van het dekhuis. Verend opstellen van de werktuigen is dan nog wel steeds noodzakelijk.

Luchtgeluid vanuit de machinekamer draagt nauwelijks bij tot het geluidniveau, zeker niet als er aanvullende akoestische maatregelen in de accommodatie zijn genomen.

Door toepassing van een verende opstelling van hoofdmotor en/of keerkoppeling als geluidreducerende maatregelen voor de woon- en slaapruidten kan eventueel in de machineruimte een (beperkte) toename van de geluidniveaus optreden.

Uit de metingen op de vier schepen is dit echter niet naar voren gekomen.

Op de schepen met een verende opstelling van de hoofdmotor (Marina en Estero) zijn juist de laagste geluidniveaus in de machinekamer geconstateerd.

## 8 Evaluatie van de impact van de gestelde geluideisen

### 8.1 Gemeten geluidniveaus per type ruimte

De gemeten geluidniveaus in de verschillende typen ruimten bij de testconditie van 95 % MCR vertonen de variatie, zoals getoond in Tabel 13:

Tabel 13 – Variatie van meetwaarden per type ruimte en over- en overschrijdingen van de geluideisen volgens ROSR.

Type ruimte	Eis cf. ROSR	Meetwaarden	Over- / onderschrijding
	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
<b>Salon (woonruimte)</b>	70	67 / 78	- 3 / +8
<b>Hut (slaapruijnte)</b>	60	68 / 81	+8 / +21
<b>Motorkamer</b>	110	105,5 / 109	- 4,5 / -1
<b>Stuurhuis</b>	70	64 / 69	- 6 / -1

Hieruit blijkt dat op deze vier gemeten schepen de geluidniveaus in het stuurhuis en in de motorkamer voldoende laag zijn om geen overschrijding van de ROSR eisen op te leveren. Bij de geluidniveaus in de salons treden overschrijdingen op tot 8 dB(A) en in de hutten tot 21 dB(A). De geluidniveaus in de hutten en in de salons ontlopen elkaar niet veel, maar aangezien de eisen voor de hutten (slaapruijnten) strenger zijn dan voor de salons (woonruimten) zijn de overschrijding veel ernstiger.

De gevonden variatie in meetwaarden valt volledig binnen het spreidingsinterval van meetwaarden in hutten die aan oudere onderzoeksrapporten zijn ontleend (zie Bijlagen A en B). Bij deze oudere gegevens lijkt er een zwakke correlatie te zijn tussen de meetwaarden en de CEMT klasse van het schip, in die zin dat de geluidniveaus wat lager zijn voor schepen van hogere CEMT klassen.

Bij de gemeten vier schepen is die tendens niet waarneembaar. De hoogste niveaus doen zich voor op het grootste schip, de Twillis met CEMT klasse IV en AVV klasse M7, en verschillen weinig van de meetwaarden op het kleinste schip, de Estero (CEMT II – AVV M2).

Veel relevanter dan de CEMT klasse voor de optredende geluidniveaus zijn de bronsterkten van de op de schepen geplaatste werktuigen (hoofdmotor en keerkoppeling), de mate waarin reeds geluidreducerende maatregelen zijn getroffen en de akoestische kwaliteit van de uitvoering van die maatregelen.

### 8.2 Aantallen schepen per klasse

Door het IVR (Internationale Vereniging het Rijschepenregister) is een gegevensbestand toegeleverd waarin alle in Nederland geregistreerde binnenvaartschepen van onderstaande categorieën met een bouwjaar van 1976 of ouder zijn opgenomen:

- Motorvrachtschepen;
- Motorbeunschepen;



- Motortankschepen;
- Containerschepen;
- Ro-ro motorvrachtschepen;
- Motorcementtankschepen.

Het totale aantal schepen van deze ouderdom bedraagt 2831. Op grond van de lengte- en breedtegegevens van deze schepen is een indeling in CEMT<sup>3</sup> en AVV<sup>4</sup> klassen bepaald zoals aangegeven in Tabel 14.

Tabel 14 – CEMT- en AVV-klasse-indeling van Nederlandse binnenvaartschepen met een bouwjaar van 1976 of ouder (gebaseerd op een IVR gegevensbestand).

CEMT klasse	0	I	II	III			IV		Va		Totaal
AVV klasse	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
Naam-aanduiding scheepstype	Overig	Spits	Kempenaar	Hagenaar	Dortmund-Eems kanaalschip	Verlengd Dortmund-Eems kanaalschip	Rijn-Herne schip	Verlengd Rijn-Herne schip	Groot Rijnschip	Ontbrekende gegevens	
Classificatie											
Breedte (m)	<= 5,00	>= 5,01	>= 5,11	>= 6,71	>= 7,31		>= 8,31		>= 9,61		
		<= 5,10	<= 6,70	<= 7,30	<= 8,30		<= 9,60				
	of	En	en	en	en		en		en		
Lengte (m)	<= 38,00	>= 38,01	>= 38,01	>= 38,01	>= 38,01		>= 38,01		>= 38,01		
					<= 74,00	>= 74,01	<= 86,00	>= 86,01			
Laadvermogen (ton)	<= 250	251 – 400	401 – 650	651 – 800	801 – 1050	1051 – 1250	1251 – 1750	1751 – 2050	>= 2051		
Aantal	341	155	622	372	381	280	376	93	135	76	2831
Per CEMT klasse	341	155	622	1033			469		135		

Op grond van de overgangsbepalingen in het ROSR zullen de geluideisen vanaf 1 januari 2020 gaan gelden voor alle in Tabel 14 genoemde schepen met een lengte van ten minste 20 m. In de CEMT klasse 0 zijn er 46 schepen met een lengte kleiner dan 20 m. Afgezien van de 76 schepen waarvan geen of onvoldoende gegevens bekend zijn, betekent dit dat de geluideisen van het ROSR per 1 januari 2020 van kracht zullen worden voor ten minste 2709 Nederlandse binnenvaartschepen.

*Duw- en sleepboten zijn bij de uitgevoerde inventarisatie buiten beschouwing gebleven. Aangezien de geluideisen volgens het ROSR ook zullen gelden voor deze categorieën schepen, is het totale aantal in het geding zijnde schepen nog wat groter dan hierboven is vermeld.*

<sup>3</sup> CEMT = Conférence Européenne des Ministres de Transport

<sup>4</sup> AVV = Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat, later genaamd Dienst Verkeer en Scheepvaart, sinds 2 april 2013 opgegaan in de dienst RWS Water, Verkeer en Leefomgeving

### 8.3 Schatting van het percentage van de schepen dat niet aan de eisen voldoet

Van de vier gemeten schepen is er geen enkele waarvoor de gemeten geluidniveaus in de hutten voldoen aan de ROSR eis van 60 dB(A).

In het bestand van meetwaarden ontleend aan oudere rapporten (zie Bijlage A) doen zich de percentages overschrijdingen voor met betrekking tot de diverse ROSR eisen zoals aangegeven in Tabel 15.

Wanneer alle gegevens samen worden genomen blijken er maar 2 van de 92 schepen (is 2 %) te zijn die voldeden aan alle eisen ten tijde van de metingen. Waarschijnlijk zijn sindsdien op sommige schepen geluidreducerende maatregelen getroffen. Het huidige percentage schepen dat aan alle eisen voldoet ligt dus waarschijnlijk iets hoger, naar schatting op 5 %.

Tabel 15 – Statistiek van overschrijdingen van de ROSR eisen in het bestand meetwaarden uit oudere rapporten (Bijlage A).

Type ruimte	Aantal meetwaarden	Aantal / percentage overschrijdingen							
		0-5 dB(A)		6-10 dB(A)		11-15 dB(A)		>15 dB(A)	
	N	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>Stuurhuis</b>	84	10	12	3	4	-	-	-	-
<b>Motorkamer</b>	70	2	3	-	-	-	-	-	-
<b>Salon</b>	83	29	35	16	19	4	5	-	-
<b>Hut 1</b>	82	9	11	21	26	26	32	16	20
<b>Hut 2</b>	70	8	11	18	26	23	33	14	20
<b>Hut 3</b>	51	7	14	14	27	11	22	6	12
<b>Hut 4</b>	16	3	19	4	25	3	19	1	6

Eén en ander houdt in dat van de 2709 schepen met een bouwjaar van 1976 of ouder er waarschijnlijk 2574 schepen zijn die voor één of meer ruimten niet voldoen aan de ROSR eisen. Deze schepen zullen in meer of mindere mate moeten worden aangepast om wel aan de eisen te kunnen voldoen

De grootste overschrijdingen doen zich voor in de hutten. Als de overschrijdingen in de hutten 1 en 2 als indicator worden genomen voor de geluidreducties die met behulp van geluidreducerende maatregelen moeten worden gerealiseerd, volgt hieruit de volgende schatting voor de aantallen te behandelen schepen per geluidreductie categorie:

- Reductie categorie 0 – 5 dB(A) 22\*) % = 566 schepen;
  - Reductie categorie 6 – 10 dB(A) 26 % = 669 schepen;
  - Reductie categorie 11 – 15 dB(A) 32 % = 824 schepen;
  - Reductie categorie > 15 dB(A) 20 % = 515 schepen;
- Totaal 100 % = 2574 schepen.

\*) In dit percentage zijn ook de schepen meegeteld waarvoor in de hutten 1 en 2 geen overschrijding van de eis optreedt en dus geen maatregelen nodig zijn.

## 9 Kostenconsequenties van de maatregelen

### 9.1 Retrofitkosten per type maatregel

Het geluidniveau in de verblijfsruimten is de som van vele bijdragen. Uit de analyse en observaties aan boord van de Estero, Twillis, Valé en Marina blijkt dat zowel de schroef, de keerkoppeling, de hoofdmotor en de uitlaat belangrijke geluidbronnen zijn.

Maatregelen die de bijdrage van deze bronnen aan het geluid in de verblijfsruimten reduceren kunnen grofweg op drie manieren gerealiseerd worden. Ten eerste kunnen werktuigen of schroeven door stillere varianten vervangen worden. Ten tweede kan in de installatie van specifieke werktuigen worden ingegrepen. Tot slot kan in de betimmering van de verblijfsruimten geluidreductie worden gerealiseerd door de ruimte geluidtechnisch van de scheepsconstructie te ontkoppelen.

De kosten van de mogelijk te treffen maatregelen worden in dit hoofdstuk aan de hand van het type maatregel beschouwd. Een indicatieve weergave van de haalbare geluidreductie per maatregel en een expert-inschatting<sup>5</sup> van de kosten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

---

<sup>5</sup> Bron: Interview met de heren P. Vrolijk en R. Kooijman van scheepswerf Gebr. Kooiman B.V. te Zwijndrecht op 8 april 2014.

Tabel 16 – Realiseerbare geluidreductie in dB(A) voor diverse maatregelen aan bronnen en/of accommodatie. HM=hoofdmotor, KK = keerkoppeling, slap en stijf verend volgens CABIN; KK-5 en KK-10 resp. 5 en 10 dB stillere keerkoppeling; standaardafwijking ca. 1 dB. Effect accommodatie-maatregelen onafhankelijk van bronmaatregelen (resp. 9 en 15 dB).

		Kosten indicatie	Maatregel in accommodatie		
			Starre accommodatie	Accommodatie met zwevende vloeren	Accommodatie met zwevende vloeren extra
			0 k€	80 – 200 k€	120 – 200 k€
Maatregel aan bron	HM + KK star	0 k€	-	9 dB	15 dB
	HM stijf verend	40 k€	3 dB	12 dB	18 dB
	KK stijf verend	55 k€	1 dB	10 dB	16 dB
	HM+KK stijf verend	95 k€	5 dB	14 dB	20 dB
	HM stijf verend, KK-5	100 – 150 k€	5 dB	14 dB	20 dB
	HM slap verend, KK-5	100 – 150 k€	6 dB	15 dB	21 dB
	HM slap verend, KK stijf verend	95 k€	7 dB	16 dB	22 dB
	HM slap verend, KK-10	106 – 170 k€	8 dB	17 dB	23 dB
<b>Akoestisch advies</b>			5 – 6 k€		

*N.B. Voor een raming van de totale kosten van een combinatie van een maatregel aan de bron met een maatregel in de accommodatie moet het bedrag in de linker geel gemarkeerde kolom worden opgeteld bij het bedrag in de geel gemarkeerde rij bovenin de tabel.*

#### 9.1.1

##### *Gerichte selectie en correcte uitvoering van maatregelen*

Uit de analyse van de schepen in hoofdstuk 6 en 7 (zie ook Bijlagen Ken L) blijkt dat door sterke variatie tussen de dominante geluidbronnen en -overdrachtspaden maatwerk bij het selecteren van maatregelen noodzakelijk is. Tevens is toezicht op de uitvoering van de maatregelen zeer aan te bevelen. Op veel schepen zijn reeds een of meerdere akoestische maatregelen getroffen, maar het effect van deze maatregelen blijft veelal achter bij de potentiële en gewenste geluidreductie. De belangrijkste redenen hiervoor zijn enerzijds het uitvoeren van maatregelen die niet de dominante geluidbron of het dominante geluidpad aanpakken, en anderzijds een niet correcte uitvoering van de maatregel.

De detailanalyses in Bijlagen Ken L laten zien dat er diverse oorzaken voor het overschrijden van geluidniveaus gevonden zijn. Deze oorzaken zijn veelal specifiek voor een schip, en minder voor een klasse. Een specifiek scheepsakoestisch advies moet daarom waarborgen dat de juiste maatregelen geselecteerd worden.

Het succes van een gericht geselecteerde maatregel, of het ontbreken van effect zit doorgaans in kleine details in de uitvoering. Het verdient daarom aanbeveling een akoestisch adviseur tijdens de bouw toe te laten zien op de correcte uitvoering van de maatregel.

Een effectief akoestisch adviestraject zal uit vier stappen bestaan:

- Diagnostische geluid- en trillingsmetingen;
- Analyse van de belangrijkste geluidbronnen en –overdrachtspaden;
- Selectie van de meest effectieve geluidreductiemaatregelen;
- Begeleiding en toezicht tijdens de uitvoering.

De tijdbesteding van een dergelijk adviestraject wordt geraamd op 5 à 6 mandagen en de kosten op € 5.000 à € 6.000, uitgaande van uurtarieven die bij gespecialiseerde scheeps-akoestische adviesbureaus gebruikelijk zijn.

### 9.1.2 *Maatregelen voor geluidreductie in de accommodatie*

#### 9.1.2.1 *Herindeling van de verblijfsruimten*

De analyse van de metingen toont aan dat de hoogste geluidniveaus optreden in de verblijfsruimten boven de schroef. Het ligt daarom voor de hand om de salon als ruimte met de minst strikte geluideis boven de schroef te plaatsen. De slaapruidten met striktere geluideisen kunnen dan verder naar de relatief stillere voorkant van de woning geplaatst worden.

Wanneer een schip nog niet op de hierboven beschreven manier is ingedeeld kan door te kiezen voor een akoestisch optimale indeling met een relatief kleiner pakket geluidmaatregelen aan de geluidlimieten voor de verschillende ruimten voldaan worden. Veelal zijn er echter door de vorm van het achterschip praktische beperkingen voor het verplaatsen van de salon. Vanwege de beperkte toepasbaarheid wordt deze maatregel niet als een algemene maatregel voor geluidreductie beschouwd.

#### 9.1.2.2 *Zwevende vloeren*

Het toepassen van een zwevende vloer ontkoppelt de vloer van de verblijfsruimte geluidtechnisch van de scheepsconstructie, waardoor trillingen van alle geluidbronnen aan boord sterk verminderd via de vloer in de ruimten als geluid afstralen. De betimmering wordt op de vloer bevestigd, vrijstaand van de staalconstructie.

Het geluidreducerend effect van een akoestisch optimaal uitgevoerde zwevende vloer bedraagt ongeveer 9 dB(A).

Een zwevende vloer is een kosteneffectieve geluidmaatregel die in een retro-fit effectief de geluidbijdragen van alle bronnen aan boord reduceert. De bovenzijde van een zwevende vloer ligt een aantal centimeters ( 7 – 9 cm) hoger dan de originele vloer. Een praktische beperking van het toepassen van een zwevende

vloer is daarom mogelijk een beperking van de stahoogte. Ook zal door het toepassen van een vrijstaande betimmering het vloeroppervlak en het volume van de ruimten kleiner worden. Beide consequenties van het toepassen van een zwevende vloer kunnen strijdig zijn met de eisen van stahoogte en leefruimte in de woon- en slaapr ruimten.

Het geluidreducerende effect van een zwevende vloer wordt in de praktijk veelal deels tenietgedaan door akoestische kortsluitingen tussen de scheepsconstructie en vloer, bijvoorbeeld in het leidingwerk. Een aanbeveling bij de uitvoering van deze maatregel is het betrekken van een akoestisch adviseur voor de beoordeling van het ontwerp en de uitvoering.

De kosten van een zwevende vloer worden inclusief installatie geraamd op 2000 – 5000 Euro per m<sup>2</sup> vloeroppervlak.

De installatie van een zwevende vloer vergt enkele weken, gedurende deze periode wordt exploitatieresultaat misgelopen.

*Op sommige schepen bestaat er een open verbinding tussen het stuurhuis en de woonruimte. In dat geval moet er een maatwerkoplossing worden gecreëerd voor de doorgang tussen de beide ruimten, waarbij onbedoelde geluidoverdracht dient te worden vermeden.*

#### 9.1.2.3 *Zwevende vloeren met aanvullende maatregelen*

Wanneer het geluidniveau in een ruimte door het toepassen van een zwevende vloer niet tot onder de limiet gereduceerd kan worden, kan voor een zwevende vloer met aanvullende maatregelen gekozen worden:

- *Zwevende vloer met een verticale eigenfrequentie van max **30 Hz**;*
- *Wanden:* sandwich panels geïnstalleerd op de zwevende vloer, vrij van de staal constructie; 150 mm spouw tussen betimmering en staal constructie met ca. 50 mm absorptiemateriaal in de spouw;
- *Plafond:* geluidabsorberend plafond; opgehangen tussen de wanden met flexibele bevestiging aan de staalconstructie.
- *Raam:* Voorzien van extra voorzetraam als onderdeel van de betimmering;

Het geluidreducerend effect van een akoestisch optimaal uitgevoerde zwevende vloer met aanvullende maatregelen bedraagt ongeveer 15 dB(A).

De kosten van een zwevende vloer met aanvullende maatregelen worden inclusief installatie geraamd op 3000-5000 euro per m<sup>2</sup> vloeroppervlak. *(Aangezien het maximum bedrag bepaald wordt door niet-akoestische factoren zijn de maxima voor de maatregelen volgens 9.1.2.2 en 9.1.2.3 gelijk geraamd.)*

De installatie van een zwevende vloer met aanvullende maatregelen vergt een vergelijkbare tijdsinspanning als voor de installatie van een zwevende vloer, gedurende deze periode wordt exploitatieresultaat misgelopen.

*Op sommige schepen bestaat er een open verbinding tussen het stuurhuis en de woonruimte. In dat geval moet er een maatwerkoplossing worden gecreëerd voor de doorgang tussen de beide ruimten, waarbij onbedoelde geluidoverdracht dient te worden vermeden.*

#### 9.1.2.4 *Ontkoppelde woning*

Het volledig akoestisch ontkoppelen van de woning en de scheepsconstructie is een effectieve maatregel voor geluidreductie in de verblijfsruimten. De in paragraaf 6.4 beschreven geluidmetingen op de Valé en Twillis laten zien dat in een vergelijkbare situatie het effect van het ontkoppelen van de woning op de geluidniveaus in de verblijfsruimten ongeveer 9 dB(A) bedraagt. Wanneer de ont koppeling akoestisch optimaal wordt uitgevoerd moet een effect van 15 dB(A) haalbaar zijn.

De kosten van het in retro-fit ontkoppelen van de gehele woning worden vanwege de grote bewerkelijkheid op minimaal 200 k€ geschat. Daarmee is het echter zowel in investering als in tijd een omvangrijke operatie. Het ontkoppelen van de woning wordt daarom niet als een economisch uitvoerbare maatregel beschouwd.

#### 9.1.3 *Bronmaatregelen*

##### 9.1.3.1 *Stillere schroef*

De caviterende schroef is een belangrijke geluidbron die in het hele schip bijdraagt aan de geluidniveaus in de verblijfsruimten. Met name in de achterste ruimten direct boven de schroef wordt het geluidniveau vaak gedomineerd door schroefcavitatie. Het installeren van een stillere schroef kan daarmee een effectieve geluidmaatregel zijn. De ontwerpruimte om de schroef in retrofit akoestisch te optimaliseren is echter beperkt. Enerzijds kan niet voor een grotere schroefdiameter gekozen worden door de beperking in diepgang. Ook de reeds bestaande vorm van het achterschip die de aanstroom van water naar de schroef bepaalt, is mede-bepalend voor het optreden van cavitatie en daarmee hoge geluidniveaus. Het aanpassen van de vorm van het schip in retrofit wordt economisch niet haalbaar geacht.

Het akoestisch optimaliseren van de schroef binnen de beperkingen is een kostbare ingreep omdat er per schip een specifiek schaalmodelonderzoek naar de combinatie van schip en geselecteerde schroef verricht moet worden. Het vervangen van de schroef wordt daarom niet als een economisch haalbare akoestische maatregel beschouwd. Daarom is het kosteneffectiever om geluidreducerende maatregelen in de overdracht van schroefgeluid te implementeren, zoals door middel van een goede zwevende vloer.

##### 9.1.3.2 *Stillere hoofdmotor*

De analyse van de meetdata uit hoofdstuk 6 laat zien dat de bijdrage van de hoofdmotor aan het geluid in de verblijfsruimten voornamelijk via een constructiegeluidpad wordt overgedragen. De isolatie van luchtgeluid tussen de machinekamer en de woning is veelal voldoende. Bij vervanging van de hoofdmotor verdient het de aanbeveling om een akoestische eis aan de versnellingsniveaus van de motor te stellen. Vanwege de hoge aanschafkosten van een nieuwe motor wordt niet aanbevolen de motor vanwege uitsluitend akoestische overwegingen te vervangen.

Een reductie van het bronniveau vertaalt zich één op één terug in een reductie van de geluidblootstelling in het geval dat de geluidbron bepalend is voor het geluidniveau in de verblijfsruimten. In veel gevallen zal het geluid in de woning echter in gelijke mate bepaald worden door de hoofdmotor en keerkoppeling samen. In dat geval moeten om een substantiële geluidreductie te realiseren beide

geluidbronnen worden aangepakt. In het geval dat slechts één van beide bijdragen wordt gereduceerd is de maximale bereikbare geluidreductie in de hutten slechts 3 dB(A).

#### 9.1.3.3 *Stillere keerkoppeling*

Uit de analyse in hoofdstuk 6 en 7 is gebleken dat voor enkele schepen de keerkoppeling een dominante bijdrage aan het geluid in de verblijfsruimten heeft. De analyse laat tevens zien dat de spreiding in de trillingniveaus van de keerkoppelingen zeer groot is. Het vervangen van de keerkoppeling door een stillere variant wordt daarom als een effectieve maatregel gezien.

Tabel 16 laat zien dat het effect van een 5 dB stillere keerkoppeling in combinatie met een stijf verend opgestelde hoofdmotor op een typisch schip tot een extra geluidreductie van 2 dB(A) (van 3 naar 5 dB in totaal) in de verblijfsruimten leidt. Wanneer de keerkoppeling 10 dB stiller geselecteerd kan worden wordt het geluidniveau alleen door de hoofdmotor bepaald. In het geval dat deze slap verend is opgesteld bedraagt de totale geluidreductie in de verblijfsruimten 8 dB(A).

De kosten van een keerkoppeling zijn afhankelijk van het vermogen in de aandrijftrein. De in de binnenvaart gebruikelijke aandrijfvermogens liggen tussen 400 en 1000 kW. Wanneer een recht evenredig verband tussen vermogen en kosten verondersteld wordt, worden de corresponderende aanschafkosten van een stille keerkoppeling geschat tussen 30 en 80 k€. De aanschafprijs van een zeer stil uitgevoerde keerkoppeling wordt 20 % hoger verondersteld, en daarmee afhankelijk van courante vermogens geschat tussen 36 en 100 k€.

De arbeidskosten voor installatie worden uitgaande van 3 weken werk voor 4 man personeel ongeacht het vermogen geschat op 30 k€.

Voor het uitvoeren van deze maatregel is het schip ongeacht het vermogen 3 weken uit de vaart, en wordt gedurende deze periode exploitatieresultaat misgelopen.

Een akoestisch gelijkwaardig alternatief voor het vervangen van de keerkoppeling door een stillere variant die star wordt opgesteld is het verend opstellen van de keerkoppeling. Deze variant vergt een kleinere investering, mits er ruimte is voor een stuwdruklager. Het vervangen van de keerkoppeling is daarom vanuit economische overweging in de meeste gevallen niet aan te raden.

Als het geluid in de woning in gelijke mate wordt bepaald door de hoofdmotor en keerkoppeling samen moeten om een substantiële geluidreductie te realiseren beide geluidbronnen worden aangepakt. In het geval dat slechts één van beide bijdragen wordt gereduceerd is de maximale bereikbare geluidreductie in de hutten slechts 3 dB(A).

#### 9.1.4 *Opstellingsmaatregelen*

##### 9.1.4.1 *Verende opstelling van de motor*

Het constructiegeluid van de hoofdmotor draagt in het hele schip in belangrijke mate bij aan de geluidniveaus in de verblijfsruimten. Wanneer de hoofdmotor nog niet verend is opgesteld, kan deze maatregel voor een substantiële geluidreductie zorgen. Indien het geluid in de cabines door de hoofdmotor gedomineerd wordt, bedraagt de geluidreductie 6 dB(A) voor een stijf verende opstelling en 8 dB(A) voor



een slap verende opstelling. Het verdient aanbeveling deze maatregel uit te voeren in combinatie met her-motorisering van het schip.

Wederom wordt opgemerkt dat de hoofdmotor en keerkoppeling veelal een gelijke bijdrage aan het geluid in de verblijfsruimten hebben. Een substantiële geluidreductie kan dan alleen bereikt worden door beide bronnen aan te pakken.

Wanneer de hoofdmotor flexibel wordt opgesteld is tevens een flexibele askoppeling tussen de hoofdmotor en de keerkoppeling nodig voor de uitlijning van de as en het voorkomen van een flankerend pad voor constructiegeluid. Verder dienen alle slangen en leidingen met balgen bevestigd te worden om flankerende paden te voorkomen.

Om een effectieve geluidreductie te realiseren met een verende opstelling is een motorfundatie die zeer veel stijver is dan de flexibele elementen vereist. Het verdient de aanbeveling om de stijfheid van de motorfundatie te onderzoeken en indien nodig aan te passen door extra verstijvers te lassen.

Bij het verend opstellen van de hoofdmotor, komt de motor over het algemeen iets hoger te liggen. Hiervoor is bij oude langzaamlopende dieselmotoren vanwege de omvang niet altijd ruimte. Wanneer de oude motor reeds vervangen is voor een kleinere snellopende diesel, is ruimte over het algemeen geen beperking.

De kosten van verende elementen en een flexibele askoppeling bedragen ongeveer 10 k€.

De arbeidskosten voor de uitvoering van deze maatregel worden uitgaande van 3 weken werk voor 4 man personeel geschat op 30 k€.

Eventueel moet de fundatie onder de hoofdmotor extra worden verstijfd. De hiermee gepaard gaande kosten zijn onbekend.

Voor het uitvoeren van deze maatregel is het schip 3 weken uit de vaart, en wordt gedurende deze periode exploitatieresultaat misgelopen.

Wanneer de hoofdmotor reeds verend is opgesteld, maar de geluidniveaus in de verblijfsruimten hoger dan gewenst zijn, verdient het de aanbeveling mogelijke flankerende geluidspaden te identificeren en indien nodig te herstellen.

#### 9.1.4.2 *Verende opstelling van de keerkoppeling*

De keerkoppeling kan veelal in samenspel met de hoofdmotor door het hele schip een substantiële bijdrage aan het geluid in de verblijfsruimten hebben. Een mogelijke geluidreducerende maatregel is het (stijf) verend opstellen van de keerkoppeling. Deze maatregel is alleen effectief wanneer ook de hoofdmotor verend is opgesteld. Tevens dient de funderende scheepsconstructie voldoende stijf te zijn om het volledige geluidreducerende effect van de maatregel te benutten. Indien na onderzoek blijkt dat de fundatie niet stijf genoeg is, dient deze door het inlassen van extra verstijvers aangepast worden. Zowel tussen de hoofdmotor en de keerkoppeling als tussen de keerkoppeling en het stuwdruklager dient een flexibele askoppeling gebruikt te worden voor de uitlijning van de aandrijf-as en het voorkomen van flankerende geluidoverdrachtspaden. Tevens is een stuwdruklager nodig om de stuwkracht van de propeller op te vangen die eerder door de star

opgestelde keerkoppeling werd opgevangen. Deze maatregel ontkoppelt de hele aandrijflijn geluidtechnisch van de scheepsconstructie. De geluidreductie in de verblijfsruimten bedraagt bij correcte uitvoering 7 dB(A).

De kosten van de verende elementen, flexibele askoppelingen en het stuwdrukklager worden samen op 25 k€ geschat.

De arbeidskosten voor de uitvoering van de maatregel worden uitgaande van 3 weken werk voor 4 man personeel op 30 k€ geschat

Eventueel moet de fundatie onder de keerkoppeling extra worden verstijfd.

De hiermee gepaard gaande kosten zijn onbekend.

Voor het uitvoeren van deze maatregel is het schip 3 weken uit de vaart, en wordt gedurende deze periode exploitatieresultaat misgelopen.

#### 9.1.4.3 *Inlaat- en uitlaat luchtgeluid en constructiegeluid*

Uit de analyse van de metingen in hoofdstuk 6 blijkt dat in sommige gevallen uitlaatgeluid een bijdrage heeft aan het geluidniveau in de verblijfsruimten.

Indien het uitlaatgeluid in de woning waarneembaar is, is de oorzaak veelal een akoestische 'kortsluiting' waardoor trillingen van uitlaatkanaal aan afstralende oppervlakten in de woning worden doorgegeven.

Een dergelijk constructiegeluidprobleem kan worden opgelost door de bevestiging van de in- en uitlaatkanalen nader te beschouwen, en zeker te stellen dat het kanaal nergens een starre verbinding met de scheepsconstructie heeft. Het verdient de aanbeveling om een dergelijke schouw door een scheeps-akoestisch adviesbureau uit te laten voeren.

De kosten en uitvoeringsduur van deze maatregel zijn sterk afhankelijk van de sterk variërende specifieke situaties aan boord van schepen. Het is daarom niet mogelijk in algemeenheid een schatting te maken.

## 9.2 **Kosten per schip per geluidreductiecategorie voor het meest effectieve maatregelpakket**

In Tabel 15 van paragraaf 8.3 is een schatting gemaakt van het aantal schepen dat de geluidlimiet in de diverse vertrekken overschrijdt. De overschrijdingen zijn per vertrek en naar overschrijding gecategoriseerd. Dit resulteerde in een schatting van het aantal schepen dat 0-5 dB, 5-10 dB, etc. dient te reduceren.

De maatregelkostenschattingen uit de voorgaande paragraaf worden in deze paragraaf met de benodigde geluidreducties gecombineerd tot maatregelpakketten per reductiecategorie en de corresponderende kosten.

### 9.2.1 *0-5 dB geluidreductie en 6 -10 dB geluidreductie benodigd*

Wanneer een geringe totale geluidreductie benodigd is wordt aanbevolen om de reductie met een maatregelpakket in de verblijfsruimten zelf te realiseren.

Omdat zowel de schroef als het machinegeluid een bijdrage kunnen hebben aan het geluid in de cabines, zou het eenzijdig uitvoeren van bron- of opstellingsmaatregelen voor de werktuigen tot een beperkte geluidreductie kunnen leiden. Een zwevende vloer geeft indien correct uitgevoerd tot 9 dB(A) geluidreductie voor zowel bijdragen van de schroef als de werktuigen.

De kosten voor deze categorie worden bepaald door de kosten voor een zwevende vloer alleen, en bedragen uitgaande van 40 m<sup>2</sup> vloeroppervlak 80-200 k€.

Wanneer meer inzicht in de scheepsspecifieke toedracht van de overschrijding van de geluidlimiet wordt verworven, kan mogelijk met een geringere investering aan de geluideis voldaan worden. Indien bijvoorbeeld de overschrijding door alleen de hoofdmotor veroorzaakt wordt, kan deze voor 40 k€ verend opgesteld worden.

#### 9.2.2 *11-15 dB geluidreductie benodigd*

Een geluidreductie van 15 dB(A) kan gerealiseerd worden met een correct uitgevoerde zwevende vloerconstructie met aanvullende maatregelen in de verblijfsruimten. Evenals in de voorgaande paragraaf is het voordeel van deze oplossing dat zowel geluidbijdragen van de werktuigen als van de schroef gereduceerd worden.

De kosten van het aanbrengen van een zwevende vloerconstructie met aanvullende maatregelen worden uitgaande van 40 m<sup>2</sup> vloeroppervlak geschat op 120-200 k€. *(Aangezien het maximum bedrag bepaald wordt door niet-akoestische factoren zijn de maxima voor zwevende vloeren met en zonder aanvullende maatregelen gelijk geraamd.)*

Wanneer meer inzicht in de scheepsspecifieke toedracht van de overschrijding van de geluidlimiet wordt verworven, kan mogelijk op alternatieve wijze aan de geluideis voldaan worden. Indien de overschrijding door alleen de bijdrage van de hoofdmotor en keerkoppeling veroorzaakt worden, kunnen deze flexibel worden opgesteld en een zwevende vloer in plaats van een zwevende vloer met aanvullende maatregelen worden toegepast. De hiermee gepaarde kosten worden geschat op 175-295 k€. Dit pakket is mogelijk aantrekkelijk als door toepassing van een zwevende vloer met aanvullende maatregelen onvoldoende stahoogte in de verblijfsruimten overblijft.

#### 9.2.3 *Meer dan 15 dB geluidreductie benodigd*

Wanneer meer dan 15 dB geluidreductie nodig is om aan de geluidlimiet voor een ruimte te kunnen voldoen, moet een combinatie van werktuigopstelling- en een doos-in-dooconstructie in de vertrekken uitgevoerd worden. Voor het bepalen van een effectieve maatregelcombinatie wordt aangeraden om meer inzicht in de scheepsspecifieke oorzaken van de limietoverschrijding te verwerven middels een akoestisch advies. Op basis van dit advies kunnen gerichte maatregelen aan de (opstelling van) de keerkoppeling, hoofdmotor of beide worden getroffen.

De te verwachten geluidreductie bij correcte uitvoering van de maatregelen en bijbehorende kosten zijn een deelverzameling van de data in Tabel 16 en worden in de onderstaande tabel gepresenteerd. De spreiding in de kostenschattning hangt enerzijds af van het vermogen van de voortstuwingsinstallatie (alleen bij vervanging van de keerkoppeling) en anderzijds van de onzekerheid in de kosten van een doos-in-dooconstructie.

Tabel 17 – Kostenschattingen voor verschillende maatregelcombinaties voor geluidreducties van meer dan 15 dB.

	<b>Geluidreductie</b>	<b>Kostenschatting</b>
Accommodatie met doos-in-doos + HM stijf verend	18 dB(A)	160-240 k€
Accommodatie met doos-in-doos + HM + KK stijf verend	20 dB(A)	215-295 k€
Accommodatie met doos-in-doos + HM slap verend + KK stijf verend	22 dB(A)	215-295 k€
Accommodatie met doos-in-doos + HM slapverend + KK-10 (zeer stil)	23 dB(A)	226-370 k€

### 9.3 Kosten voor de Nederlandse binnenvaartvloot

In paragraaf 8.3 is een schatting gegeven van het aantal schepen dat dateert uit 1976 of eerder en dat niet voldoet aan de eisen volgens het ROSR. Het totale aantal is onderverdeeld naar de mate van geluidreductie die nodig zal zijn om wel aan de eisen te voldoen. In Tabel 18 wordt een overzicht gegeven van de aantallen per geluidreductie categorie, de kosten per schip en de totale kosten voor de Nederlandse binnenvaartvloot.

Tabel 18 – Aantallen binnenvaartschepen ouder dan 1976 ingedeeld naar geluidreductie categorie; kosten van geluidreductiemaatregelen per schip en voor de totale vloot.

<b>Reductie categorie</b>	<b>Aantal schepen</b>	<b>Kosten per schip</b>	<b>Kosten vloot</b>
		x 1000 €	x 1 miljoen €
0 – 5 dB(A)	566	80 – 200	45 – 113
6 – 10 dB(A)	669	80 – 200	54 – 134
11 – 15 dB(A)	824	120 – 295	99 – 243
> 15 dB(A)	515	160 – 370	82 – 191
<b>Totaal</b>	<b>2574</b>		<b>280 – 681</b>

## 10 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies in dit hoofdstuk worden in de paragrafen 10.1 en 10.2 geformuleerd in de vorm van antwoorden op de onderzoeksvragen die in hoofdstuk 2 zijn gesteld. In de daaropvolgende paragrafen worden de overige bevindingen van het onderzoek samengevat en enige aanbevelingen geformuleerd.

### 10.1 Met betrekking tot het reglement (ROSR) van de Centrale Commissie Rijnvaart

Ad a) Zijn, met het oog op veiligheid, arbeidsomstandigheden en comfort, de normen uit het reglement ten aanzien van geluidproductie door binnenvaartschepen adequaat en noodzakelijk?

De eisen per type ruimte voor de binnenvaartschepen in het ROSR zijn waarschijnlijk gebaseerd op het IMO (International Maritime Organization) reglement voor geluidniveaus aan boord van zeeschepen.

De eisen voor de machinekamer en het stuurhuis zijn adequaat en noodzakelijk uit een oogpunt van gehoorbescherming en ten aanzien van de vereisten voor communicatie. Ten aanzien van vermoeidheid en concentratie bij de uitvoering van de besturingstaak is de informatie uit de literatuur niet eenduidig. Daardoor kan geen conclusie worden getrokken over de vraag of de geluidseisen voor het stuurhuis ten aanzien van vermoeidheid en concentratie adequaat is.

De eisen voor de woon- en slaapruiden zijn bij lange na niet toereikend indien de uitgangspunten van woon- en slaapcomfort worden gehanteerd die gebruikelijk zijn voor woon- en slaapverblijven in woningen. Echter, gezien de specifieke beperkende randvoorwaarden die gelden aan boord van binnenvaartschepen, en de verschillende niet-akoestische factoren die ervoor kunnen zorgen dat de geluidniveaus aan boord van schepen anders worden ervaren dan in een gewone woonomgeving, kan op dit moment vanuit onderzoekresultaten geen onderbouwing worden gegeven van grenswaarden voor geluid in woon- en slaapruiden aan boord van binnenvaartschepen. Derhalve wordt voorlopig geconcludeerd dat de huidige eisen als minimaal noodzakelijk en juist adequaat kunnen worden bestempeld.

Ad b) Welke argumentatie ligt ten grondslag aan de formulering van de eisen en de daarbij behorende meetmethode en de bedrijfscondities van de voortstuwingsmachine en de hulpaggregaten tijdens de meting? In hoeverre wordt deze argumentatie door feiten ondersteund?

De voorgeschreven bedrijfsconditie tijdens de geluidmeting gaat uit van een vermogensinstelling van de voortstuwingsmotor van 95 % MCR (Maximum Continuous Rating = maximaal continu beschikbaar motorvermogen).

Dit is een bedrijfsconditie die op vrijwel alle binnenvaartschepen slechts bij uitzondering wordt toegepast. Het beschrijft een 'worst case' situatie en wijkt daarmee sterk af van de meetvoorschriften volgens IMO, die gespecificeerd zijn voor de normale bedrijfsconditie van het schip.

Uit een statistische analyse van diverse beschikbare informatiebronnen blijkt dat alle vermogenscondities van 0 tot 100 % MCR voorkomen tijdens het normale bedrijf van binnenvaartschepen. Op basis van deze gegevens is een voorstel voor een gecombineerde geluidindicator ontwikkeld, aangeduid als het gewogen gemiddelde scheepsgeluidniveau  $L_{waSN}$  ('weighted average Ship Noise level').

Deze geluidindicator is gebaseerd op een gewogen energetisch gemiddelde van de meetwaarden bij vier meetcondities, te weten 5, 25, 55 en 85 % MCR. Als dit voorstel zou worden overgenomen zouden de meetresultaten 2,5 à 5 dB(A) lager worden dan de meetresultaten volgens het huidige meetvoorschrift.

Ad c) In hoeverre voldoet de bestaande binnenvaartvloot van voor 1976 aan de normen? Hoe groot is het gedeelte van de vloot dat niet aan de normen voldoet, uitgesplitst naar CEMT klassen?

Naar schatting voldoet slechts 5 % van de bestaande binnenvaartvloot van voor 1976 aan de geluidseisen volgens het ROSR, gemeten volgens het thans geldende meetvoorschrift.

Uit een door het IVR toegeleverd gegevensbestand is afgeleid dat de geluidseisen van het ROSR per 1 januari 2020 van kracht zullen worden voor ten minste 2709 Nederlandse binnenvaartschepen. 95 % daarvan, oftewel 2574 schepen zal niet volledig voldoen aan deze eisen.

Op grond van de informatie verkregen uit de verrichte metingen en uit analyse van oudere meetgegevens is geconcludeerd dat het al dan niet voldoen aan de geluidseisen niet of nauwelijks is gerelateerd aan de CEMT klasse.

Veel relevanter dan de CEMT klasse voor de optredende geluidniveaus zijn de bronsterkten van de op de schepen geplaatste werktuigen (hoofdmotor en keerkoppeling), de mate waarin reeds geluidreducerende maatregelen zijn getroffen en de akoestische kwaliteit van de uitvoering van die maatregelen.

Op grond van de statistiek van optredende overschrijdingen van de geldende geluidseisen is een indeling gemaakt in geluidreductiecategorieën, met de volgende aantallen schepen per categorie:

• Reductie categorie 0 – 5 dB(A)	22 % = 566 schepen;
• Reductie categorie 6 – 10 dB(A)	26 % = 669 schepen;
• Reductie categorie 11 – 15 dB(A)	32 % = 824 schepen;
• Reductie categorie > 15 dB(A)	<u>20 % = 515 schepen;</u>
Totaal	100 % = 2574 schepen.

## 10.2 Met betrekking tot te treffen geluidtechnische maatregelen aan schepen

Ad d) Is het voor bestaande schepen technisch mogelijk om binnen de gestelde overgangstermijn aan de norm te voldoen? Welke maatregelen moeten worden getroffen en wat zijn de kosten van deze maatregelen?

Voor bestaande schepen is het in principe geluidtechnisch mogelijk om te voldoen aan de huidige ROSR eisen. Voor schepen die in de hogere geluidreductie-categorieën vallen (meer dan 10 dB(A)) zal echter wel een uitgebreid, evenwichtig pakket goed uitgevoerde ingrijpende geluidreducerende maatregelen nodig zijn om de aanzienlijke vereiste geluidreducties te halen. Daarbij gaat het zowel om maatregelen in de machinekamer als in de accommodatie. Akoestische maatregelen in de accommodatie vergen wel een bepaalde inbouwhoogte, die ten koste gaat van stahoogte, terwijl de vrijstaande wandbetimmering ten koste gaat van het vloeroppervlak en het volume. Dit zou in conflict kunnen komen met geldende regels betreffende minimale stahoogte en/of de leefruimte in de verblijven (zie ROSR [30]; Art. 12.02 – lid 6 t/m 9). Indien de huidige stahoogte in de verblijven van een schip op dit moment juist voldoet aan de eisen hieromtrent, is toepassing van zwevende vloeren niet mogelijk.

Het percentage van de binnenvaartvloot waarvoor het voldoen aan de geluideisen een strijdigheid met de overige bouwkundige eisen aan de verblijven oplevert is in dit project niet verder onderzocht.

De maatregelen zullen moeten worden gedimensioneerd aan de hand van geluidmetingen en een geluidbijdragenanalyse uitgevoerd voor elk schip afzonderlijk. Alleen dan kunnen maatregelcombinaties worden geadviseerd die voldoende effectief zullen zijn en de vereiste geluidreductie tot stand kunnen brengen. Ook zal een goed toezicht op de details van de uitvoering van de maatregelen nodig zijn om ontwerp- uitvoeringsfouten te voorkomen. Indien dit niet gebeurt is er een gereede kans dat het uiteindelijk resultaat als gevolg van uitvoeringsfouten niet aan de eisen voldoet.

Het inschakelen van een gespecialiseerd scheepsakoestisch adviesbureau voor het uitwerken van een verbouwplan en voor het begeleiden van de uitvoering wordt dan ook sterk aanbevolen.

Voor de reductie categorieën 10 – 15 dB(A) en > 15 dB(A) kunnen de maatregelen constructief en financieel ingrijpend zijn, zodat de haalbaarheid van deze aanpassingen niet bij voorbaat is vast te stellen. Daartoe zal voor elk schip een kosten – baten analyse moeten worden gemaakt.

De kosten per schip kunnen variëren tussen € 80.000 bij een overschrijding van de eisen met 0 -10 dB(A) en een relatief eenvoudig maatregelpakket tot € 370.000 bij een overschrijding van de eisen met meer dan 15 dB(A) en een geluidtechnisch en constructief ingewikkeld maatregelpakket.

Het uitvoeren van de benodigde aanpassingen aan de Nederlandse binnenvaartvloot daterend uit 1976 of eerder, die toereikend zullen zijn om alle schepen te laten voldoen aan de geluideisen volgens het ROSR zullen een bedrag vergen dat kan variëren tussen 280 en 681 miljoen Euro.

Ad e) Welke maatregelen kunnen worden genomen om bij schepen die niet aan de normen kunnen voldoen, toch een verbeterde situatie te creëren die de norm benadert en wat zijn de kosten van deze maatregelen?

Bij schepen waarvoor het financieel niet haalbaar blijkt om het volledige vereiste maatregelpakket uit te voeren, zou kunnen worden volstaan met het aanbrengen van zwevende vloer-constructies met extra voorzieningen in de slaapverblijven. Ongeacht de oorzaken van de overschrijding van de geluideisen is een dergelijke maatregel effectief en levert een relatief hoge geluidreductie (ca. 15 dB(A)) in de slaapverblijven op tegen een vergelijkenderwijs niet zo hoog kostenniveau. Met deze maatregel zal echter niet volledig en/of niet in alle ruimten aan de geluideisen kunnen worden voldaan.

Indien zou worden overgestapt van het huidige meetvoorschrift op een voorschrift op basis van de combinatie van vier meetcondities (zie Ad b) zal dit resulteren in 2,5 à 5 dB(A) lagere meetresultaten. Indien de eisen onveranderd blijven, levert dit een feitelijke verlichting van de eisen op. Voor sommige schepen die niet aan de huidige eisen kunnen voldoen, omdat de financiële of andere consequenties van de benodigde maatregelpakketten onoverkomelijk zijn, levert deze verlichting wellicht juist genoeg speelruimte op om bij een gewijzigd meetvoorschrift wél te voldoen.

Wanneer het voldoen aan de geluideisen in woon- en/of slaapruidten onoverkomelijke problemen oplevert, zou een alternatieve benadering kunnen zijn om ten aanzien van het gebruik van het schip over te stappen op exploitatiewijze A1 (zie referentie [31] – paragraaf 2; Art. 3-10), waarbij het schip ten hoogste 14 uur per periode van 24 uur vaart. In dat geval vervallen de geluideisen voor woon- en slaapruidten. Aangezien de geluideisen voor stuurhuis en machinekamer veelal geen grote problemen opleveren, kan deze beperking van de exploitatiewijze een eenvoudige en financieel draaglijke oplossing bieden.

### 10.3 Overige bevindingen van het onderzoek

- In de praktijk van de certificering worden twee meetcondities toegepast bij het uitvoeren van geluidniveaumetingen: 95 % MCR (conform Dienstinstructie nr. 5 en ISO 2923) en 95 % van het maximaal motortoerental. De laatste conditie wordt vaak toegepast als in het stuurhuis geen instrument beschikbaar is om het momentane vermogensgebruik tijdens de geluidmetingen af te lezen. De meetresultaten bij 95 % MCR zullen doorgaans 1 tot 3 dB(A) hoger zijn dan de resultaten bij 95 % van het maximaal motortoerental.
- Conform de “Beleidsregel terugstellen motorvermogen” [34] is het mogelijk het motorvermogen met maximaal 25 % te reduceren en op die instelling te verzegelen. In dat geval worden de geluidmetingen uitgevoerd bij 95 % van het toerental, waarbij het gereduceerde maximale motorvermogen, zijnde 75 % van het oorspronkelijke maximale vermogen, wordt ontwikkeld. Uit de meetresultaten van de vier onderzochte schepen blijkt dat de geluidniveaus bij deze lagere meetconditie tussen 0 en 5 dB lager kunnen zijn dan bij de algemeen voorgeschreven meetconditie van 95 % MCR.
- Uit een analyse van 92 rapporten van vroeger uitgevoerde geluidniveau-metingen op binnenvaartschepen blijkt dat er geen correlatie bestaat tussen de gemeten geluidniveaus in de woon en slaapruidten en de volgende kenmerken van de schepen: bouwjaar motor, maximum motortoerental, verend opgestelde motor, aanwezigheid zwevende vloeren, CEMT-klasse en bouwjaar schip.
- Op de 4 gemeten binnenvaartschepen varieerde de gemeten overschrijding van de geluideisen als volgt:
  - Voor de woonruimten: -3 (onderschrijding) tot 8 dB(A) overschrijding;
  - Voor de slaapruidten: 8 tot 21 dB(A) overschrijding
- De belangrijkste bijdragen aan de geluidniveaus in de woon- en slaapruidten zijn afkomstig van de volgende bronnen: hoofdmotor, keerkoppeling, schroef (cavitatiegeluid), uitlaatsysteem.
- Overdracht van luchtgeluid vanuit de machinekamer draagt nauwelijks bij tot het geluidniveau in de accommodatie, zeker niet als er aanvullende akoestische maatregelen in de accommodatie zijn genomen.
- Door toepassing van een verende opstelling van hoofdmotor en keerkoppeling als geluidreducerende maatregelen voor de woon- en slaapruidten kan in de machineruimte een (beperkte) toename van de geluidniveaus optreden. Dit is echter op de gemeten binnenvaartschepen niet geconstateerd.
- De geluidniveaus in de machineruimte voldeden in de vier gemeten schepen aan de eis van 110 dB(A). Ook bij de inventarisatie van oudere meetresultaten bleek slechts in enkele gevallen een overschrijding van de eis voor te komen.
- In paragraaf 4.3.1 is beargumenteerd dat een beperkte verruiming van de geluideis voor de machinekamer toelaatbaar zou zijn, uitgaande van een



kortdurend verblijf (< 1 uur) in de machineruimte bij aanzienlijk lagere vermogensinstellingen dan 95 % MCR.

Gezien de kans dat bij hogere geluidniveaus in de machinekamer de invloed van luchtgeluidoverdracht zou toenemen, hetgeen afbreuk zou doen aan het effect van constructiegeluidmaatregelen, wordt voorgesteld de huidige eis van 110 dB(A) in de machinekamer te handhaven.

#### **10.4 Aanbevelingen voor verder onderzoek**

- Op dit moment zijn geen onderzoekresultaten bekend, waarop een onderbouwing van grenswaarden voor geluid in woon- en slaapruidten aan boord van binnenvaartschepen kan worden gebaseerd. Verder onderzoek naar het verband tussen ervaren geluidhinder c.q. slaapverstoring en geluidniveaus in woon- en slaapruidten aan boord van binnenvaartschepen wordt aanbevolen.
- Ook voor de eisen met betrekking tot de geluidbelasting ten gevolge van passerende of stilliggende binnenvaartschepen bij woningen in de nabijheid van vaarwegen ontbreekt de onderbouwing. Ook op dit punt wordt nader onderzoek aanbevolen.
- Het voldoen aan de geluideisen in de woon- en slaapruidten kan een strijdigheden opleveren met andere bouwkundige eisen uit het ROSR (Artikel 12.02 – lid 6 t/m 9), als de stahoogte of het vloeroppervlak van de ruimte te klein is om een zwevende vloer, een vrijstaande wandbetimmering of een verlaagd plafond volgens de gegeven specificaties toe te passen. Nader onderzoek naar de mate waarin deze strijdigheden zich voordoen bij oudere binnenvaartschepen wordt aanbevolen. Tevens kan daarbij worden onderzocht welke effecten van geluidreducerende maatregelen in de accommodatie haalbaar zijn met inachtnaam van de gestelde geometrische randvoorwaarden.

#### **10.5 Aanbeveling voor onderzoek naar alternatieve benadering**

Bij de uitvoering van dit onderzoek en bij het uitwerken van aanbevelingen voor geluidreducerende maatregelen is volledig uitgegaan van bestaande, beproefde methoden en technologieën.

Aanbevolen wordt te onderzoeken wat de geluidtechnische mogelijkheden en de financiële consequenties zouden zijn van het overstappen op diesel-elektrische voortstuwing.

Gegeven de noodzaak tot het toepassen van ingrijpende pakketten verbetermaatregelen bij de 'traditionele' aanpak wordt een onderzoek naar een alternatieve benadering relevant geacht.

#### **10.6 Aanbeveling opstellen handleiding geluidreducerende maatregelen**

De geluidreductie die kan worden gerealiseerd met behulp van de voorgestelde maatregelen is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de uitvoering en de detaillering van de maatregelen.

Voor het realiseren van de potentiële geluidreductie van een maatregel is begeleiding door een akoestisch adviseur bij het selecteren van de maatregel(en) en toezicht op de uitvoering onontbeerlijk.

Deze inspanning kan worden wellicht gereduceerd door het opstellen van een handleiding waarin de meest voorkomende (combinaties van) oorzaken van te hoge geluidniveaus worden geïdentificeerd en waarin de daarbij toe te passen maatregelpakketten worden beschreven en qua detaillering worden uitgewerkt. Wanneer een dergelijk document ook hulp biedt voor het stellen van de diagnose kan waarschijnlijk een behoorlijk deel van de binnenvaartschepen door de scheepswerven worden aangepakt zonder uitgebreide betrokkenheid van een akoestisch adviseur.

Aanbevolen wordt de mogelijkheden en beperkingen van een dergelijke handleiding nader te onderzoeken en tot uitwerking daarvan over te gaan bij gebleken uitvoerbaarheid en geschiktheid.

## 11 Referenties

- [1] Wetering, R. van de, Vereniging van Waterbouwers - Geluidsmetingen Wet Binnenvaart 2015, rapportnr. 090417-164-R-RW-ks-definitief, Sigt Ruimte en Milieu, Zetten, 10 juni 2009.
- [2] Lieshout, H. van, Geluidseffecten scheepvaartlawaaï - Metingen, literatuurstudie en ontwikkeling rekentool, rapport PV.W3629.R01, Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Adviesdienst Verkeer en vervoer, opgesteld door DHV Ruimte en Mobiliteit BV, Utrecht, 6 december 2004.
- [3] Florijn, J.K., Trilling/geluid onderzoek, JVS rapport nr. 95151, JVS Scheeps- en Industrietechniek B.V. Papendrecht, 3 juli 1995.
- [4] Coppoolse, A., Meetrapporten van 18 schepen van Van Oord Nederland B.V., rapporten 111193-12438-volnummers 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, Techno Fysica BV, Barendrecht, 2011 – 2012.
- [5] Hendriks, P., Geluidmeetresultaten ms. Marina, Wiggula BV, Druten, 23-11-2010.
- [6] Berkhoff, A.P., Dittrich, M.G., Van 't Hof, J., Evaluatie van antigeluid voor toepassing in binnenvaartschepen, TNO rapport MON-033-RPT-DTS-2009-01921, TNO Industrie en Techniek, Delft, 22 juni 2009.
- [7] Doorn, J. van, P. Hendriks, R. Lelyveld, Wiggula BV – Onderzoek geluidsniveau, Stageverslag Avans Hogeschool, 's-Hertogenbosch, 28-01-2011.
- [8] Jansen, H.W., De Regt, M.J.A.M., Lucht- en constructiegeluidmetingen aan boord van de 'Pride of Braila', TNO rapport HAG-RPT-010131, TNO TPD, Delft, 31 januari 2002.
- [9] Regt, M.J.A.M., H. Hendriks, Onderzoek effect akoestische voorzieningen binnenvaartschepen – Deel 1: onderzoek 1980; Deel 2: onderzoek 1981; Deel 3: executive summary, rapporten TNO TPD, Delft, nr. 008.415 - 20-01-1982; nr 208.417 - 28-07-1982; nr. 208/417/1 - 26-08-1982.
- [10] Vermaas, E.A., J.J. Bosman, Arbo-informatie AI-04: Lawaai op de arbeidsplaats, 5e herziene druk, SDU Uitgevers, Den Haag, 2011.
- [11] Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise), Official Journal of the European Union L 42/38 , Brussels, 15-02-2003.
- [12] ISO 1999:2013, Acoustics -- Estimation of noise-induced hearing loss, ISO, Geneva, 23-09-2013.
- [13] ISO 4869-2:1995, Acoustics -- Hearing protectors -- Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn, ISO, Geneva, 18-08-1994.
- [14] Life-Saving Appliances – 2010 Edition, IMO, London, 2010.
- [15] Houtman, I., Miedema, M., Jettinghoff, K., Starren, A., Heinrich, J., Gort, J., et al. (2005). Fatigue in the shipping industry: TNO report 20834/11353.
- [16] Dalton, B. & Behm, D.G., Effects of noise and music on human and task performance: a systematic review. Occupational Ergonomics 7: pp. 1-10, 2007
- [17] Smith, A. P. & Ellis, N., Objective measurement of the effects of noise aboard ships on sleep and mental performance. Internoise 2002, N530, International Institute of Noise Control Engineering, Washington, USA, 2002.

- [18] Miedema, H. M. E., Oudshoorn, C. G. M., Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals, *Environ. Health Persp.* 109, 409–416, 2001.
- [19] Miedema, H. M. E., Vos, H., Noise annoyance from stationary sources: relationships with exposure metric day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals. *J. Acoust. Soc. Am.* 116, 334–343, 2004.
- [20] Janssen, S.A., Vos, H., Eisses, A.R., Pedersen, E., A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J. Acoust. Soc. Am.* 130, 3746–3753, 2011.
- [21] Miedema, H. M. E., Vos, H., Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 105, 3336–3344, 1999.
- [22] Guski, R., Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise & Health* 1, 45-56, 1999.
- [23] Besluit van 29 augustus 2011 houdende vaststelling van voorschriften met betrekking tot het bouwen, gebruiken en slopen van bouwwerken (Bouwbesluit 2012), *Stb.* 2011, 416, laatstelijk gewijzigd bij het besluit van 11 november 2013, houdende wijziging van het Bouwbesluit 2012 betreffende de uitvoering van de verordening bouwproducten, *Stb.* 2013, 462.
- [24] Goujard, B., Sakoute, A., Valeau, V., Acoustic comfort on board ships: An evaluation based on a questionnaire. *Applied Acoustics* 66, 1063–1073, 2005.
- [25] Tamura, Y., Kawada, T., Sasazawa, Y., Effect of ship noise on sleep. *Journal of Sound and Vibration* 205, 417-425, 1997.
- [26] Tamura, Y., Horiyasu, T., Sano, Y., Chonan, K., Kawada, T., Sasazawa, Y., Kuroiwa, M., Suzuki, S., Habituation of sleep to a ship's noise as determined by actigraphy and a sleep questionnaire. *Journal of Sound and Vibration* 250, 107-113, 2002.
- [27] Ellis, N., Allen, P., Burke, A., The influence of noise and motion on sleep, mood and performance of seafarers. *Contemporary Ergonomics*, McCabe, P.T.(Ed.), pp 131-136, 2003.
- [28] Night Noise Guidelines (NNGL), World Health Organization, 2009.
- [29] Dienstinstructie nr. 5 voor de Commissies van Deskundigen ingevolge artikel 1.07 ROSR - Geluidsmetingen, Centrale Commissie voor de Rijnvaart, Straatsburg, 27 oktober 2009.
- [30] Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn – ROSR 1995, Centrale Commissie voor de Rijnvaart, Straatsburg, Editie 2014.
- [31] Reglement Scheepvaartpersoneel op de Rijn – RSP 2010, Centrale Commissie voor de Rijnvaart, Straatsburg, Editie 2013.
- [32] Onderzoek en beleidsadvies overgangsbepalingen binnenvaart - Probleem -en gevolgenanalyse van ROSR in Nederland, Rapport K plus V organisatie-advies, kenmerk 1011453-040/rtr/gsma – Bijlagen kenmerk 1011453-038/rbr/ppa, Arnhem, 4 augustus 2011.
- [33] ISO 2923, Acoustics – measurement of noise on board vessels, ISO, Geneve, 2e uitgave, 1 december 1996.
- [34] Beleidsregel terugstellen motorvermogen van schepen voor de Rijn- en binnenvaart – 4 januari 2001 / Nr. DGG/J-01/00693, Directoraat-Generaal Goederenvervoer, Staatscourant, nr. 14 / pag. 8, 19 januari 2001.
- [35] Website Marine Traffic [geeft informatie over scheepsbewegingen (positie, snelheid, koers) op basis van informatie verkregen uit AIS-transponders (Automatic Identification System)] - <http://www.marinetraffic.com/nl>

- [36] Code on noise levels on board ships, Resolution A.468 (XII), International Maritime Organization (IMO), London, 19-11-1981.
- [37] Crew habitability on ships, American Bureau of Shipping, Houston, Texas, USA, July 2012 – Update September 2013.
- [38] Besluit van 15 januari 1997, houdende regels in het belang van de veiligheid, de gezondheid en het welzijn in verband met de arbeid (Arbeidsomstandighedenbesluit), Staatsblad 1997, 60, 15 januari 1997.
- [39] IEC 61672-1: 2013, Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications, International Electrotechnical Commission (IEC), Genève, Ed. 2.0, September 2013.
- [40] ISO 1996-1: 2003, Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures, International Standardization Organization (ISO), Genève, 2<sup>nd</sup> Edition, 1 August 2003.

## 12 Ondertekening

Den Haag, juli 2014

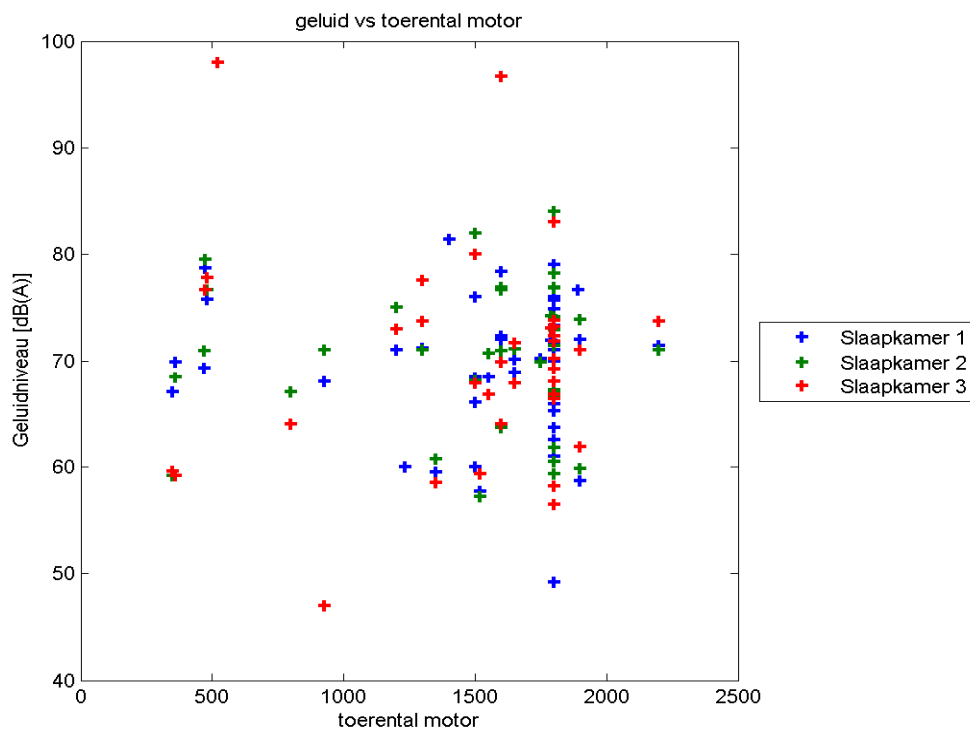
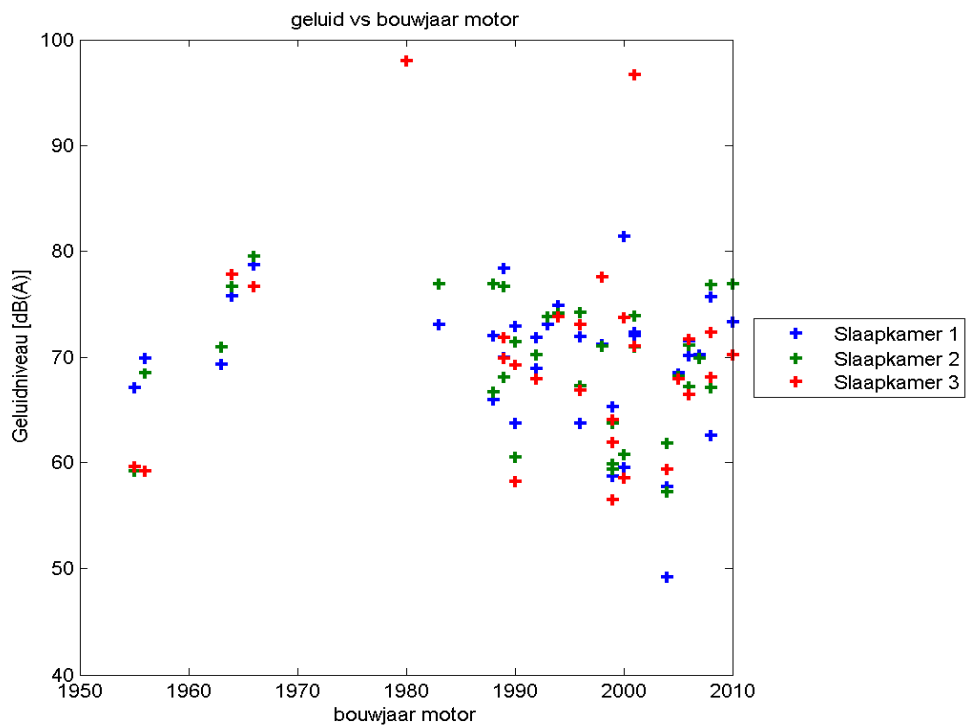
TNO

Ing. P. Hendriksen  
Afdelingshoofd

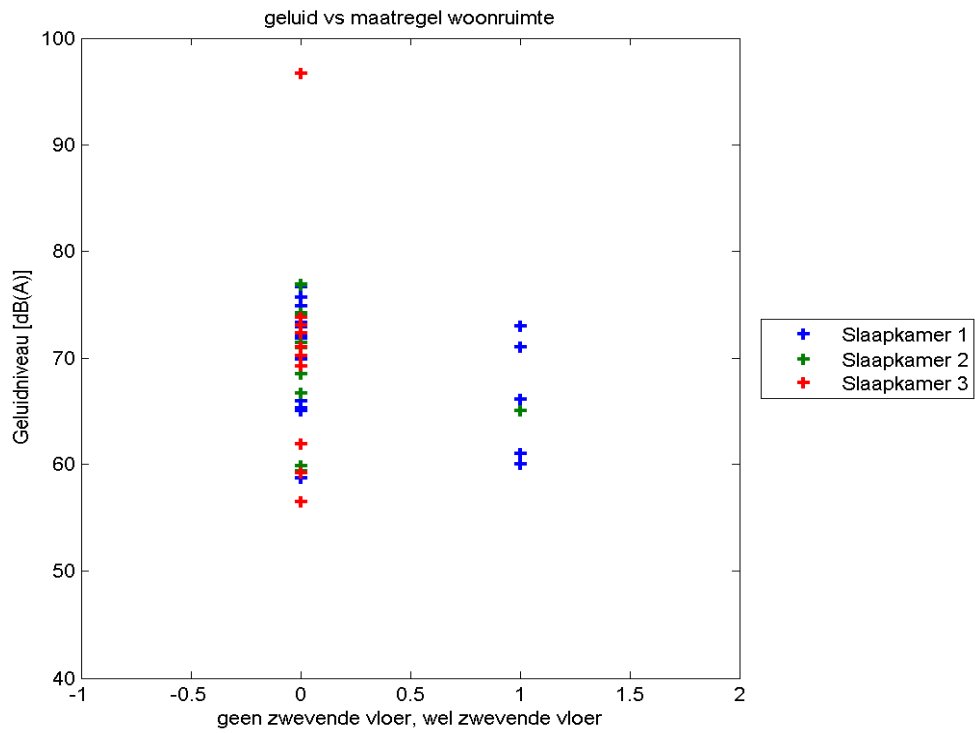
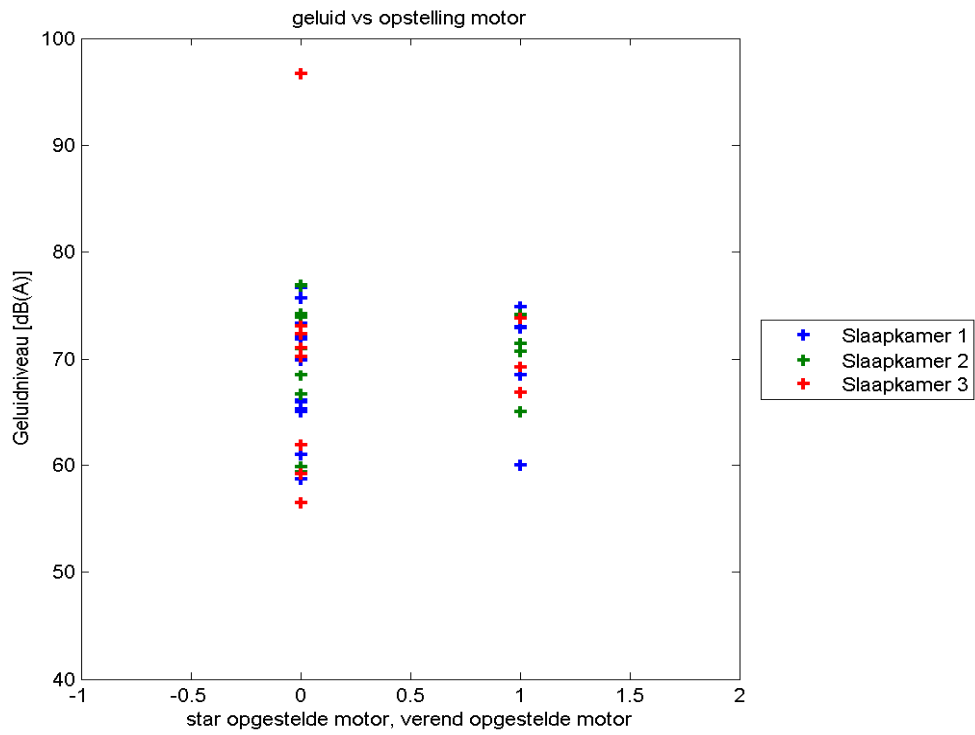
Ir. F. de Roo  
Auteur

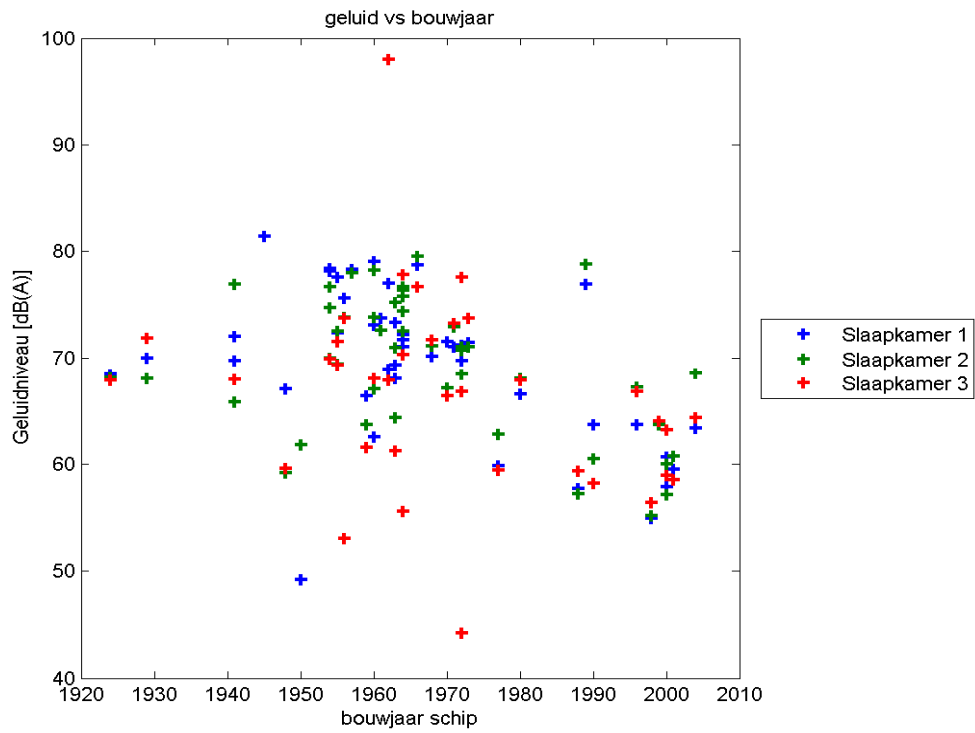
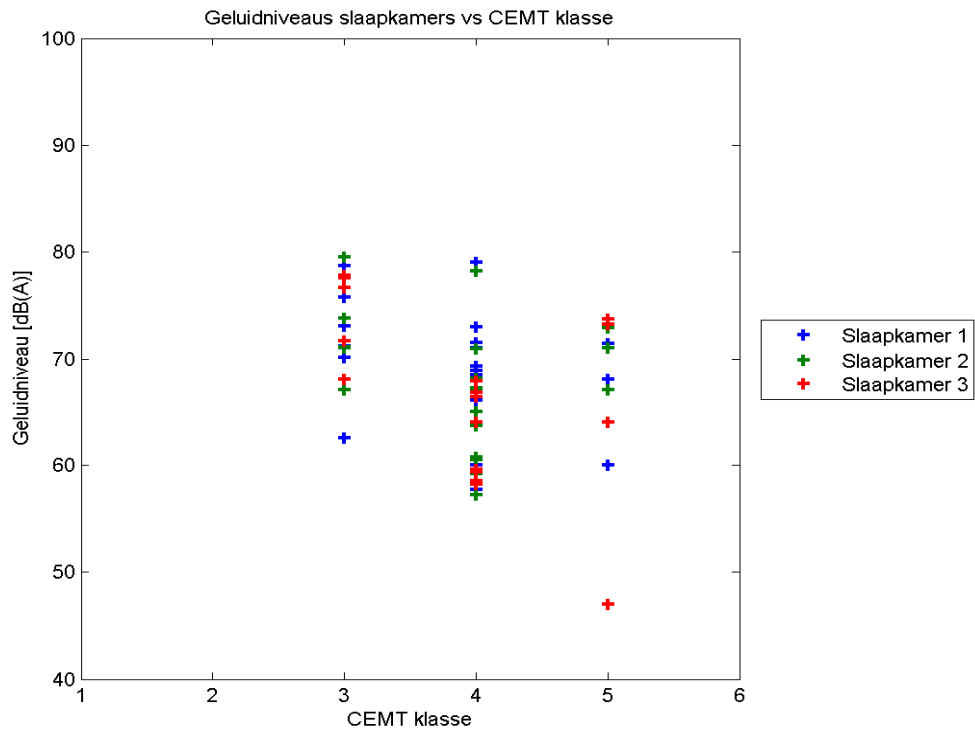


## B Correlaties tussen geluidmeetwaarden van oudere onderzoeken en kenmerken van schepen









## C Meetprogramma MTS Marina

### 1 Opstelling

#### 1.1 Microfoons ●

- Woonkamer: 1x
- Hut 1 t/m 4: 4x
- Stuurhuis: 1x
- Machinekamer: 2x

Microfoonhoogte: 1.2 – 1.6 m

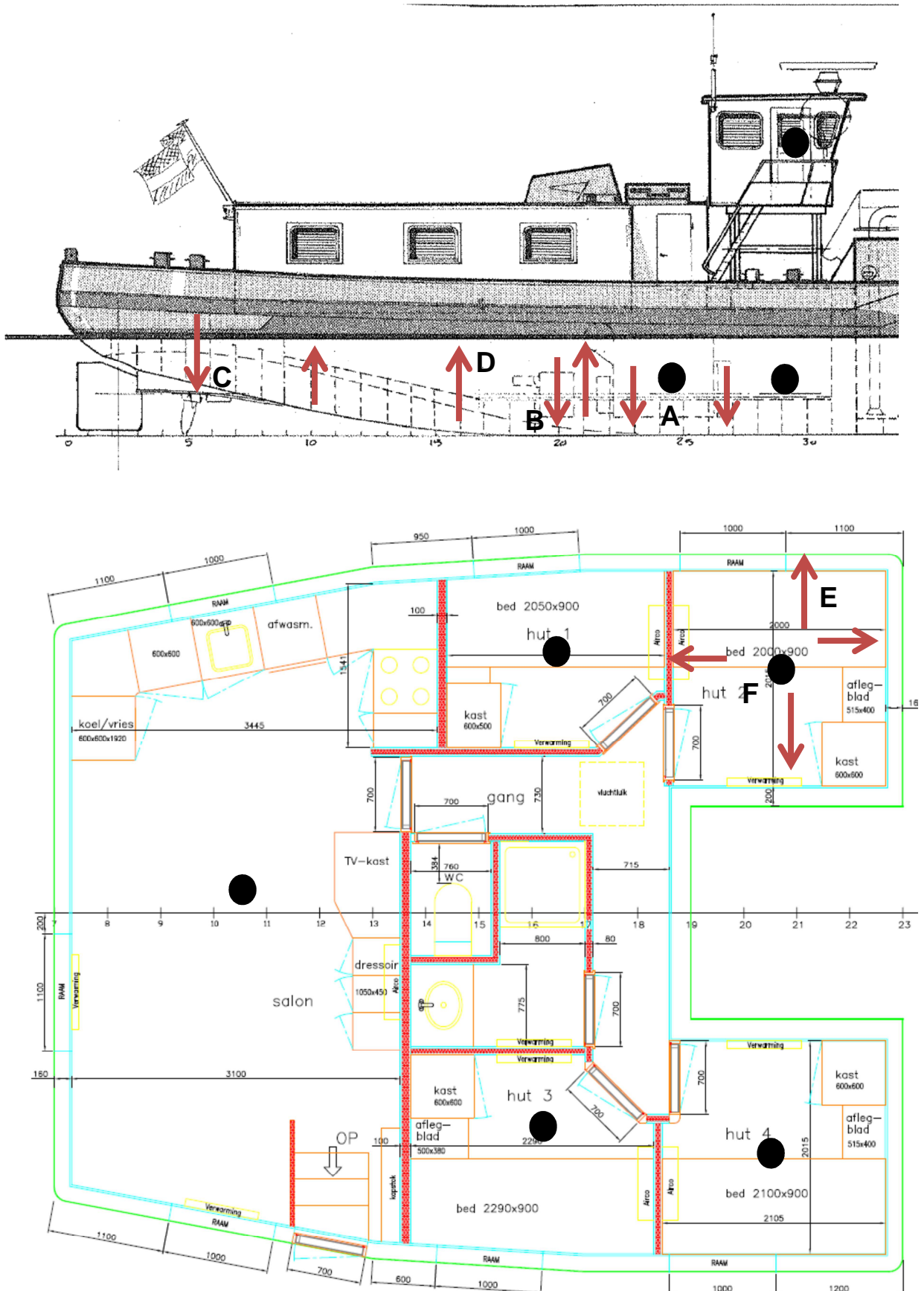
Accommodatie: Plaats de microfoon in midden van woonkamer/hut.

Machinekamer: 1 m afstand naast de motor, minimaal 1 m afstand huid schip (indien mogelijk).

#### 1.2 Versnellingsopnemers ↑

Tabel 19 – Overzicht versnellingsopnemers.

	Locatie	Positie	Spant no.	Richting	Aantal
A	Hoofdmotor (flexibele)	Boven veer	23, 26	Verticaal	2
		Onder veer	23, 26	Verticaal	2
B	Keerkoppeling (star)		20	Verticaal	2
C	Vlakbeplating	Boven schroef	5	Verticaal	1
D	Onderzijde dek machinekamer	Onder woonkamer	10	Verticaal	1
		Onder hut 1	16	Verticaal	1
		Onder hut 2	21	Verticaal	1
E	Begrenzingsvlakken	hut 4		Verticaal	4
F	Topvloer	Hut 4		Verticaal	1



Figuur 7 – Overzicht meetlocaties.

## 2 Meetprogramma

### 2.1 Varend

Meetcondities:

- Schip beladen of in ballastconditie.
- Rechttuit varend
- Bemanning vragen stil te zijn tijdens metingen
- Indien mogelijk en van toepassing: airco uit.
- 60s opname per meetconditie

Tabel 20 – Meetcondities hoofdmotor tijdens vaart.

Conditie	Toerental [rpm]	Vermogen [MCR]
1	1600	95%
2	1500	85%
3	1400	75%
4	1300	50%
5	700	stationair

Meet tijdens 95% MCR met een mobiele geluidmeter ook de geluid- en trilingsniveaus:

- buiten naast het stuurhuis aan beide zijdes.
- buiten 1m voor de uitlaat.
- Trillingsniveaus boven op zwevende vloeren en begrenzingsvlakken vertrekken.
- Trillingniveaus onderzijde dek onder hut2, spant 21, 22 en 23, meerdere punten van hart schip richting huid.

### 2.2 Stilliggend, dood schip, indien mogelijk generator uit tijdens metingen (walspanning)

1. Schroef ontkoppeld dmv keerkoppeling; Zelfde condities als in Tabel 20, nu schroef + keerkoppeling ontkoppeld;
2. Luidspreker met witte ruisgenerator in de machinekamer; Meet geluid op alle microfoons (bepaling luchtgeluidoverdracht)
3. Alleen generatorset aan (havenbedrijf);
4. Impedantiemetingen motorfundatie, 1 kracht sensor, twee opnemers verticaal links en rechts van de krachtsensor;
5. Motor stationair (700 rpm), zie Tabel 20.

## D Karakteristieke eigenschappen van MTS Marina

### *Vragenlijst ingevuld door schipper en/of rederij*

#### Schip

Naam: mts Marina  
Bouwjaar: 1972  
Lengte [m]: 83,35 mtr  
Tonnage [ton]: ?

#### Voortstuwing

##### Hoofdmotor

- Fabrikant: Caterpillar
- Type: 3508
- Bouwjaar: 202
- Aantal: 1 stuks
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [rpm]: 746 kw bij 1600 omw/min.
- Op hoeveel procent van uw totaal geïnstalleerd vermogen vaart u gemiddeld [kW]? Bij welk toerental van de hoofdmotor is dit [rpm]? Zie bijlage ( Engine Load Factor )

##### Hulpmotor(en):

- Fabrikant KHD
- Type BF4L1012
- Bouwjaar 1994
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [rpm]: 51 kw bij 1500 omw/min
- Aantal: 1 stuks

##### Hulpmotor(en):

- Fabrikant Hatz
- Type 4L41C
- Bouwjaar 2002
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [rpm]: 27 kw bij 1500 omw/min
- Aantal: 1 stuks

##### Keerkoppeling (indien aanwezig)

- Fabrikant: Reintjes
- Type: Waf 541
- Bouwjaar: 2002
- Reductieverhouding: 1:4,45

##### Schroef

- Fabrikant: Wartsila
- Type: Tiprake
- Aantal bladen: 5
- Diameter [m]: 1400 mm
- Straalbuis aanwezig? ja/nee Nee

#### Akoestische maatregelen

Hoofdmotor flexibel opgesteld? ja

    Zo ja, motorfundatie extra verstijfd? Ja (Volgens goedkeur klasse bureau)

Hoofdmotor omkast? nee

Flexibele ophanging voor leidingen? Ja

Hulpmotor flexibel opgesteld? ja

    Zo ja, hulpmotorfundatie extra verstijfd? ja

Hulpmotor omkast? Ja/nee ( Alleen Hatz op het achterschip is omkast.)

Flexibele ophanging voor leidingen? Ja

Flexibele askoppeling tussen motor en keerkoppeling? Ja

Keerkoppeling flexibel opgesteld? nee

Stil schroef ontwerp? Ja/nee ( ?? Zal dit nog even navragen bij Wartsila)

zwevende vloeren in accommodaties? Ja

    zo ja, in welke accommodaties?: Gehele achterwoning

Wanden en plafonds ontkoppeld van scheepsconstructie? Ja

    zo ja, in welke accommodaties?: Gehele achterwoning

Zwevende dekopbouw? nee

Overige maatregelen: ...

## E Meetprogramma MS Twillis

### 1 Opstelling

#### 1.1 Microfoons

- Woonkamer: 1x
- Hut 1 t/m 4: 4x
- Stuurhuis: 1x
- Machinekamer: 2x

Microfoonhoogte: 1.2 – 1.6 m

Accommodatie: Plaats de microfoon in midden van woonkamer/hut.

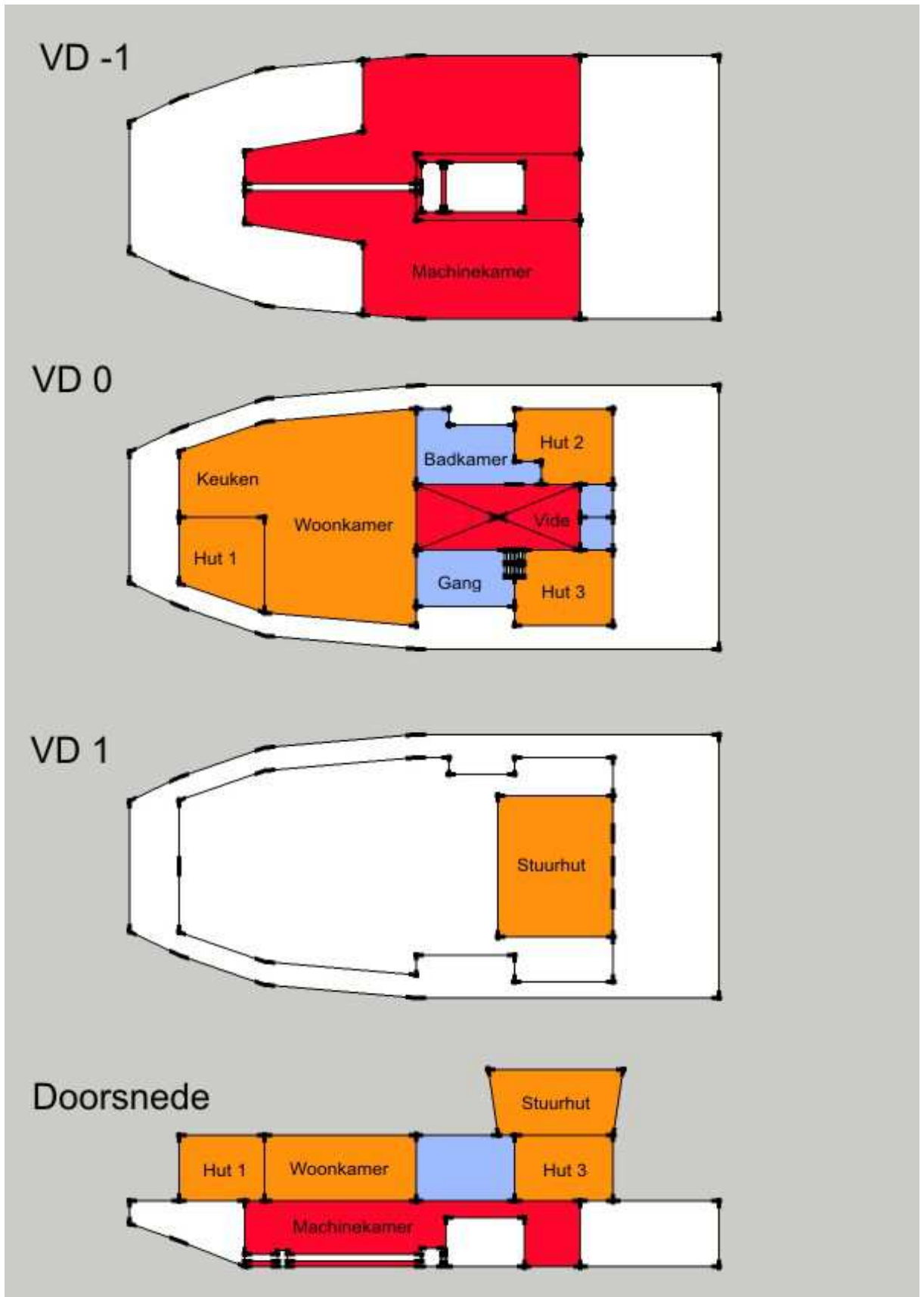
Machinekamer: 1 m afstand naast de motor, minimaal 1 m afstand huid schip (indien mogelijk).

#### 1.2 Versnellingsopnemers

Tabel 21 – Overzicht versnellingsopnemers.

	Locatie	Positie	Spant no.	Richting	Aantal
A	Hoofdmotor (star)		Links	Xyz	3
			Rechts	Xyz	3
B	Keerkoppeling (star)			Verticaal	2
C	Vlakbeplating	Boven schroef		Verticaal	1
D	Onderzijde dek machinekamer	Onder woonkamer		Verticaal	1
		Onder hut 1		Verticaal	1
		Onder hut 2		Verticaal	1
E	Begrenzingsvlakken	hut 4		Verticaal	4
F	Topvloer	Hut 4		Verticaal	1





Figuur 8 – Tekeningen achterschip Twillis.

## 2 Meetprogramma

### 2.1 Varend

Meetcondities:

- Schip beladen of in ballastconditie.
- Rechttuit varend
- Bemanning vragen stil te zijn tijdens metingen
- Indien mogelijk en van toepassing: airco uit.
- 60s opname per meetconditie

Tabel 22 – Meetcondities hoofdmotor tijdens vaart.

Conditie	Toerental [rpm]	Vermogen [MCR]
1	1600	95%
1b	1520 (95 % max rpm)	
2	1500	85%
3	1400	75%
4	1300	50%
5	700	stationair

Meet tijdens 95% MCR met een mobiele geluidmeter ook de geluid- en trillingsniveaus:

- buiten naast het stuurhuis aan beide zijdes.
- buiten 1m voor de uitlaat.
- Trillingsniveaus boven op zwevende vloeren en begrenzingsvlakken vertrekken.
- Trillingniveaus onderzijde dek onder hut2, spant 21, 22 en 23, meerdere punten van hart schip richting huid.

### 2.2 Stilliggend, dood schip, indien mogelijk generator uit tijdens metingen (walspanning)

6. Schroef ontkoppeld d.m.v. keerkoppeling; Zelfde condities als in Tabel 22, nu schroef + twk ontkoppeld;
7. Luidspreker met witte ruisgenerator in de machinekamer; Meet geluid op alle microfoons (bepaling luchtgeluidoverdracht)
8. Alleen generatorset aan (havenbedrijf);
9. Impedantiemetingen motorfundatie, 1 kracht sensor, twee opnemers verticaal links en rechts van de krachtensor;

Motor stationair (700 rpm), zie Tabel 22.

## F Karakteristieke eigenschappen MS Twillis

### *Vragenlijst ingevuld door schipper en/of rederij*

#### Schip

Naam: Twillis  
Bouwjaar: 1963  
Lengte [m]: 105  
Tonnage [ton]: 1914,647

#### Voortstuwing

##### Hoofdmotor

- Fabrikant: caterpillar
- Type: 3512 B
- Bouwjaar: 1995
- Aantal: 1
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [tpm]: 1.015 kw /1.600 min
- Op hoeveel procent van uw totaal geïnstalleerd vermogen vaart u gemiddeld [kW]? Bij welk toerental van de hoofdmotor is dit [tpm]? 1300 +/- 1400 tpm

##### Hulpmotor(en):

- Fabrikant DAF
- Type niet bekend
- Bouwjaar niet bekend
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [tpm]: 268 kw / 1.800 min
- Aantal: 1

##### Keerkoppeling (indien aanwezig)

- Fabrikant: ZF
- Type: BW 461
- Bouwjaar: 1995
- Reductieverhouding: 4,2941 : 1

##### Schroef

- Fabrikant:
- Type:
- Aantal bladen: 8
- Diameter [m]: 1.550 mm
- Straalbuis aanwezig? ja

### **Akoestische maatregelen**

Hoofdmotor flexibel opgesteld? nee

    Zo ja, motorfundatie extra verstijfd? ja/nee

Hoofdmotor omkast? nee

Flexibele ophanging voor leidingen? nee

Hulpmotor flexibel opgesteld? ja/nee

    Zo ja, hulpmotorfundatie extra verstijfd? ja/nee

Hulpmotor omkast? nee

Flexibele ophanging voor leidingen? nee

Flexibele askoppeling tussen motor en keerkoppeling? Ja

Keerkoppeling flexibel opgesteld? nee

Stil schroef ontwerp? Ja

zwevende vloeren in accommodaties? nee

    zo ja, in welke accommodaties?:

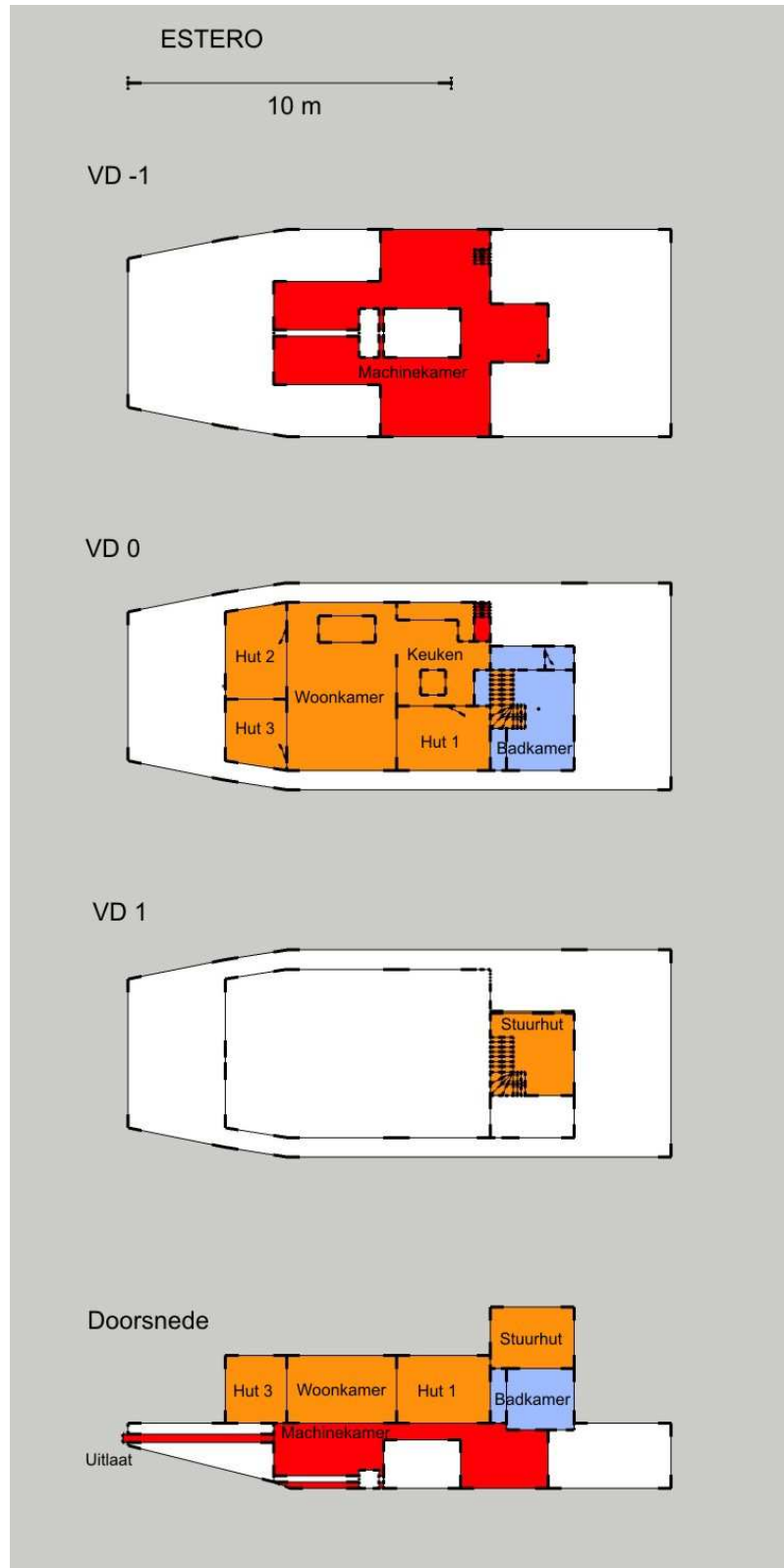
Wanden en plafonds ontkoppeld van scheepsconstructie? nee

    zo ja, in welke accommodaties?:

Zwevende dekopbouw? nee

Overige maatregelen: ...

## G Overzichtstekeningen MS Estero



Figuur 9 – Tekeningen achterschip MS Estero.

## H Karakteristieke eigenschappen MS Estero

### *Vragenlijst ingevuld door schipper en/of rederij*

#### Schip

Naam: Estero  
Bouwjaar: 1963  
Lengte [m]: 56  
Tonnage [ton]: 616

#### Voortstuwing

##### Hoofdmotor

- Fabrikant: Detroit Diesel (GM)
- Type: 12V92
- Bouwjaar: 1992
- Aantal: 1
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [rpm]: 441 / 1800 rpm
- Op hoeveel procent van uw totaal geïnstalleerd vermogen vaart u gemiddeld [kW]? Bij welk toerental van de hoofdmotor is dit [rpm]? 180 kw / 1350 rpm

##### Hulpmotor(en):

- Fabrikant Deutz in achter machinekamer / Hatz in voor machinekamer
- Type B/FM 1011/F
- Bouwjaar onbekend/ van voor 2004
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [rpm]: 22,4 kW 1500 rpm / 14 kW 1500 rpm
- Aantal: 2

##### Keerkoppeling (indien aanwezig)

- Fabrikant: ZF
- Type: BW 191
- Bouwjaar: 1992
- Reductieverhouding: 1: 4,383

##### Schroef

- Fabrikant: Van Voorden
- Type: Schroef recent aangepast door Jooren. Resultaat is minder trilling.
- Aantal bladen: 4
- Diameter [m]: 1,30
- Straalbuis aanwezig? ja/nee nee

### **Akoestische maatregelen**

Hoofdmotor flexibel opgesteld? ja/nee ja  
Zo ja, motorfundatie extra verstijfd? ja/nee nee  
Hoofdmotor omkast? Ja/nee nee  
Flexibele ophanging voor leidingen? Ja/nee gedeeltelijk

Hulpmotor flexibel opgesteld? ja/nee ja beide  
Zo ja, hulpmotorfundatie extra verstijfd? ja/nee nee  
Hulpmotor omkast? Ja/nee nee  
Flexibele ophanging voor leidingen? Ja/nee gedeeltelijk

Flexibele askoppeling tussen motor en keerkoppeling? Ja/nee ja

Keerkoppeling flexibel opgesteld? Ja/nee nee

Stil schroef ontwerp? Ja/nee nee

zwevende vloeren in accommodaties? Ja/nee nee  
zo ja, in welke accommodaties?:

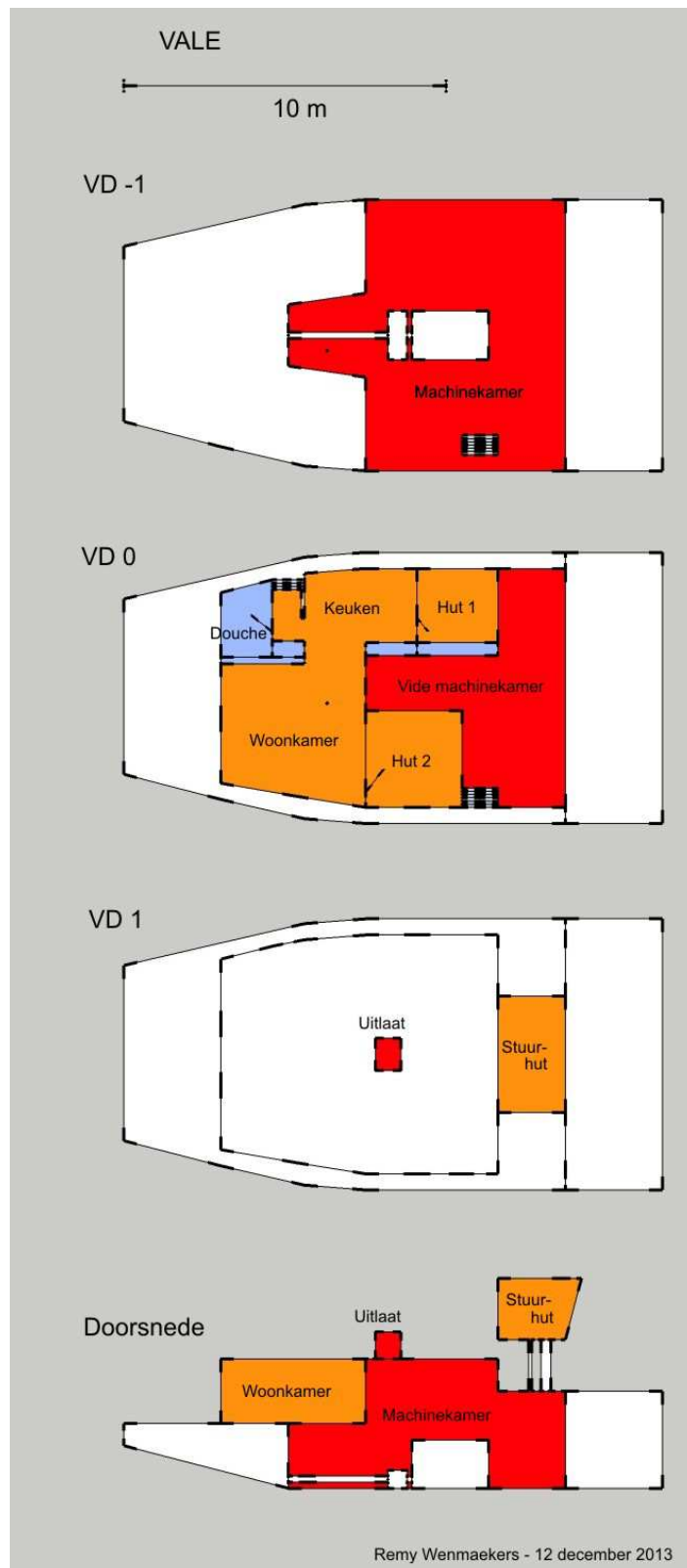
Wanden en plafonds ontkoppeld van scheepsconstructie? Ja/nee nee  
zo ja, in welke accommodaties?:

Zwevende dekopbouw? Ja/nee nee

Overige maatregelen: ...

Boegschroef: Daf 1160- 191 KW -2200 RPM

# I Overzichtstekeningen MS Valé



Figuur 10 – Overzichtstekeningen van MS Valé.



## J Karakteristieke eigenschappen MS Valé

### *Vragenlijst ingevuld door schipper en/of rederij*

#### Schip

Naam: Valé  
Bouwjaar: 1970  
Lengte [m]: 85 meter  
Tonnage [ton]: 1633

#### Voortstuwing

##### Hoofdmotor

- Fabrikant: Cummins
- Type: KTA 38 M 2
- Bouwjaar: 2002
- Aantal: 1
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [tpm]: 955,5 KW 1800 toeren
- Op hoeveel procent van uw totaal geïnstalleerd vermogen vaart u gemiddeld [kW]? Bij welk toerental van de hoofdmotor is dit [tpm]?

70% = 668 KW 1260 toeren

##### Hulpmotor(en):

- Fabrikant Hatz
- Type
- Bouwjaar
- Maximaal vermogen [kW] en toerental [tpm]: 1x 30 kw en 2x 25 kw
- Aantal: 3

##### Keerkoppeling (indien aanwezig)

- Fabrikant: Twin Disc oliedrukkeerkoppeling
- Type: MGN 726 V
- Bouwjaar: 2002
- Reductieverhouding: 4,48:1

##### Schroef

- Fabrikant: Lips
- Type: cunial schroef
- Aantal bladen: 5
- Diameter [m]: 1500 mm
- Straalbuis aanwezig? ja

### **Akoestische maatregelen**

Hoofdmotor flexibel opgesteld? /nee  
Zo ja, motorfundatie extra verstijfd? ja/nee  
Hoofdmotor omkast? nee  
Flexibele ophanging voor leidingen? nee

Hulpmotor flexibel opgesteld? ja  
Zo ja, hulpmotorfundatie extra verstijfd? nee  
Hulpmotor omkast? nee  
Flexibele ophanging voor leidingen? nee

Flexibele askoppeling tussen motor en keerkoppeling? Ja

Keerkoppeling flexibel opgesteld? nee

Stil schroef ontwerp? nee

zwevende vloeren in accommodaties? nee  
zo ja, in welke accommodaties?:

Wanden en plafonds ontkoppeld van scheepsconstructie? nee  
zo ja, in welke accommodaties?:

Zwevende dekopbouw? Ja

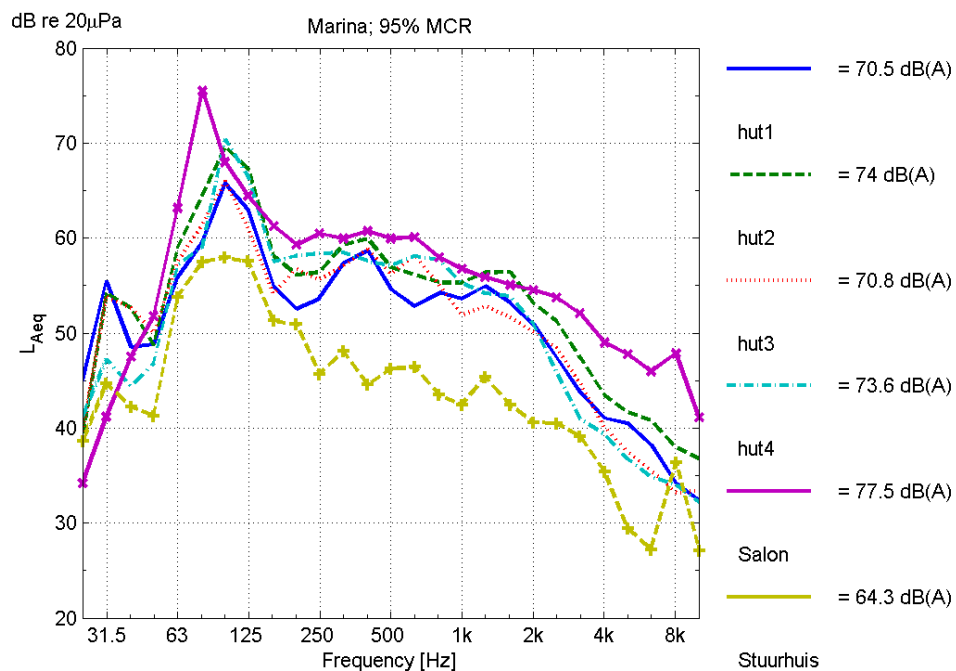
Overige maatregelen: ...

## K Gedetailleerde analyse van geluid- en trillingsmeetresultaten

### K.1 Spectrale analyse van gemeten geluidniveaus

Uit de hierna gepresenteerde geluidspectra kan worden afgeleid in welk frequentiegebied, hoge of lage tonen, de grootste bijdrage aan het totale geluid zich voordoet. Ook kunnen tonale componenten, die eventueel kunnen worden gerelateerd aan een specifieke geluidbron, worden herkend. Hiertoe worden geluidniveau aangegeven voor specifieke frequentiebanden (1/3-octafbanden) met een gedefinieerde frequentie-bandbreedte. Alle spectra zijn gecorrigeerd voor de gemiddelde frequentieafhankelijke gevoeligheid van het menselijk gehoor door middel van de A-weging. Het menselijk gehoor is gevoeliger voor geluid bij hoge frequenties dan bij lage frequenties. De totale geluidniveaus zijn uitgedrukt in dB(A).

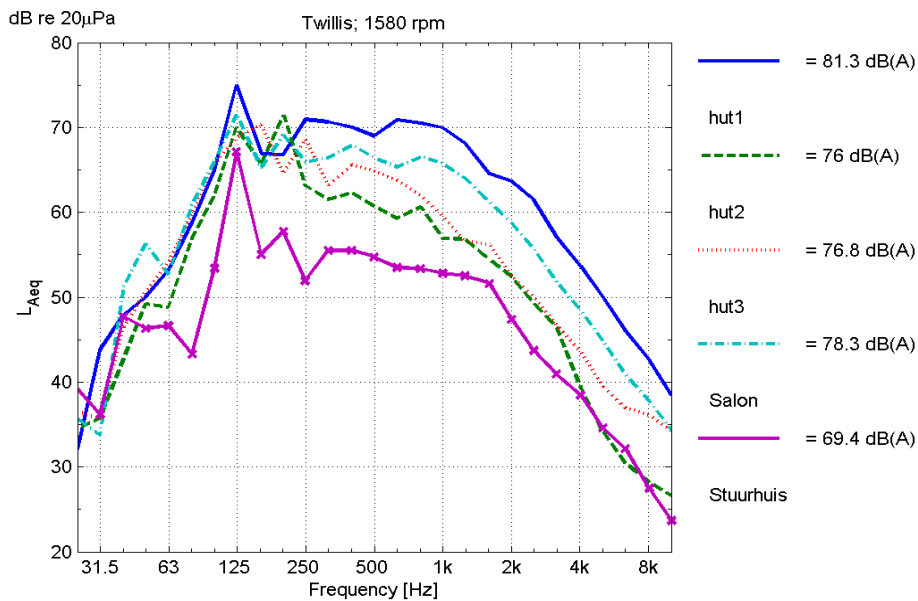
#### K.1.1 MTS Marina



Figuur 11 – Geluidrukniveaus in 1/3 octaafbanden in verschillende accommodatieruimten van de Marina bij 95% MCR.

Figuur 11 laat een aantal tonale componenten zien. Voor de salon wordt het geluidniveau bepaald door de 80 Hz band. Nadere analyse toont aan dat dit wordt veroorzaakt door de keerkoppeling bij een frequentie van 3 maal het motortoerental. Voor hut 1 en hut 4 zijn pieken bij 100 Hz medebepalend voor het geluid, dat wordt veroorzaakt bij de cilinderontsteekfrequentie van de hoofdmotor. Dit is een belangrijke frequentie in het geluid van het uitlaatsysteem. Hutten 1 en 4 zijn gelegen aangrenzend aan de machinekamer-casing waar de uitlaatleiding doorheen loopt. Een nadere beschouwing over de ophanging van deze uitlaatleiding is te vinden in paragraaf K3.3.

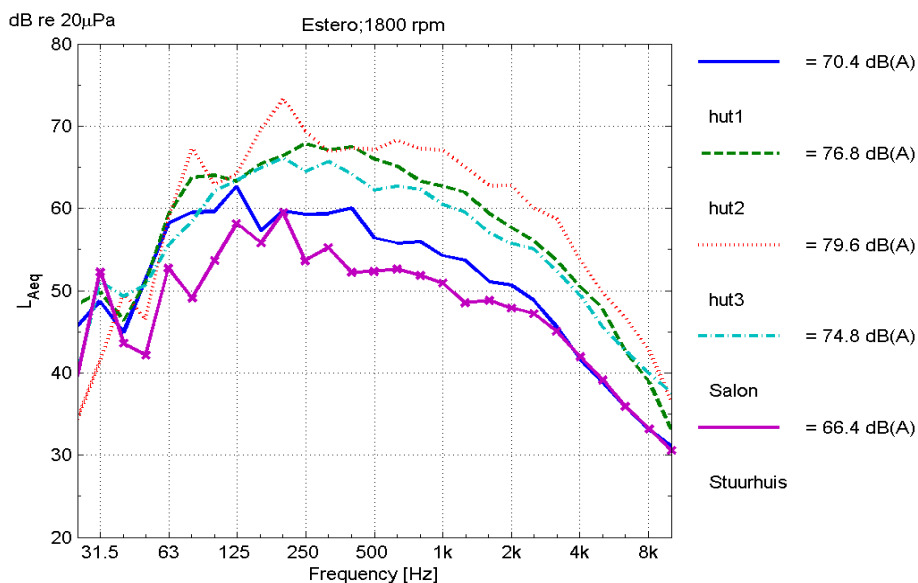
K.1.2 MS Twillis



Figuur 12 – Geluidrukniveaus in 1/3 octaafbanden in verschillende accommodatieruimten van de Twillis bij 1580 rpm van de hoofdmotor.

Voor alle vertrekken worden de geluidniveaus mede bepaald door de pieken in de 125 Hz band. Nadere analyse toont aan dat dit wordt veroorzaakt door de keerkoppeling.

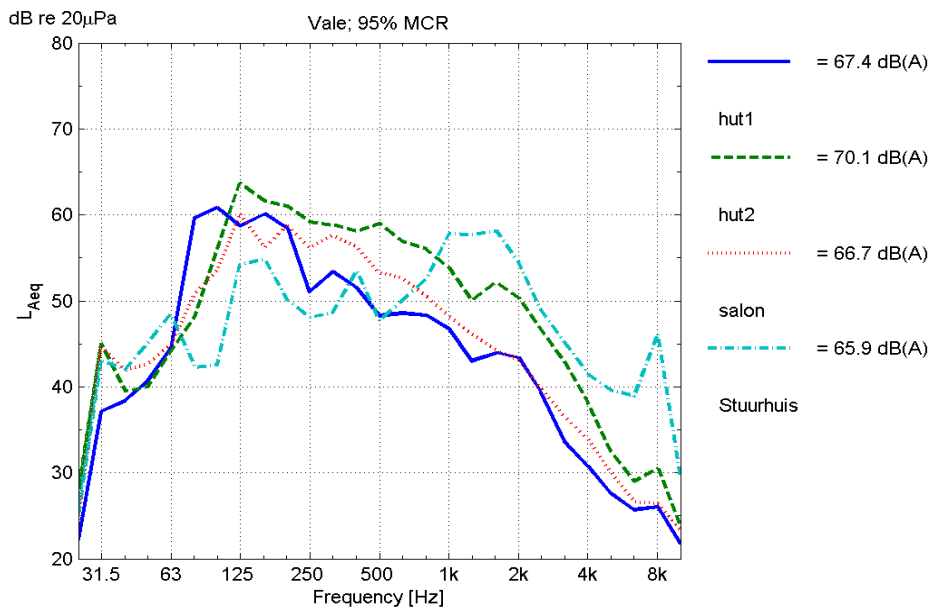
K.1.3 MS Estero



Figuur 13 – Geluidrukniveaus in 1/3 octaafbanden in verschillende accommodatieruimten van de Estero bij 1800 rpm van de hoofdmotor.

In Figuur 13 wordt voor hut 3 het geluid mede bepaald door een piek bij 200 Hz, de cilinderonsteekfrequentie van de motor. De uitlaatleiding loopt onder hut3 door en heeft een schotdoorvoering. Dit kan in een overdracht van uitlaat-constructiegeluid resulteren.

#### K.1.4 MS Valé



Figuur 14 – Geluidrukniveaus in 1/3 octaafbanden in verschillende accommodatieruimten van de Valé bij 95% MCR.

## K.2 Bronsterktes werktuigen

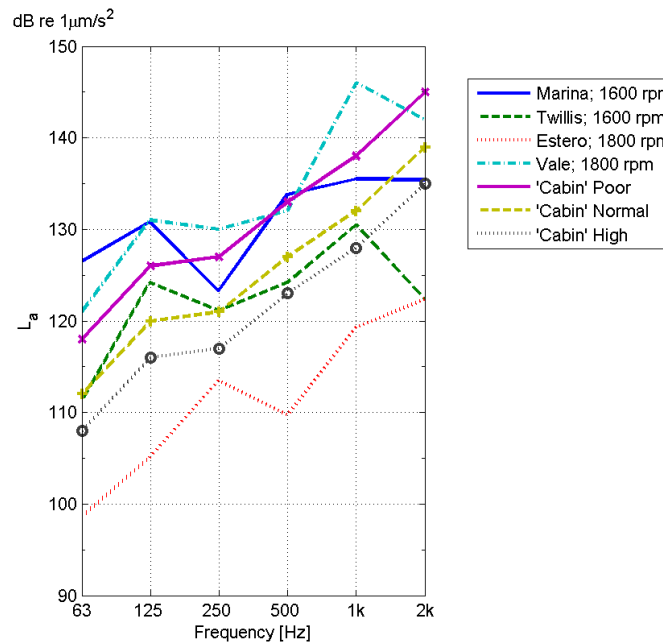
Deze paragraaf toont de gemeten trillingen van de belangrijkste werktuigen aan boord van de schepen. In de akoestiek is het gebruikelijk om trillingen uit te drukken als een versnellingsniveau uitgedrukt in  $\text{dB re } 1 \mu\text{m/s}^2$ . Hoe lager de gemeten versnellingsniveaus op het verbindingspunt tussen de geluidbron en fundatieconstructie zijn, des te minder wordt de constructie in trilling gebracht. Dit zal resulteren in een lager constructiegeluidniveau in de accommodatie ten gevolge van deze geluidbron.

De in deze paragraaf getoond bronsterktes worden als invoer gebruikt in de berekeningen met het rekenprogramma CABIN (Zie Bijlage L). Waar mogelijk worden de gemeten versnellingsniveaus vergeleken met empirische voorspellingen.

### K.2.1 Keerkoppeling

Aan boord van alle beschouwde schepen zijn versnellingen van de machinevoeten van de keerkoppelingen gemeten, zie Figuur 15. Er zijn grote verschillen in versnellingsniveaus gevonden in een band van ca. 30 dB. In het prognose-programma voor geluid aan boord van schepen, CABIN, kan het versnellingsniveau van keerkoppelingen aan boord van binnenvaartschepen worden geschat als functie van het toerental en de kwaliteit van de vertanding van de tandwielen. De empirische relaties die hier voor gebruikt worden zijn gebaseerd op metingen aan diverse soorten keerkoppelingen. Er worden drie gradaties voor de kwaliteit van de vertanding onderscheiden, slecht, normaal en hoog, resulterend in een band van 10 dB. Deze curves zijn ook in Figuur 15 opgenomen. Te zien is dat voor twee schepen de trillingen van de keerkoppelingen hoog zijn, op het niveau van slechte vertanding. Voor één schip liggen de trillingen onder die van

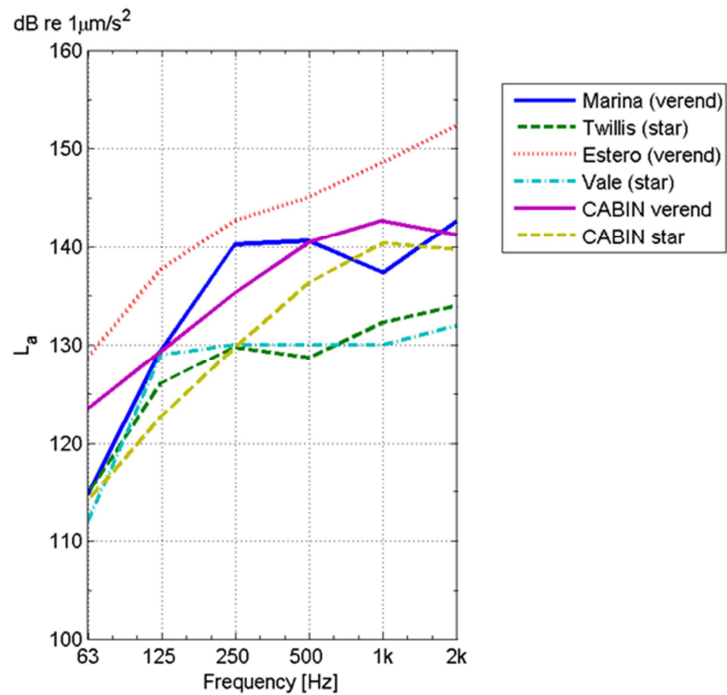
een goede vertanding. Deze figuur geeft aan dat de selectie van een stille keerkoppeling een goede geluidreducerende maatregel kan zijn. Een verschil in bronsterkte van bijvoorbeeld 10 dB zal zich direct laten vertalen naar een constructiegeluidreductie in de accommodatie ten gevolge van deze bron.



Figuur 15 – Versnellingsniveaus in 1/3 octaafbanden gemeten op de machinevoeten van de keerkoppelingen van de gemeten schepen bij maximaal toerental.

### K.2.2 Hoofdmotor

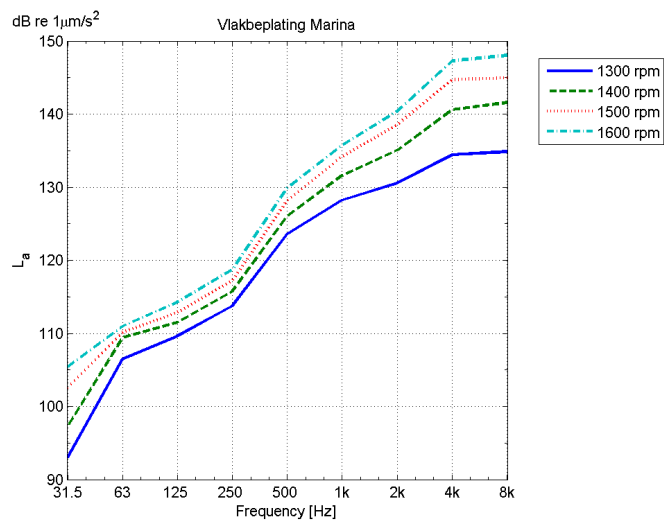
Aan boord van alle beschouwde schepen zijn versnellingen van de machinevoeten van de hoofdmotoren gemeten (zie Figuur 16). De verend opgestelde motoren trillen harder dan de star opgestelde motoren. Dit is volgens verwachting omdat verend opgestelde motoren vrijer kunnen bewegen dan star opgestelde motoren. De beide star opgestelde motoren gedragen zich nagenoeg identiek. Voor hogere frequenties zijn de bronniveaus lager dan op basis van empirische formules te verwachten zou zijn. De motor aan boord van de Estero heeft een relatief hoge bronsterkte, terwijl in de vorige paragraaf was geconstateerd dat de keerkoppeling juist relatief stil was. Door de goede verende opstelling worden de hoge bronniveaus van de hoofdmotor wel gecompenseerd, zie paragraaf 0. De bronsterkte van de motor van de Marina voldoet redelijk aan de verwachting.

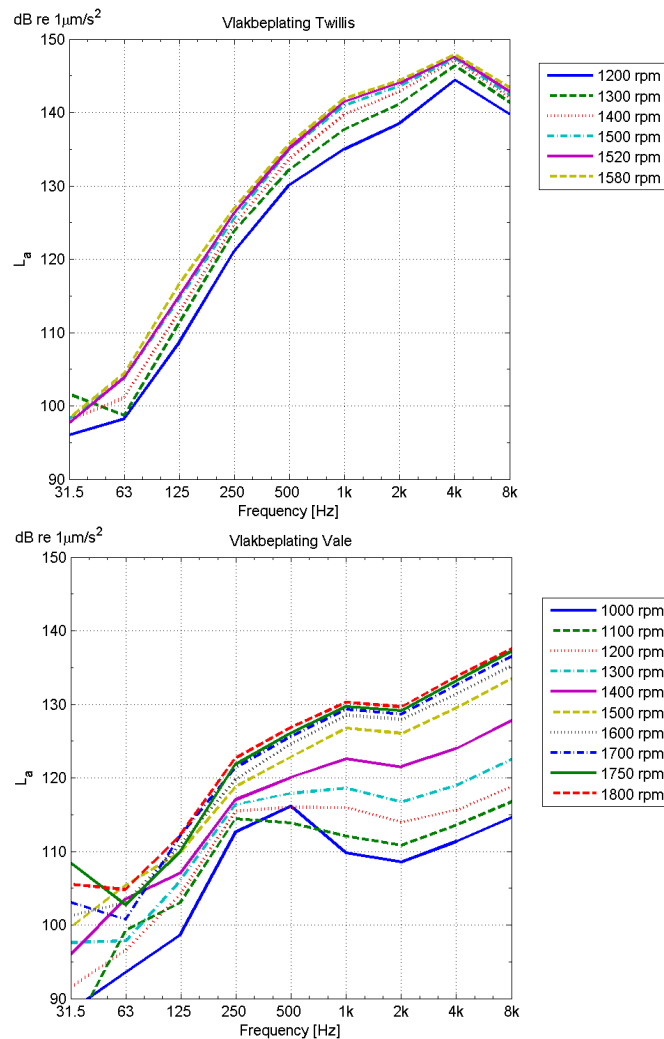


Figuur 16 – Versnellingsniveaus in 1/3 octaafbanden gemeten op de machinevoeten van de hoofdmotoren van de gemeten schepen.

### K.2.3 Vlakbeplating boven schroef

Figuur 17 toont de versnellingniveaus op de scheepsconstructie boven de schroef, bij verschillende toerentallen van de hoofdmotor. Aan boord van de Estero was het wegens een slechte bereikbaarheid van deze locatie niet mogelijk om metingen aan de vlakbeplating uit te voeren. Aan boord van de Marina en Twillis zijn aanzienlijk hogere versnellingniveaus gemeten dan aan boord van de Valé, waarschijnlijk veroorzaakt door schroefcavitatie.





Figuur 17 – Versnellingniveaus in 1/3 octaafbanden gemeten op de scheepsconstructie recht boven de schroef, bij verschillende toerentallen.

### K.3 Effecten geluidreducerende maatregelen

Op een aantal schepen waren reeds geluidreducerende maatregelen doorgevoerd, zie ook Tabel 7. In deze paragraaf wordt aan de hand van de meetresultaten de effectiviteit van deze maatregelen beoordeeld.

#### K.3.1 Zwevende vloeren en zwevend dekhuis

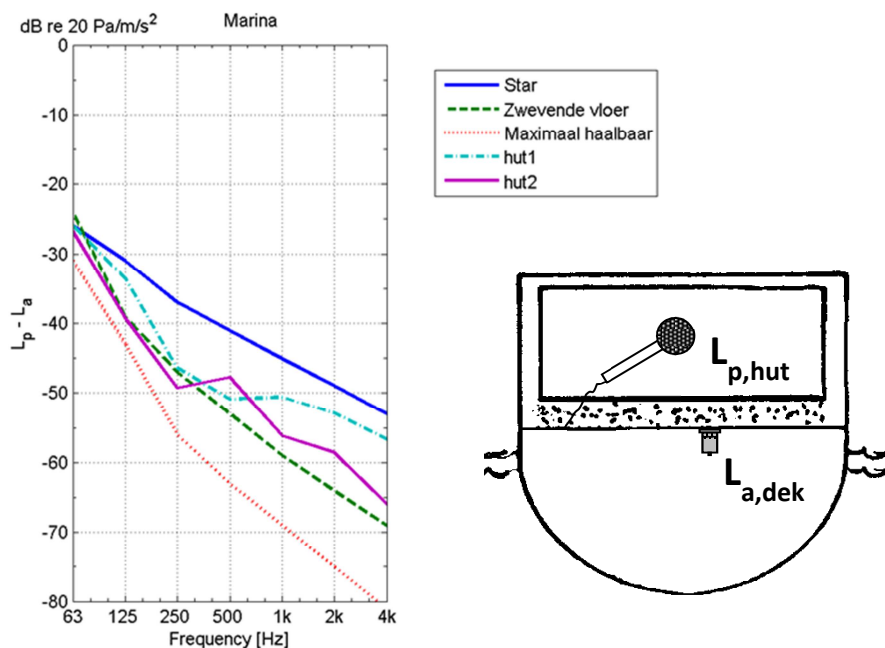
Een zwevende vloer bestaat uit een verende onderlaag, bv steenwol, en een top vloer met een bepaalde massa. De betimmering wordt dan op de vloer bevestigd, vrij staand van de staalconstructie, een zogenaamde doos-in-doos constructie. Door de verende werking van b.v. de steenwol wordt de topvloer dynamisch ontkoppeld. Hoe slapper de verende laag wordt uitgevoerd des te beter de akoestische werking zal zijn. Dit wordt meestal uitgedrukt aan de hand van de eigenfrequentie van de vloer. Bij de eigenfrequentie zal de massa van de vloer hevig gaan resoneren op de stijfheid van de verende onderlaag. Voor frequenties boven deze eigenfrequentie treedt isolatie van trillingen op. Het is dus noodzakelijk om deze eigenfrequentie zo laag mogelijk te ontwerpen, binnen praktische randvoorwaarden, voor een optimale akoestische prestatie. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat een zwevende vloer met een lage stijfheid in verband met een dikkere verende laag in het algemeen een hogere inbouwhoogte vereist, waardoor



wellicht niet meer kan worden voldaan aan de geldende eisen betreffende minimale stahoogte in de verblijven.

Om de akoestische eigenschappen van de zwevende vloer te controleren zijn tijdens de vaart aan boord van de Marina de versnellingniveaus onder de zwevende vloer (op het stalen dek) en bovenop de vloer gemeten voor hut 2. Uit deze meting is een eigenfrequentie van de vloer van 43 Hz afgeleid, hetgeen aangeeft dat de zwevende vloer relatief stijf is uitgevoerd. Het totale akoestische effect van de maatregelen die zijn genomen in de accommodatie kan worden beoordeeld op basis van de relatie tussen het aanstootniveau van het dek en het resulterende geluidrukniveau in de betreffende hut: de vibro-akoestische overdrachtsfunctie  $L_p-L_a$  als een verschil tussen geluidniveau in de accommodatie en het gemiddelde versnellingsniveau van het dek ten gevolge van alle operationele bronnen. Dit is voor de hutten 1 en 2 getoond in Figuur 18. Hoe lager de curve ligt hoe gunstiger het effect van de maatregelen is.

Vanuit de praktijk is bekend hoe de curves verlopen voor een constructie waarbij een 'standaard' zwevende vloer met een eigenfrequentie van 40 Hz is toegepast. Deze curve is geïmplementeerd in het rekenprogramma CABIN. Tevens is bekend hoe deze curve zou verlopen als er geen zwevende vloer is toegepast. De curve 'maximaal haalbaar' dient als ondergrens te worden beschouwd. Hierbij is een vloerconstructie met lage eigenfrequentie toegepast (<30 Hz) in combinatie met aanvullende maatregelen waarmee de binnenconstructie van de hut volledig is ontkoppeld van de staalconstructie, zie verder paragraaf L.3.2.1.



Figuur 18 – Vibro-akoestische overdrachtsfunctie als zijnde de verhouding tussen geluiddruk in de accommodatie en het verticale versnellingniveau van het stalen dek onder de accommodatie. Getoonde functies zijn afgeleid uit zowel de metingen als het rekenmodel CABIN.

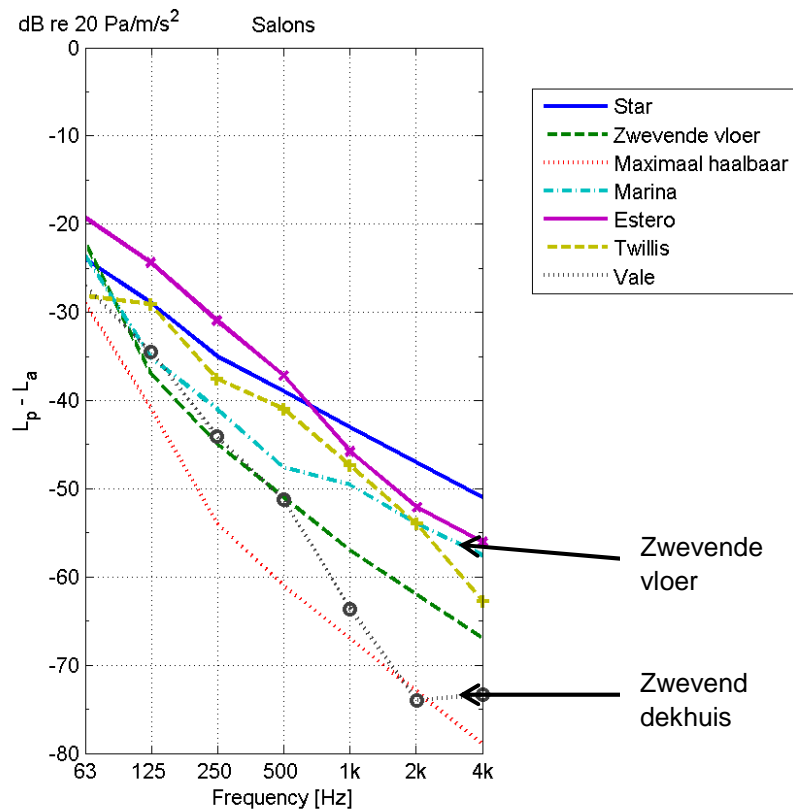
De figuur laat zien dat tot een frequentie van ca. 250 Hz, de prestatie van de zwevende vloer aan boord van de Marina voldoet aan de verwachtingen van een zwevende vloer met een eigenfrequentie van ca 40 Hz. Voor hogere frequenties zien we echter een inbreuk, resulterend in een hogere overdracht. Ook voor de salon is dit effect gevonden, zie Figuur 19. Hiervoor zijn twee mogelijke verklaringen te geven:

1. Contacten tussen de topvloer en de staalconstructie langs de randen van de vloer resulteren in akoestische kortsluiting, waardoor er via de randen nog steeds trillingen kunnen worden doorgegeven.
2. Aan boord van de Marina is een CV installatie aanwezig. In alle hutten zijn radiatoren aanwezig. Ook in de machinekamer is een radiator aanwezig die star is bevestigd aan de motorfundatie. Hierdoor kunnen trillingen via het CV leidingsysteem efficiënt doorgevoerd worden naar de radiator, die weer geluid afstraalt. Ook dit overdrachtspad is een akoestische kortsluiting die de werking van een zwevende vloer niet ten goede zal komen.

Figuur 18 toont aan dat er een betere akoestische prestatie is te bereiken met een zwevende vloer door akoestische kortsluitingen te voorkomen en door een zwevende vloer met een lage eigenfrequentie te installeren. Figuur 19 toont de vibro-akoestische overdracht voor de salon aan boord van alle schepen. Hierbij zijn dus ook uitvoeringen meegenomen zonder zwevende vloeren. Hierbij is het opvallend dat deze voor hogere frequenties hetzelfde gedrag vertonen als de uitvoering met een zwevende vloer (met akoestische kortsluiting). Wel ligt de overdracht voor de salon zonder zwevende vloer onder de verwachtingen. Dit impliceert dat in dit geval een lagere geluidsoverdracht is gemeten dan gemiddeld.

De werking van het zwevende dekhuis gedraagt zich voor lage frequenties lager dan 500 Hz als een zwevende vloer, zie zwarte curve in Figuur 19.

Op basis van de bepaalde eigenfrequentie van 10 Hz van de verende opstelling zou een betere prestatie te verwachten zijn. Dit kan optreden als de dynamische stijfheid van de ondersteuning van de veer niet hoog genoeg is ten opzichte van de stijfheid van de toegepaste veer. Voor hogere frequenties zien we een drastische daling van de overdracht, tot op het niveau van een goede zwevende vloer-constructie.



Figuur 19 – Vibro-akoestische overdrachtsfunctie als zijnde de verhouding tussen het verticale versnellingniveau van het stalen dek onder de accommodatie en het verticale versnellingniveau van het stalen dek onder de accommodatie afgeleid uit zowel de metingen als het rekenmodel CABIN.

↗ accommodatie  
↘ de functies zijn

### K.3.2 Verende opgestelde hoofdmotor

Voor twee schepen is de hoofdmotor verend opgesteld, met een flexibele koppeling tussen de uitgaande as van de motor en de ingaande as van de star opgestelde tandwielkast. Om aan boord eenvoudig een indicatie te krijgen van de prestatie van de verende opstellingen zijn versnellingniveaus boven de veer, op de motorvoeten, en onder de veer, op de fundatie, gemeten in drie orthogonale richtingen. Figuur 20 toont de resultaten voor beide motoren. Te zien is dat de trillingen van de motor goed worden geïsoleerd, met een verschil tussen de versnellingniveaus boven en onder de verende opstelling tot 20 dB voor hogere frequenties. Aan boord van de Estero worden ook voor lagere frequenties al een goede isolatie bereikt, wat duidt op toepassing van een relatief slap verende opstelling. Voor de Marina is bij 63 Hz een inbreuk te zien in de isolatie, mogelijk door resonanties in fundatie of machinevoeten.

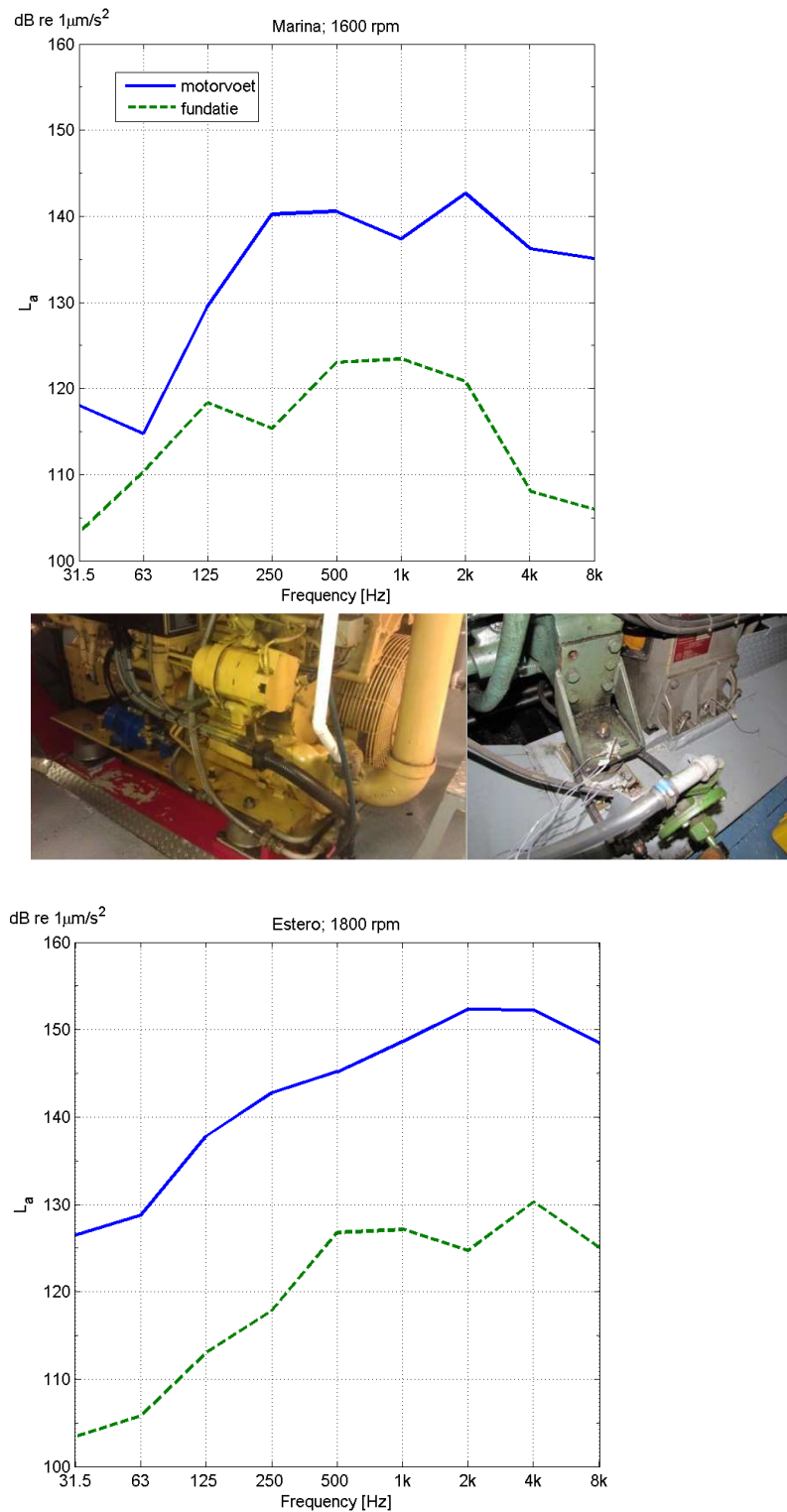
Figuur 20 toont aan dat het technisch mogelijk is om aan boord van binnenvaart schepen een goed werkende verende opstelling van de hoofdmotor te installeren. Een verende opstelling zal pas goed werken als de onderliggende scheepsconstructie akoestisch stijf genoeg is. Dit is duidelijk het geval op de onderzochte schepen. Navraag bij de schippers van de betreffende schepen leerde dat de fundatieconstructie niet extra verstijfd was voor de verende opstellingen, die bij revisie van de motor was geïmplementeerd.

Gelijktijdig met de trillingsmetingen op de hoofdmotor zijn ook luchtgeluidmetingen in de accommodatie uitgevoerd. Tijdens de meetconditie van het onbelast draaien van de hoofdmotor, op een verder stil schip mag verondersteld worden dat het gemeten geluidniveau in de hutten

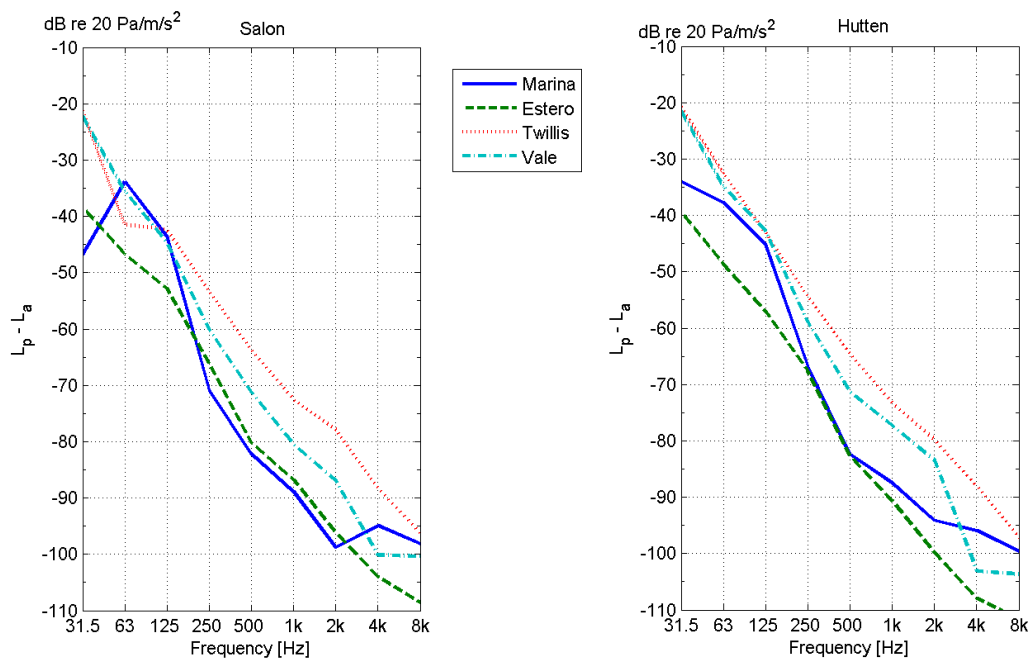
alleen afkomstig is van constructiegeluidoverdracht van de hoofdmotor, aangezien in paragraaf K.3.4 wordt aangetoond dat de luchtgeluidoverdracht kan worden verwaarloosd en er geen verdere bronnen actief zijn. Nu kunnen de constructiegeluidoverdrachten  $L_p - L_a$  gedefinieerd worden voor iedere hut, als een verhouding tussen geluiddruk in de accommodatie en de aanstoting van de motor, zie Figuur 21. Niet voor alle motoren was het mogelijk om te ontkoppelen van de keerkoppeling en de motor op te toeren. In deze gevallen is de metingen alleen bij stationair toerental uitgevoerd. Dit bleek ook een goede schatting van de verhouding tussen geluid en trillingen te geven.

De relatieve bijdrage van de motor ten opzicht van andere bronnen kan worden bepaald door de onbelaste motoroverdracht te vergelijken met de gemeten verhouding tussen het totale geluid en motortrillingen tijdens vaart.

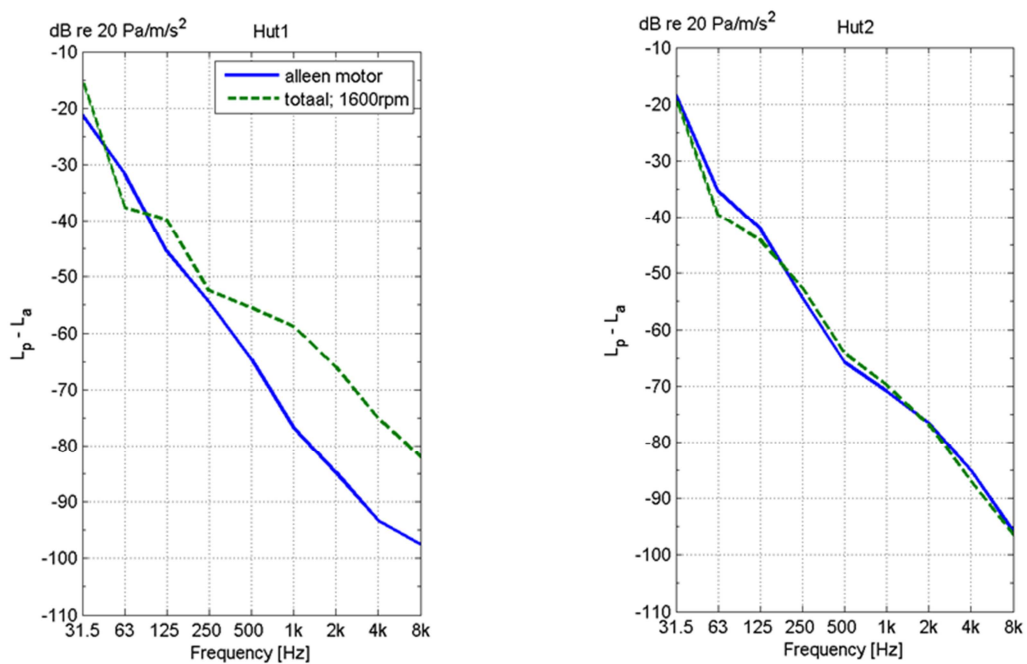
Figuur 22 toont dit voor de Twillis, met een star opgestelde motor. Voor hut 2 relatief dicht bij de motor blijkt dat het gemeten geluidsspectrum redelijk goed voorspeld kan worden met behulp van de gemeten overdracht. Dit impliceert dat de constructiegeluid bijdrage van de motor dominant is. Echter, voor hut1 in het achterste deel van de accommodatie zijn andere bronnen dan de hoofdmotor ook bepalend, te weten de keerkoppeling en de schroef. Het verend opstellen van de hoofdmotor zal voor deze hut slechts voor een geringe verbetering zorgen.



Figuur 20 – Verschil in versnellingsniveaus in 1/3 octaafbanden gemeten op de motorvoeten boven de veer en de motorfundatie onder de veer. De versnellingsniveaus boven en onder de veer zijn energetisch gemiddeld over 3 richtingen.



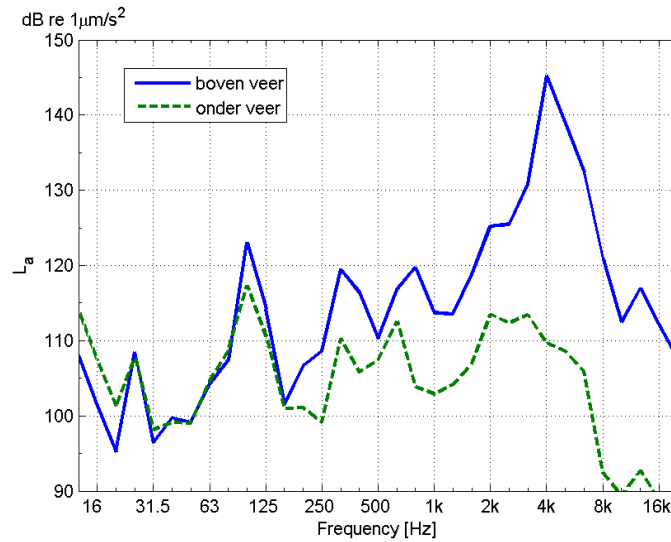
Figuur 21 – Vibro-akoestische overdrachtsfunctie als zijnde de verhouding tussen geluidsdruk in de accommodatie en het versnellingsniveau van de motorvoet, energetisch gemiddeld over 3 orthogonale richtingen, bij onbelaste hoofdmotor (HM). Getoond zijn de functies zoals bepaald aan boord van alle schepen.



Figuur 22 – Vibro-akoestische overdrachtsfunctie als zijnde de verhouding tussen geluidsdruk in de accommodatie en het versnellingsniveau van de motorvoet energetisch, gemiddeld over 3 orthogonale richtingen, bij belaste motor. Getoond zijn de functies zoals bepaald aan boord van de Twillis.

### K.3.3 Flexibel opgehangen uitlaatgassenleidingen

Figuur 23 toont het versnellingsniveau gemeten boven en onder de veer van de flexibel opgehangen uitlaatgassenleiding op het MTS Marina. Bij de belangrijkste aanstootfrequentie van de cilinderontsteekfrequentie (100 Hz band) is de isolatie zeer gering. Voor frequenties hoger dan 250-500 Hz vindt er een goede ont koppeling plaats. Dit duidt op toepassing van een te stijve veer. Ook is het van belang dat de onderliggende veerfundatie dynamisch stijf genoeg is uitgevoerd.



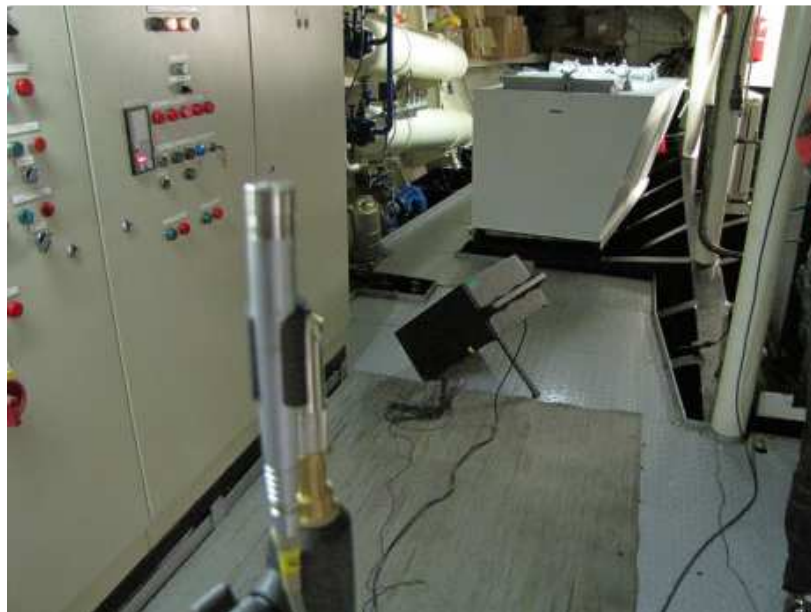
Figuur 23 – Verschil in versnellingsniveaus in 1/3 octaafbanden gemeten op de fundatie van de uitlaatgassenleiding en de kniefundatie onder de veer.

#### K.3.4 Luchtgeluidisolatiemetingen

In het algemeen wordt het geluidniveau in de accommodatie door de volgende geluidpaden bepaald:

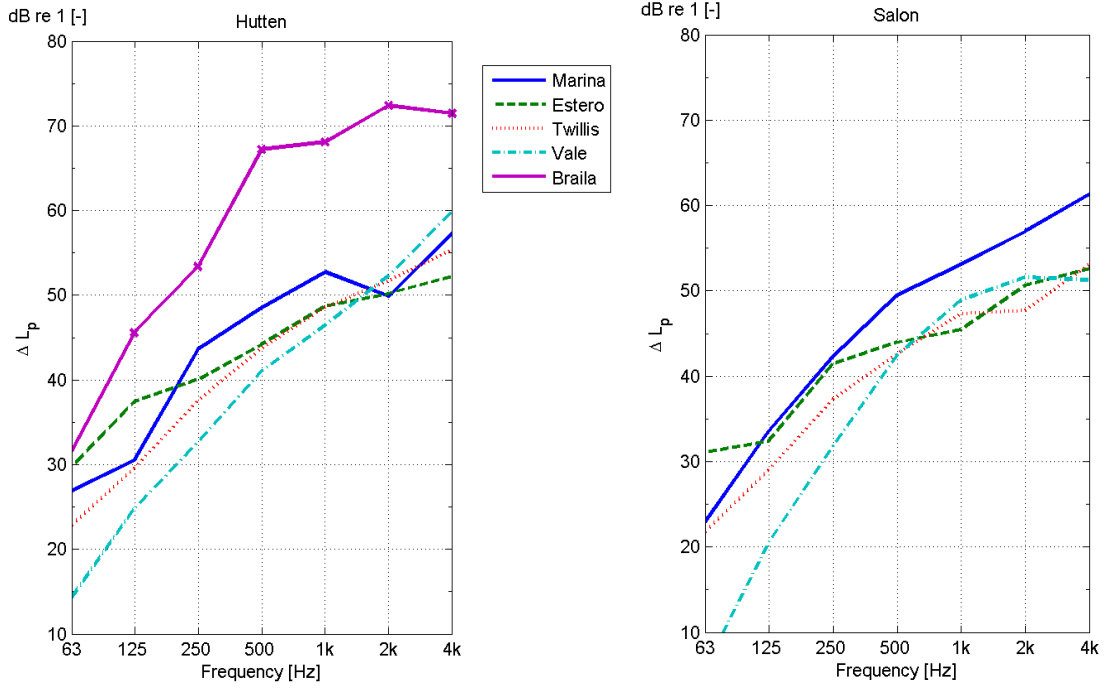
1. het luchtgeluidpad: luchtgeluid dat vanuit de motorkamer door de vloerconstructie binnendringt.
2. het constructiegeluidpad: trillingen van de werktuigen die zich door de scheepsconstructie voortplanten en resulteren in afstraling van geluid door de vloeren, wanden en plafonds van de hutten.

Om te controleren in hoeverre het luchtgeluidpad een belangrijke bijdrage levert aan de geluidniveaus aan boord is voor alle beschouwde schepen de luchtgeluidoverdracht afzonderlijk bepaald. Hierbij werd gebruik gemaakt van een luidspreker, opgesteld in de motorkamer, waaraan een ruisachtig signaal werd toegevoerd, zie Figuur 24. In Figuur 25 zijn de verschillen in geluiddruk niveau tussen motorkamer en een aantal hutten en salons weergegeven. Te zien is dat de aan boord van de Marina de hoogste isolatie is gemeten. Dit is te verklaren door de aanwezigheid van een zwevende vloer. De extra toegevoegde massa op een verende onderlaag van dit vloerenpakket verhoogt de isolatie. Ter illustratie is ook een meetresultaat aan boord van een zeewaardig binnenvaartschip (Pride of Braila) getoond, met een relatief zwaar uitgevoerde zwevende vloer. Dit toont aan dat in de praktijk hogere isolatiewaardes gevonden kunnen worden.

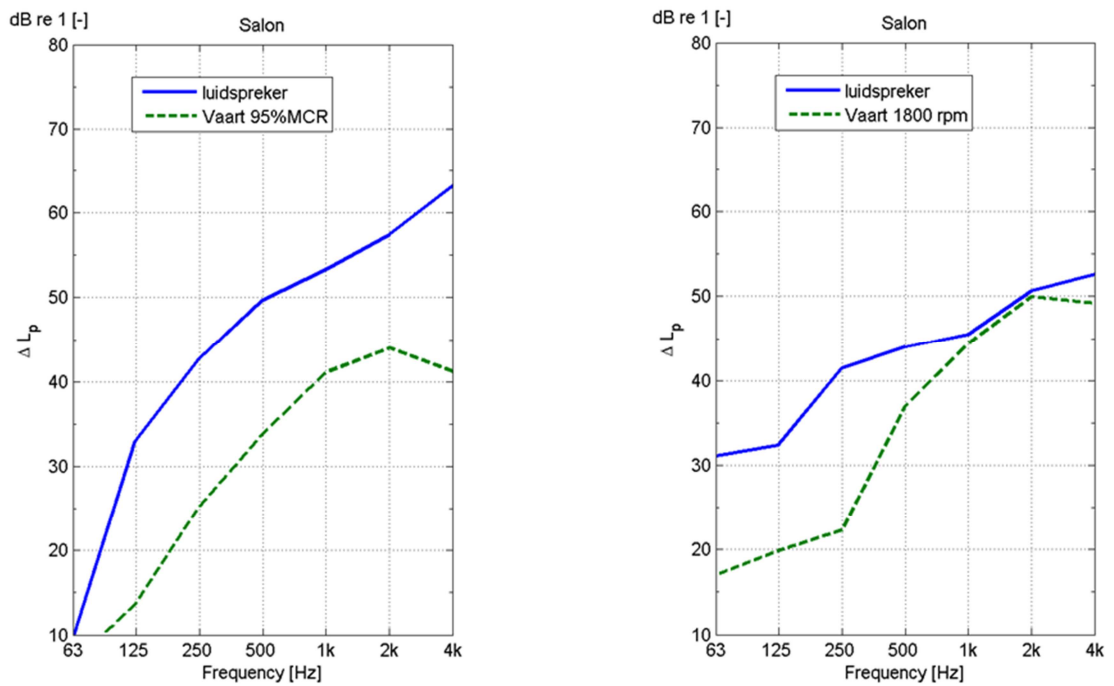


Figuur 24 – Overzicht van luidspreker opgesteld in een machinekamer.





Figuur 25 – Verschil in luchtgeluidniveaus  $\Delta L_p$ , in 1/3 octaafbanden, tussen geluidrukniveaus in de motorkamer met een luidspreker met roze ruis, en de aangrenzende accommodatieruimten.



Figuur 26 – Verschil in luchtgeluidniveaus  $\Delta L_p$ , in 1/3 octaafbanden, tussen geluidrukniveaus in de motorkamer en de aangrenzende salon, aan boord van de Marina (links) en de Estero (rechts) tijdens vaart.

In Figuur 26 zijn de verschillen in geluidrukniveau tussen motorkamer en de salons van de Marina en de Estero weergegeven. In dezelfde figuur wordt dit vergeleken met het verschil in geluidrukniveau tussen de motorkamer en de salon tijdens de vaart. Voor de Marina is over het relevante deel van het frequentiegebied het verschil bij uitsluitend luchtgeluidaanstoting veel groter dan tijdens de vaart. Dit houdt in dat tijdens de vaart andere geluidpaden dan het luchtgeluidpad bepalend zijn voor het geluidniveau in deze hut. Dit impliceert dat de luchtgeluidoverdracht van de hoofdmotoren en keerkoppelingen vanuit de motorkamer naar de accommodatie voldoende beperkt is. Toepassing van maatregelen als extra absorptie in motorkamer of omkasting van de motor zal dus geen effect hebben.

Voor de Estero zien we dat luchtgeluidoverdracht vanaf 1kHz wel een effect heeft. Bij toepassing van zwevende vloeren ligt het in de verwachting dat de luchtgeluidisolatie voldoende zal toenemen.

## L Akoestische berekeningen aan effecten van mogelijke geluidreducerende maatregelen

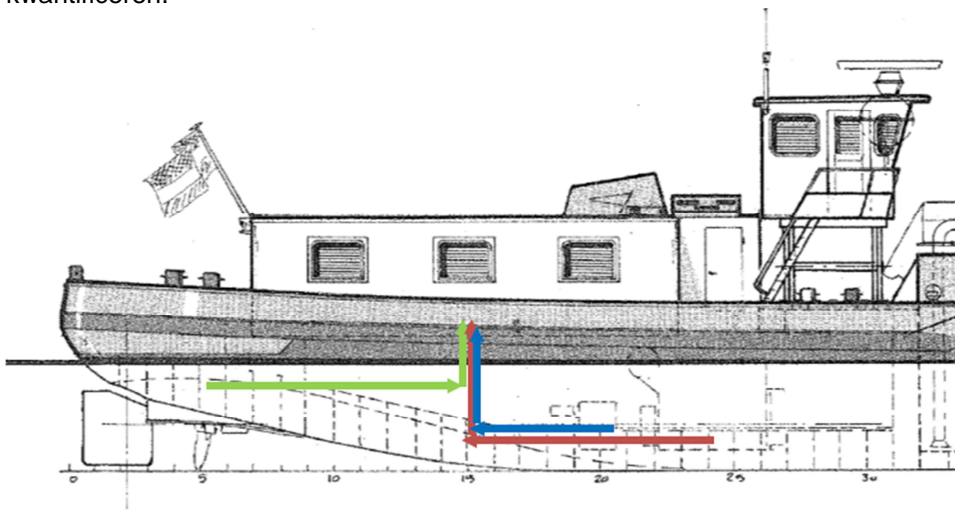
### L.1 Rekenmodel CABIN

Sinds 1970 heeft TNO een rekenmodel ontwikkeld en toegepast voor het voorspellen van geluidniveaus aan boord van schepen, CABIN. Het is een empirisch model gebaseerd op een grote hoeveelheid meetgegevens aan boord van schepen, waaronder ook binnenvaartschepen. Het model is tweedimensionaal, hetgeen betekent dat de geluidoverdracht alleen wordt berekend in een verticaal vlak in de lengterichting van het schip. Het model rekent zowel met lucht- als constructiegeluid. In horizontale richting wordt voor iedere spant een frequentieafhankelijke verzwakking op de trillingen toegepast, zoals gemeten aan boord van een populatie binnenvaartschepen. In verticale richting wordt per dekevergang een verzwakking in rekening gebracht. Daarnaast bevat het diverse empirische bronmodellen.

Juist omdat het onderhavige onderzoek de oudere generatie binnenvaartschepen betreft, de generatie waarop het CABIN model is gebaseerd, is dit model goed te gebruiken in het huidige onderzoek. De vier schepen zijn daartoe gemodelleerd in het rekenprogramma CABIN, waarbij de brongegevens waar mogelijk zijn gebaseerd op de actuele meetgegevens, zoals aangegeven in hoofdstuk 6.

De voorspelde geluidniveaus in de verblijfsruimten zijn vergeleken met de meetgegevens, hetgeen op een aantal punten tot enige bijstelling van de modellering heeft geleid. Aangezien het model een tweedimensionaal model is, volgt voor ruimten die dwarsscheeps naast elkaar liggen dezelfde voorspelling, die dan is vergeleken met het gemiddelde meetresultaat van de betreffende ruimten. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de vaarconditie bij 95%-maximum toerental en bij de gebruikelijke vaarconditie volgens opgave van de schippers (variërend van 45 tot 80% van het maximum toerental).

De in Bijlage K afgeleide bronsterktes vormen de basis om met het rekenmodel CABIN de geluidoverdracht in die schepen te modelleren en resultaten van te nemen maatregelen te kwantificeren.



Figuur 21 – Overzicht van bijdrage verschillende geluidbronnen (schroef, keerkoppeling en hoofdmotor) op het geluiddrukkniveau in de accommodatie.

## L.2 Rekenresultaten in vergelijking tot meetresultaten

In Tabel 23 is een overzicht gegeven van de rekenresultaten, na aanpassingen, in vergelijking met de meetresultaten. In Figuur 27 t/m Figuur 30 is dat ter illustratie ook gedaan voor de octaafbandgegevens. Bij de Marina is volgens het model de keerkoppeling de belangrijkste bron, bij de Estero de hoofdmotor, gevolgd door de keerkoppeling, bij de Twillis de motor en daarna keerkoppeling en schroef en bij de Valé motor en keerkoppeling.

Tabel 23 – Berekende en gemeten A-gewogen geluidniveaus in verblijfsruimten (woonkamer=wk en hutten) aan boord van vier binnenvaartschepen.<sup>\*)</sup>

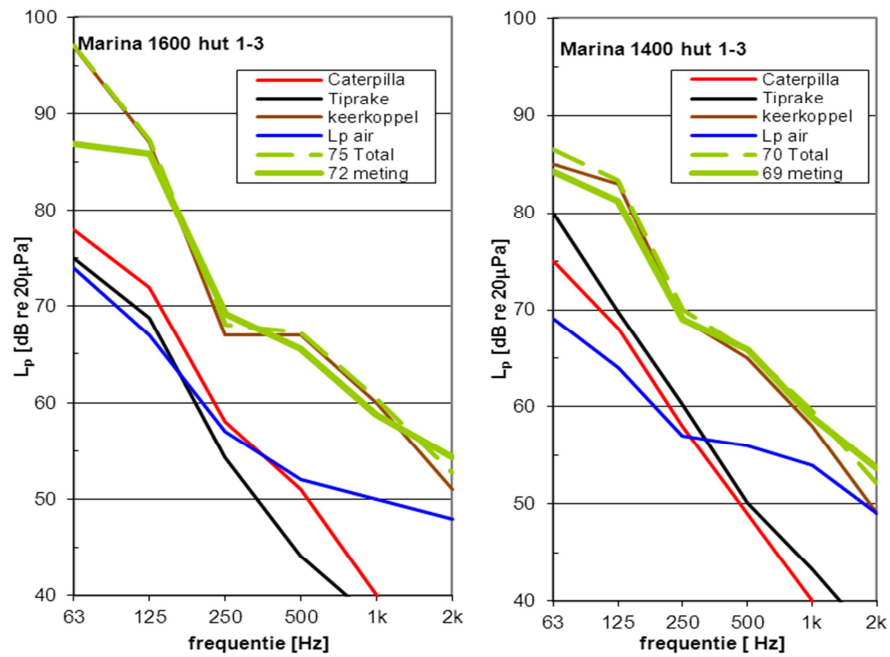
<b>Marina</b>	CABIN	meting	CABIN	meting	<b>Estero</b>	CABIN	meting	CABIN	meting
toeren		1600		1400	toeren		1700		1300
Salon	73	76	69	74	Salon	75	75	71	70
hut1-3	75	72	70	69	hut 2-3	69	78	67	73
hut2-4	79	75	74	70	hut 1	74	69	70	66
<b>Twillis</b>	CABIN	meting	CABIN	meting	<b>Valé</b>	CABIN	meting	CABIN	meting
toeren		1500		1300	toeren		1700		1300
Salon	78	78	73	74	Salon	73	68	65	66
hut 1	78	81	74	77	hut1-2	76	70	68	65
hut 2-3	79	73	74	70					

\*) Voor Twillis is bij de woonkamer en hut 2-3 vanaf 63 Hz 0 dB, 5 dB en voor hogere frequenties 10 dB extra verzwakking aangehouden voor motor en keerkoppeling; waardoor deze blijkbaar aanwezige extra verzwakking in de scheepsconstructie optreedt is niet duidelijk.

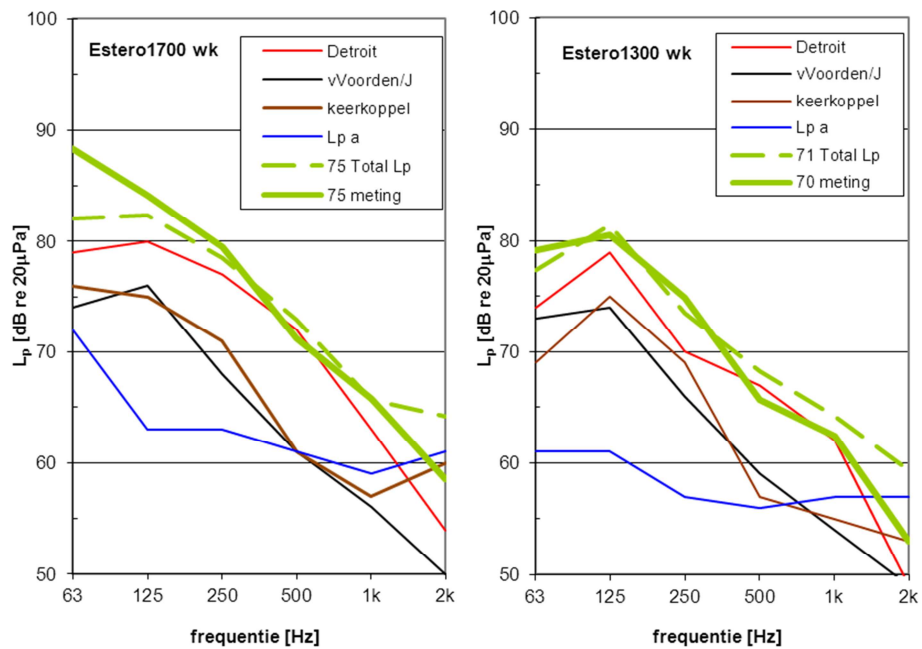
Bij Estero lijkt voor hut 2-3 een extra bron aanwezig die niet in het model is meegenomen; de nadere analyse van de meetgegevens duidt op een bijdrage van constructiegeluid via de uitlaatleiding, zie ook paragraaf K1.3 en K.3.3.

Als hut 2-3 van de Estero buiten beschouwing wordt gelaten is de gemiddelde voorspelling met het model CABIN ongeveer 1 dB(A) hoger dan het meetresultaat met een standaarddeviatie van ca. 3 dB.

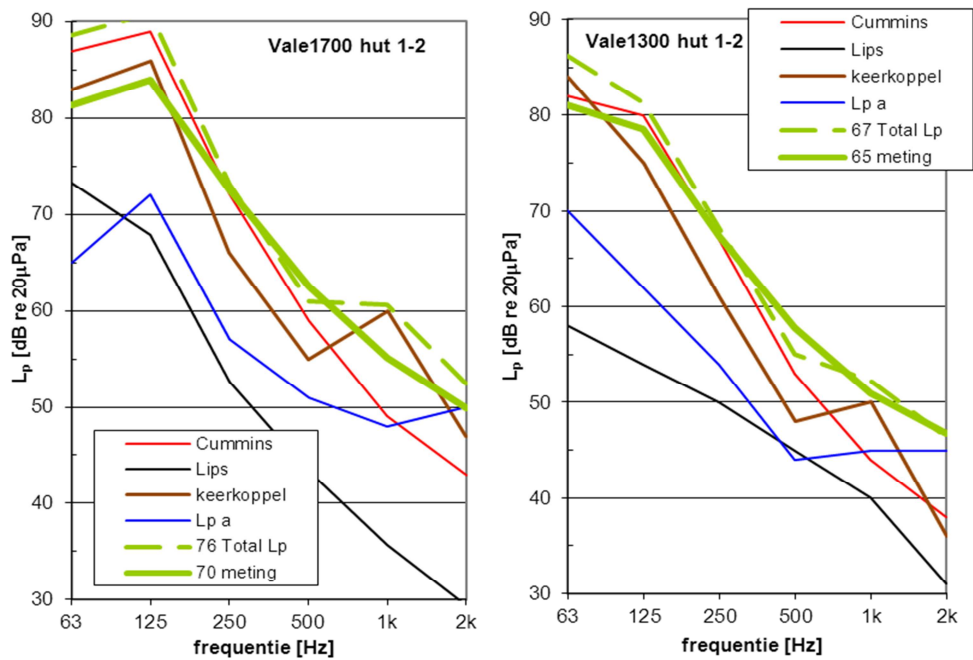
De schroef is in alle gevallen op grond van vermogen gemodelleerd, de herleiding van de bronsterkte uit de trillingen van de vlakbeplating resulteerde in te hoge, onrealistische niveaus, voor hoge frequenties, die slecht correleerden met de metingen. Voor de Marina bleek dit schroefmodel voor de lage frequenties qua orde van grootte wel overeen te stemmen met de metingen.



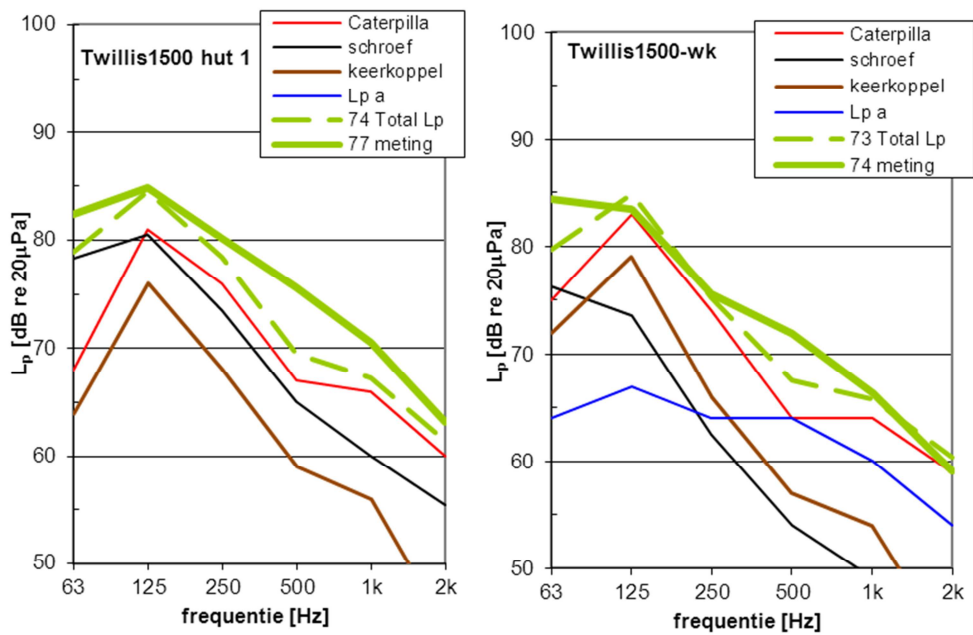
Figuur 27 – Bijdrage bronnen en totaal geluidniveau vergeleken met metingen; hut 1-3, Marina bij 1600 en 1400 rpm.



Figuur 28 – Bijdrage bronnen en totaal geluidniveau vergeleken met metingen; woonkamer, Estero bij 1700 en 1300 rpm.



Figuur 29 – Bijdrage bronnen en totaal geluidniveau vergeleken met metingen; hut 1-2, Valé bij 1700 en 1300 rpm.



Figuur 30 – Bijdrage bronnen en totaal geluidniveau vergeleken met metingen; hut 1 en woonkamer, Twillis bij 1500 rpm; voor woonkamer met overdrachtscorrectie van 0 tot 10 dB.

### L.3 Effect van geluidreducerende maatregelen

Het in de vorige paragraaf opgestelde model van de huidige uitvoering van de vier schepen is vervolgens gebruikt om effecten van mogelijke maatregelen door te rekenen.

#### L.3.1 Geluidreducerende maatregelen in CABIN

Deze paragraaf geeft een overzicht van de verschillende eigenschappen van geluidreducerende maatregelen zoals geïmplementeerd in CABIN.

##### L.3.1.1 Verende opstelling voor hoofdmotor en keerkoppeling

CABIN maakt onderscheid tussen twee types verende opstellingen:

- Stijf-verend met een verticale eigenfrequentie van de opstelling van 30-50 Hz, verzwakking van 7 dB gemiddeld over de octaafbanden.
- Slap-verend met een verticale eigenfrequentie van de opstelling van 10-15 Hz, verzwakking van 12 dB gemiddeld over de octaafbanden.

##### L.3.1.2 Zwevende vloeren

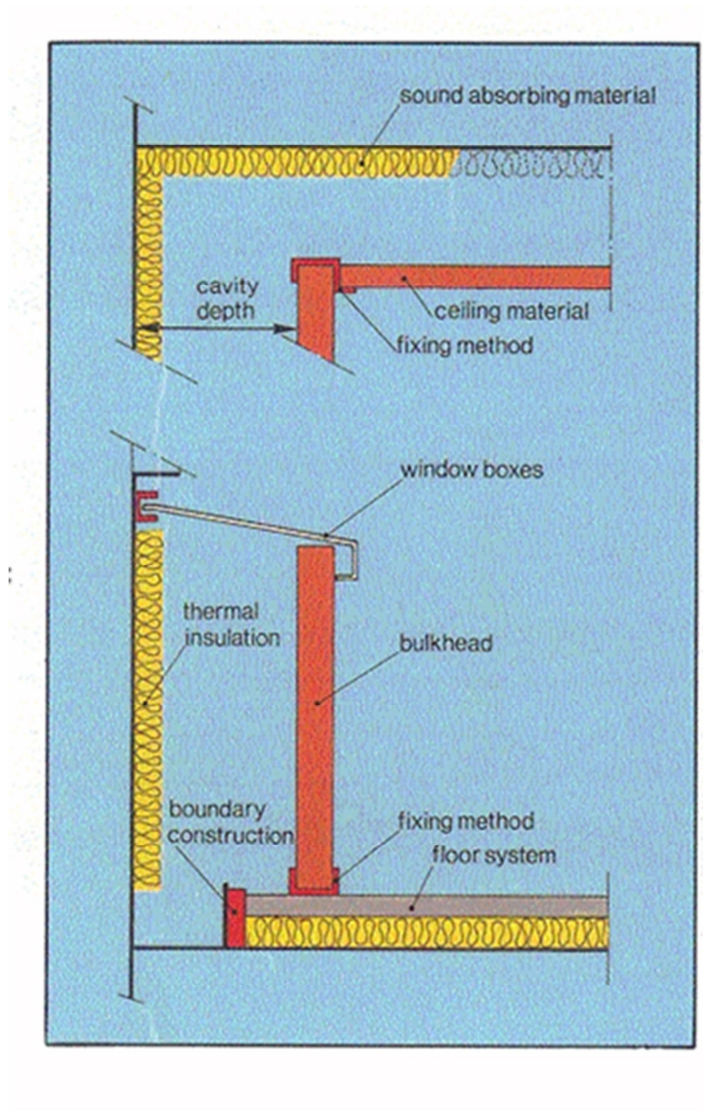
CABIN kent verschillende gradaties van een zwevende vloer:

Standaard zwevende vloer

- Zwevende vloer met een verticale eigenfrequentie van ca. **40 Hz**; Typische opbouw: 50 mm steenwol (dynamische stijfheid  $5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ); 20 mm topvloer van ca  $70 \text{ kg/m}^2$ , totale pakket dikte: 70 mm
- *Wanden*: geïnstalleerd (in b.v. U-profielen) boven op de zwevende vloer, zonder starre verbindingen met de staal constructie.
- *Plafond*: opgehangen tussen de wanden met flexibele bevestiging aan de staalconstructie.

Slappe zwevende vloer met aanvullende maatregelen: *Zwevende vloer extra*, zie Figuur 31

- Zwevende vloer met een verticale eigenfrequentie van max **30 Hz**; Typische opbouw: 60 mm steenwol (dynamische stijfheid  $7 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ); 30 mm topvloer van ca  $70 \text{ kg/m}^2$ , totale pakket dikte: 90 mm
- *Wanden*: sandwich panels geïnstalleerd op de zwevende vloer, vrij van de staal constructie; 150 mm spouw tussen betimmering en staal constructie met ca. 50 mm absorptiemateriaal in de spouw;
- *Plafond*: geluidabsorberend plafond; opgehangen tussen de wanden met flexibele bevestiging aan de staalconstructie;
- *Raam*: Voorzien van extra voorzetraam als onderdeel van de betimmering.



Figuur 31 – Schematisch overzicht van een zwevende vloer met aanvullende maatregelen.

#### L.3.1.3 Luchtgeluidoverdracht

Luchtgeluid vanuit de machinekamer levert bij geen van de schepen een significante bijdrage, zoals ook al was geconcludeerd uit de metingen met de luidsprekers in paragraaf K.3.4.

#### L.3.1.4 Berekende effect van maatregelen in CABIN

In Tabel 24 en Tabel 25 zijn de resultaten gegeven van enkele berekende maatregelen teneinde aan de eisen te kunnen voldoen. Alle maatregelen worden verondersteld overeen te komen met de gegevens dienaangaande in het programma CABIN.



Tabel 24 – A-gewogen geluidniveaus in verblijfsruimten bij aangegeven maatregelen (groen voldoet); **95% MCR**.  
HM=hoofdmotor, KK=keerkoppeling.

<b>Marina</b>	KK slap verend	HM+KK slap verend	+ zwevende vloer extra
Salon	65	64	
Hut 1-3	66	65	59
Hut 2-4	71	70	63
<b>Twillis</b>	HM slap verend+KK stijf verend	+ zwevende vloer	
Salon	70	56	
hut 1	64	55	
hut 2-3	70	60	
<b>Estero</b>	HM slap verend	+zwevende vloer	zwevende vloer extra
Salon	72	62	58
hut 2-3	68	58	53
hut 1	71	61	57
<b>Valé *)</b>	HM + KK slap verend		
Salon	64		
hut 1-2	65		

\*) de basisberekeningen zijn hier 5 dB(A) hoger dan gemeten; waarschijnlijk resulteren deze maatregelen dan ook hier in niveaus onder 60 dB(A)

Tabel 25 – A-gewogen geluidniveaus in verblijfsruimten bij aangegeven maatregelen (groen voldoet); gemiddelde voorconditie, HM=hoofdmotor, KK=keerkoppeling.

<b>Marina</b>	KK slap verend	HM+KK slap verend	+ zwevende vloer extra
Salon		64	
Hut 1-3		61	54
Hut 2-4		65	58
<b>Twillis</b>	HM slap verend + KK stijf verend	+ zwevende vloer	
Salon	67	56	
hut 1	60	51	
hut 2-3	68	56	
<b>Estero</b>	HM slap verend	+ zwevende vloer	alleen zwevende vloer
Salon	69	59	65
hut 2-3	66		58
hut 1	68		60
<b>Valé *)</b>	HM +KK slap verend		
Salon	57		
hut 1-2	58		

Voor de Marina is het voor de salon voldoende om de keerkoppeling slap verend (zoals gedefinieerd in CABIN) op te stellen, maar voor de hutten is het noodzakelijk de accommodaties van een zwevende vloer met aanvullende maatregelen te voorzien. Deze laatste optie zou op zich voor de salon ook voldoende zijn. Dit maatregelenpakket is zowel bij 95% MCR als bij 60-70 % MCR noodzakelijk. In eerste instantie lijkt deze maatregel voor hut 4 nog niet voldoende te zijn, maar in K.1.1. is aangetoond dat het uitlaatsysteem (niet opgenomen in het model) ook een bijdrage levert aan het geluidniveau in deze hutten. Uitgaande van een goede verende opstelling als aanvullende maatregel ligt het in de verwachting dat de eis wel gehaald kan worden.

Bij de Twillis moet om in de salon aan de geluideis te kunnen voldoen de hoofdmotor slap verend en de keerkoppeling minimaal stijf verend worden opgesteld. Daarnaast moeten de hutten, met strengere geluideisen, ook van een zwevende vloer worden voorzien.

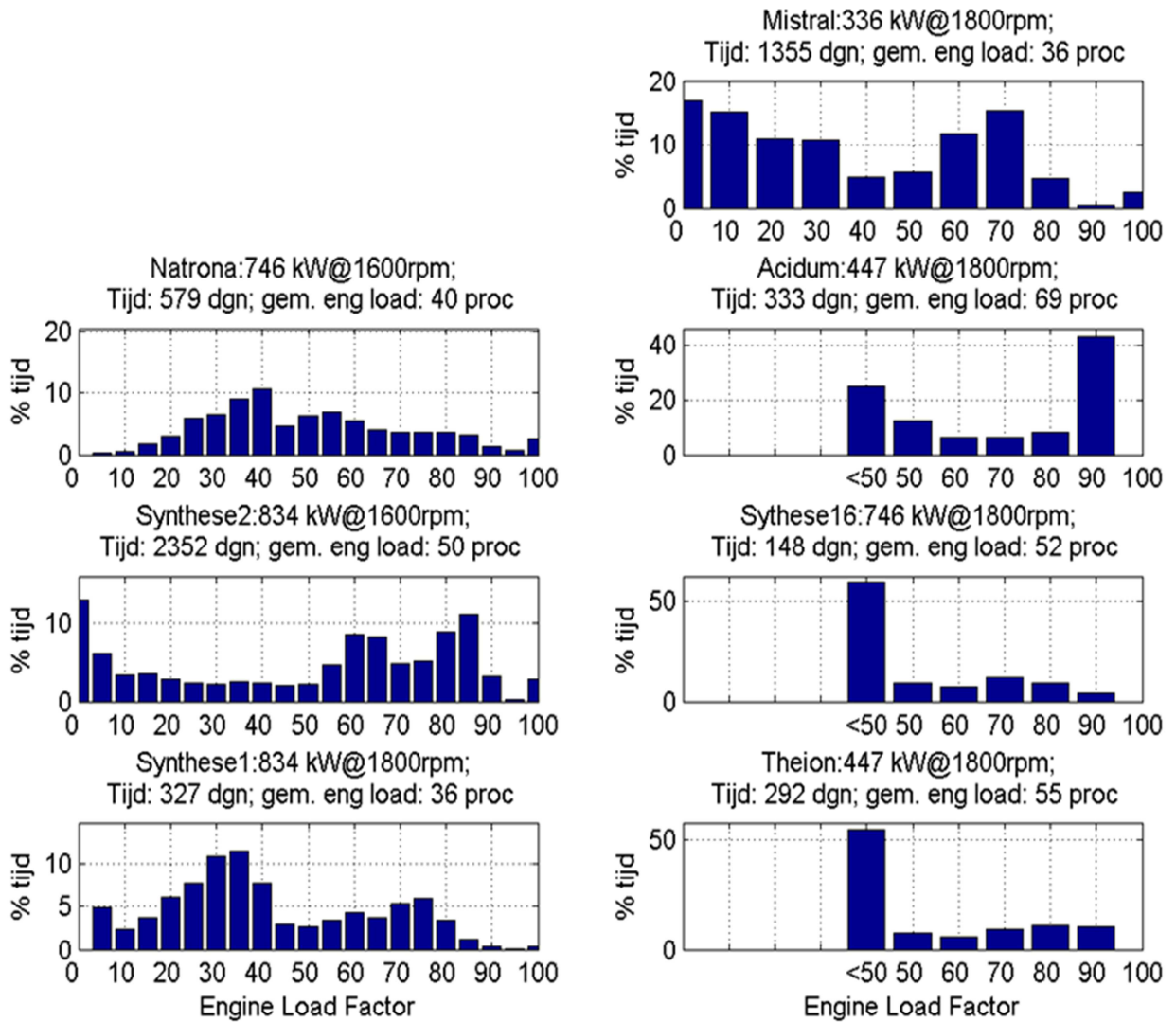
Bij de Estero is de bijdrage van de motor, ondanks een goed werkende verende opstelling relatief hoog. Dit komt door de relatief hoge bronniveaus van de hoofdmotor, zie paragraaf K.2.2. Om dit te compenseren moeten de hutten van een zwevende vloer met aanvullende maatregelen worden voorzien.

Bij de Valé moeten motor en keerkoppeling slap verend worden opgesteld. Aanvullende zwevende vloeren lijken niet noodzakelijk omdat het dekhuis verend is opgesteld,

Zoals uit de nadere analyse van de meetgegevens blijkt is op de meeste schepen de kwaliteit van de keerkoppeling matig, zie K.2.1. Als de bronsterkte van de keerkoppeling gereduceerd kan worden door toepassing van een stille uitvoering van een keerkoppeling, kan hiermee een reductie van 5 tot 10 dB worden gerealiseerd. Dus zou bijvoorbeeld de noodzaak van een slap verende opstelling kunnen veranderen in een stijf verende opstelling.

In Tabel 12 zijn de mogelijke maatregelen in algemene zin samengevat met de bereikbare geluidreductie.

## M Verdeling van bedrijfscondities over bedrijfstijd

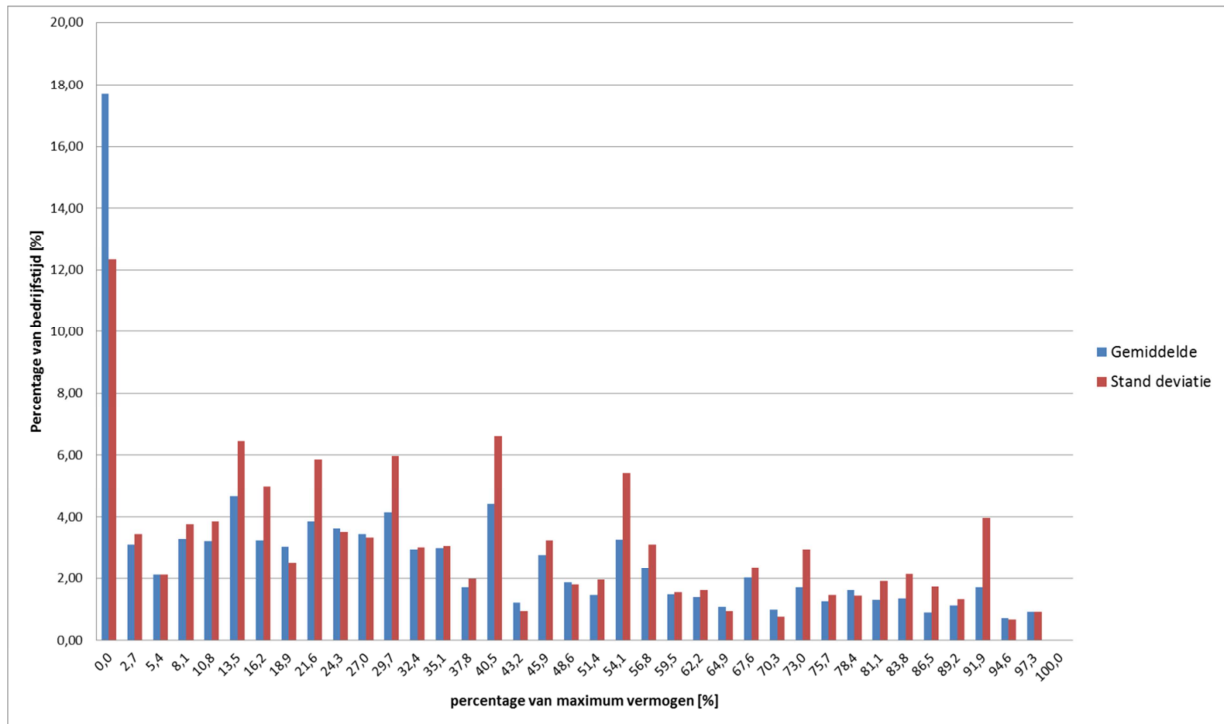


Figuur 32 - Verdeling van bedrijfscondities over de totale bedrijfstijd, verkregen uit statusrapporten van elektronische motorbewakingssystemen van negen schepen van de rederij Wijgula.

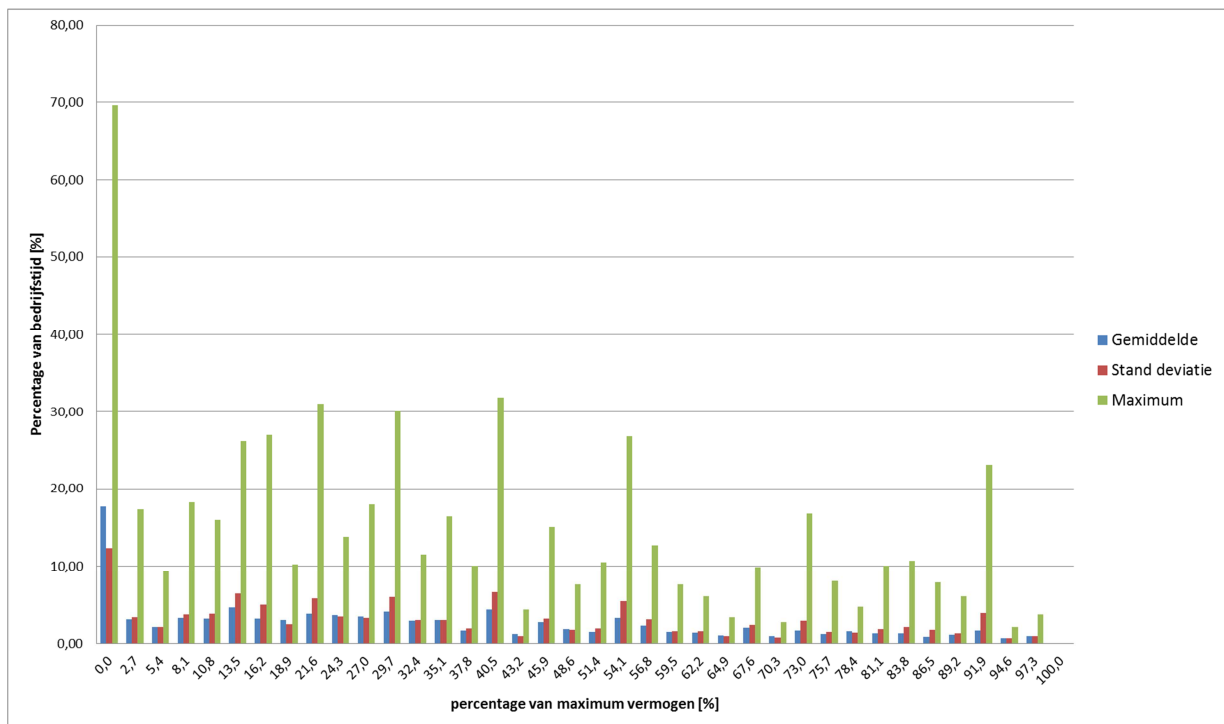
## N Verdeling van vermogensgebruik herleid uit positiedata van de Marine Traffic website

Tabel 26 – Verdeling (in tijdspercentage) van het vermogensgebruik van 33 binnenvaartschepen afgeleid uit verplaatsingsgegevens van de Marine Traffic website

% MCR	0,0	2,7	5,4	8,1	10,8	13,5	16,2	18,9	21,6	24,3	27,0	29,7	32,4	35,1	37,8	40,5	43,2	45,9	48,6	51,4	54,1	56,8	59,5	62,2	64,9	67,6	70,3	73,0	75,7	78,4	81,1	83,8	86,5	89,2	91,9	94,6	97,3	100,0	Gemid.
Schip nr. 1	23,2	17,3	0,2	0,1	4,3	18,2	0,3	6,7	0,1	0,0	0,9	2,0	7,5	1,2	0,8	0,4	0,2	5,1	2,5	0,1	0,1	0,8	0,0	0,0	0,1	0,8	0,1	5,0	1,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	19,0
Schip nr. 2	10,6	0,8	1,2	0,3	0,3	0,4	5,1	0,4	1,5	0,6	18,0	30,1	11,5	1,3	1,2	2,0	0,7	0,6	0,5	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	1,2	0,0	1,7	1,4	1,4	1,7	0,0	0,6	0,6	0,0	0,5	0,0	31,3
Schip nr. 3	11,7	1,6	1,6	2,4	2,0	1,9	1,6	4,9	6,7	10,4	1,5	1,6	2,6	8,3	2,6	1,6	1,1	2,2	2,4	1,2	2,3	1,6	1,7	1,5	2,7	2,8	1,5	2,1	1,0	3,9	1,0	1,1	0,0	3,4	1,3	1,0	1,4	0,0	37,9
Schip nr. 4	18,5	3,8	1,9	1,3	1,8	26,1	1,2	1,1	1,3	10,2	1,0	2,1	0,4	0,9	1,1	1,4	0,8	2,1	1,0	0,8	0,8	1,1	2,0	0,5	0,8	0,6	1,1	3,9	2,7	0,9	0,0	0,8	1,0	0,5	3,4	0,5	0,4	0,0	27,7
Schip nr. 5	14,8	4,8	4,7	7,2	15,9	24,9	8,0	5,6	1,8	0,9	0,5	1,2	0,7	0,7	0,3	0,5	1,3	0,4	0,9	0,2	0,7	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,7	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	14,8
Schip nr. 6	15,1	9,8	4,3	4,9	1,6	4,3	2,5	5,0	2,4	1,9	1,9	4,9	8,5	2,0	10,1	2,0	0,7	1,0	0,4	0,9	0,4	0,5	0,7	1,0	1,2	1,0	1,3	1,3	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7	1,0	1,3	0,9	0,9	0,0	27,6
Schip nr. 7	36,8	1,7	1,5	1,2	0,6	1,4	0,8	2,6	4,8	2,8	0,6	3,3	2,3	7,2	0,8	1,8	0,7	1,2	1,9	1,9	0,6	1,0	0,9	3,5	2,4	1,8	0,3	0,6	0,3	0,6	1,2	0,4	0,9	3,3	1,5	2,2	2,6	0,0	29,8
Schip nr. 8	14,3	1,3	1,4	1,0	1,0	0,6	0,7	0,6	1,1	1,8	0,9	0,6	1,5	1,5	0,8	15,8	1,6	2,5	4,0	1,1	1,4	11,2	5,5	0,9	1,7	1,6	0,2	16,8	0,5	1,1	0,5	0,8	0,0	1,3	0,7	1,0	1,0	0,0	45,2
Schip nr. 9	12,8	4,6	9,3	18,2	5,8	5,3	6,9	4,4	2,4	2,4	7,9	1,3	1,2	1,3	2,5	1,3	0,6	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,9	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3	6,1	0,2	0,4	0,3	0,0	20,9
Schip nr. 10	9,5	1,1	0,8	0,1	1,6	0,4	0,3	0,2	0,5	0,3	4,4	0,6	2,3	1,5	1,3	2,3	2,0	2,4	3,5	10,6	11,5	5,1	2,4	5,4	0,0	6,0	1,9	2,0	0,0	4,5	3,2	0,0	6,5	0,0	4,3	1,4	0,0	0,0	51,5
Schip nr. 11	7,9	0,5	0,6	0,7	1,2	8,2	2,6	7,4	3,4	1,9	3,3	12,3	1,7	4,5	6,9	4,0	0,5	12,0	0,6	0,8	1,5	0,7	0,6	0,6	0,8	1,0	2,6	0,7	0,6	1,1	0,4	0,7	0,7	1,5	4,2	0,0	1,3	0,0	36,5
Schip nr. 12	19,1	1,0	1,3	9,0	1,8	4,6	2,3	2,5	1,6	5,8	5,3	2,7	1,6	1,2	0,5	3,0	0,7	2,2	7,6	3,9	8,4	1,7	0,7	0,5	0,8	2,1	0,4	0,9	0,6	0,7	0,5	0,5	0,8	0,0	0,9	2,1	0,7	0,0	31,0
Schip nr. 13	13,3	4,2	3,7	5,0	2,4	2,6	4,3	3,4	1,3	2,6	1,0	0,4	0,6	4,5	0,8	2,2	1,3	2,6	4,6	1,2	7,0	1,3	1,4	6,1	1,2	2,9	2,8	1,2	1,4	4,5	2,3	1,4	0,0	2,1	0,7	1,1	0,7	0,0	38,0
Schip nr. 14	69,6	2,2	0,1	0,1	0,0	0,1	27,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	5,0
Schip nr. 15	8,7	4,8	5,1	5,1	1,9	1,6	2,6	7,6	1,3	2,9	6,9	1,2	0,6	1,8	1,0	2,4	1,8	2,6	1,0	1,6	2,0	1,8	1,5	5,4	1,7	9,9	0,9	2,0	1,2	1,0	0,8	4,2	0,7	1,0	0,4	0,0	3,1	0,0	38,6
Schip nr. 16	16,1	2,3	1,4	2,0	1,2	1,7	1,6	1,4	13,4	3,6	2,7	0,9	5,7	3,7	1,7	2,8	1,8	2,7	1,7	1,1	4,0	4,6	1,6	1,1	2,0	3,0	1,4	1,4	1,8	2,0	1,4	1,3	0,0	1,2	1,2	1,2	1,1	0,0	35,6
Schip nr. 17	17,0	2,1	1,0	0,8	2,9	3,7	0,4	2,4	1,0	2,8	0,8	0,6	0,5	1,3	0,6	4,6	3,3	5,5	2,8	2,0	26,8	4,0	0,7	0,8	0,9	0,6	0,6	0,6	0,5	4,8	0,6	0,3	1,3	0,6	0,6	0,0	0,4	0,0	38,7
Schip nr. 18	14,8	2,8	1,4	2,8	1,6	2,7	1,3	2,1	1,1	1,3	1,6	2,6	1,8	3,4	3,2	5,4	2,0	4,8	1,0	0,8	2,9	0,9	1,1	1,2	1,9	1,3	1,3	2,2	1,9	3,8	3,1	7,0	8,0	1,7	1,6	0,0	1,7	0,0	44,8
Schip nr. 19	18,9	1,7	1,3	1,0	1,6	1,2	0,8	1,6	0,7	1,3	3,1	1,7	0,8	5,1	0,8	1,6	0,4	15,1	1,0	1,0	15,1	12,7	1,1	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	0,4	0,3	0,3	1,3	0,6	0,3	0,6	0,0	2,5	0,0	38,4
Schip nr. 20	16,2	2,7	2,9	9,5	2,0	2,8	1,6	2,6	2,4	2,2	3,9	11,9	2,9	3,6	0,6	3,5	0,9	0,7	1,2	0,8	0,7	6,7	1,0	2,0	0,6	1,7	1,7	0,8	1,2	1,6	1,3	1,6	1,3	0,0	1,2	0,8	0,9	0,0	31,3
Schip nr. 21	11,0	4,4	0,8	3,1	14,3	2,2	0,8	1,8	1,2	3,6	3,7	1,1	6,1	0,9	1,4	10,5	1,0	1,0	0,5	0,6	3,5	2,6	1,5	0,7	0,3	2,1	0,7	0,4	0,5	2,7	10,1	0,4	0,0	1,7	1,0	1,5	0,3	0,0	35,9
Schip nr. 22	21,3	3,3	1,6	5,9	4,5	5,2	5,8	4,0	3,9	5,6	4,9	1,9	3,0	2,4	1,9	2,0	0,7	1,9	0,6	0,6	1,5	0,9	1,2	0,9	0,9	2,1	1,2	0,9	1,2	1,7	1,3	1,3	0,0	1,6	1,1	0,9	0,5	0,0	26,9
Schip nr. 23	11,4	1,6	1,1	1,1	1,6	2,2	1,6	2,2	2,2	3,0	3,5	2,9	6,6	3,1	3,1	6,2	4,4	3,0	2,9	3,0	5,1	2,5	2,7	3,6	2,6	1,9	0,0	3,6	3,3	1,7	1,8	1,1	0,0	1,6	0,8	0,9	0,0	0,0	40,4
Schip nr. 24	12,3	1,3	1,4	1,1	0,6	0,8	1,3	0,8	1,3	2,5	2,0	0,9	1,6	1,8	0,8	31,9	0,9	2,4	1,2	1,6	2,7	1,7	1,7	1,9	1,2	7,2	2,1	1,6	1,9	1,0	1,0	1,3	0,0	1,3	1,4	2,0	1,5	0,0	42,6
Schip nr. 25	18,1	1,9	1,5	1,8	1,5	2,1	1,2	1,5	1,8	2,6	2,8	2,9	1,3	3,0	1,5	2,4	1,4	2,5	4,9	2,1	2,2	2,4	2,3	2,3	3,1	2,3	2,4	2,4	1,9	2,1	2,0	10,7	1,9	0,0	1,1	1,2	1,0	0,0	42,7
Schip nr. 26	8,6	1,6	0,8	1,3	11,7	0,5	0,9	0,9	1,0	10,8	3,6	11,4	10,9	0,6	0,8	1,0	0,3	0,5	0,8	1,3	1,5	7,5	1,0	0,5	3,4	0,7	0,5	0,4	8,1	1,6	0,0	0,4	0,3	0,7	0,0	0,4	3,8	0,0	36,8
Schip nr. 27	44,8	10,4	7,8	3,1	1,0	5,2	0,1	1,7	1,2	0,0	3,0	0,1	2,1	1,5	2,7	2,3	0,0	1,2	5,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,6	0,0	0,2	4,6	0,1	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	14,5
Schip nr. 28	17,9	0,9	1,2	7,9	6,9	4,4	3,8	10,3	8,9	4,5	6,9	4,5	2,2	2,2	1,4	1,7	1,0	0,9	0,3	0,4	1,7	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,6	0,3	0,3	1,0	0,4	0,7	0,5	3,1	0,6	0,0	0,6	0,0	23,8
Schip nr. 29	12,2	1,4	2,3	4,5	4,2	10,6	3,6	7,3	4,4	5,0	7,0	5,0	2,7	3,1	2,3	2,9	0,7	1,8	0,8	1,8	0,6	0,5	0,6	1,1	1,0	0,9	1,1	1,3	1,1	1,3	1,0	0,9	0,9	0,8	1,2	0,8	0,0	28,9	
Schip nr. 30	1,3	0,5	0,3	0,4	1,3	0,5	0,3	1,4	31,1	9,6	4,3	7,6	1,4	5,5	0,6	21,4	0,6	0,3	0,2	4,7	0,7	0,2	3,1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1	0,7	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	31,7
Schip nr. 31	26,9	1,9	1,3	1,4	1,0	1,6	1,1	1,3	2,2	1,2	1,9	1,4	0,9	16,4	0,7	1,8	1,8	7,3	1,3	0,6	0,7	1,0	1,4	1,0	1,4	8,0	1,3	1,5	2,4	0,9	0,0	0,9	2,0	0,7	0,7	1,0	0,9	0,0	33,6
Schip nr. 32	18,1	0,7	0,4	0,9	0,5	1,0	12,1	1,5	7,1	1,6	1,6	1,7	0,7	1,7	1,0	2,2	2,1	1,4	3,7	1,1	0,7	0,4	0,9	0,4	0,4	0,8	0,8	0,7	1,2	0,9	4,5	0,9	1,2	0,0	23,0	1,2	0,9	0,0	44,9
Schip nr. 33	11,3	1,2	3,7	3,6	5,4	5,5	2,7	3,2	12,1	13,8	2,7	13,5	3,3	2,0	0,6	1,0	2,4	0,3	0,4	0,1	0,1	0,2	7,7	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	0,4	0,3	0,2	0,0	24,8
Gemiddelde	17,7	3,1	2,1	3,3	3,2	4,7	3,2	3,0	3,9	3,6	3,5	4,1	3,0	3,0	1,7	4,4	1,2	2,8	1,9	1,5	3,3	2,3	1,5	1,4	1,1	2,0	1,0	1,7	1,3	1,6	1,3	1,3	0,9	1,1	1,7	0,7	0,9	0,0	32,5
Stand.deviatie	12,3	3,4	2,1	3,8	3,9	6,5	5,0	2,5	5,9	3,5	3,3	6,0	3,0	3,1	2,0	6,6	0,9	3,3	1,8	1,9	5,4	3,1	1,5	1,6	0,9	2,4	0,8	3,0	1,5	1,4	1,9	2,1	1,7	1,3	4,0	0,7	0,9	0,0	10,1
Maximum	69,6	17,3	9,3	18,2	15,9	26,1	27,0	10,3	31,1	13,8	18,0	30,1	11,5	16,4	10,1																								



Figuur 33 – Grafische weergave van gemiddelde en standaarddeviatie van de verdelingen van het vermogensgebruik gebaseerd op positedata van 33 schepen van de marine Traffic website.



Figuur 34 - Grafische weergave van gemiddelde, standaarddeviatie en maximum waarde van de verdelingen van het vermogensgebruik gebaseerd op positedata van 33 schepen van de marine Traffic website.