

## BIJLAGE 2

Retouradres: Postbus 155, 2600 AD Delft

Royal Haskoning  
Businessgroep Industrial Sustainability  
Divisie Milieu  
T.a.v. dr. I. Thonon  
Postbus 8520  
3009 AM ROTTERDAM

### Onderwerp

CO<sub>2</sub> injectie P-18A: onderwatergeluid afstraling.

### Auteur

Ir. L.J. van Lier

## 1. Introductie

Op het offshore platform P-18A vindt momenteel productie van aardgas plaats. In de toekomst worden lege gasputten nabij dit platform gebruikt voor de injectie van CO<sub>2</sub>. Voor die injectie is extra infrastructuur nodig die kan leiden tot aanvullende geluidafstraling. Dit memorandum bespreekt de effecten van de geluidafstraling onder water. De rekenmodellen die gebruikt worden voor de bepaling van de geluidafstraling hebben een beperkte nauwkeurigheid. Bovendien is de onzekerheid in de input data aanzienlijk. Daarom is gekozen voor een relatieve vergelijking, waarbij de geluidafstraling ten gevolge van de toekomstige CO<sub>2</sub> injectie wordt vergeleken met de geluid afstraling ten gevolge van de huidige aardgas productie.

De belangrijkste geluidsbron is de turbulente stroming in de CO<sub>2</sub> riser naar P-18A en de aardgas risers van P-18A naar P-15. Alternatieve bronnen, zoals klepgeluid en stromings-geïnduceerd geluid aan T-stukken en gesloten zijtakken, worden niet in beschouwing genomen. Klepgeluid voor de CO<sub>2</sub> injectie is niet relevant, omdat de piping stroomafwaarts van de regelklep zeer sterk isolerend werkt en niet afstraalt naar het water. Voor de voorspelling van geluid aan T-stukken is meer informatie met betrekking tot de routing op het platform nodig. Overigens geven de lage stroomsnelheden van het CO<sub>2</sub> geen aanleiding om sterke stromings-geïnduceerde bronnen te verwachten.

Verder nemen we aan dat de geluidafstraling van de geïsoleerde CO<sub>2</sub> leiding onder de zeebodem verwaarloosbaar is. Daarom is alleen de geluidafstraling van de risers relevant.

### TNO

Stieltjesweg 1  
2628 CK Delft

Postbus 155  
2600 AD Delft

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

T +31 88 866 20 00

F +31 88 866 06 30

[Infodesk@tno.nl](mailto:Infodesk@tno.nl)

### Datum

5 april 2011

### Onze referentie

TNO-MEM-2011-00560

### E-mail

[dick.kaptein@tno.nl](mailto:dick.kaptein@tno.nl)

### Doorkiesnummer

+31 88 86 68003

### Doorkiesfax

+31 88 866 06 30

### Projectnummer

052.01027

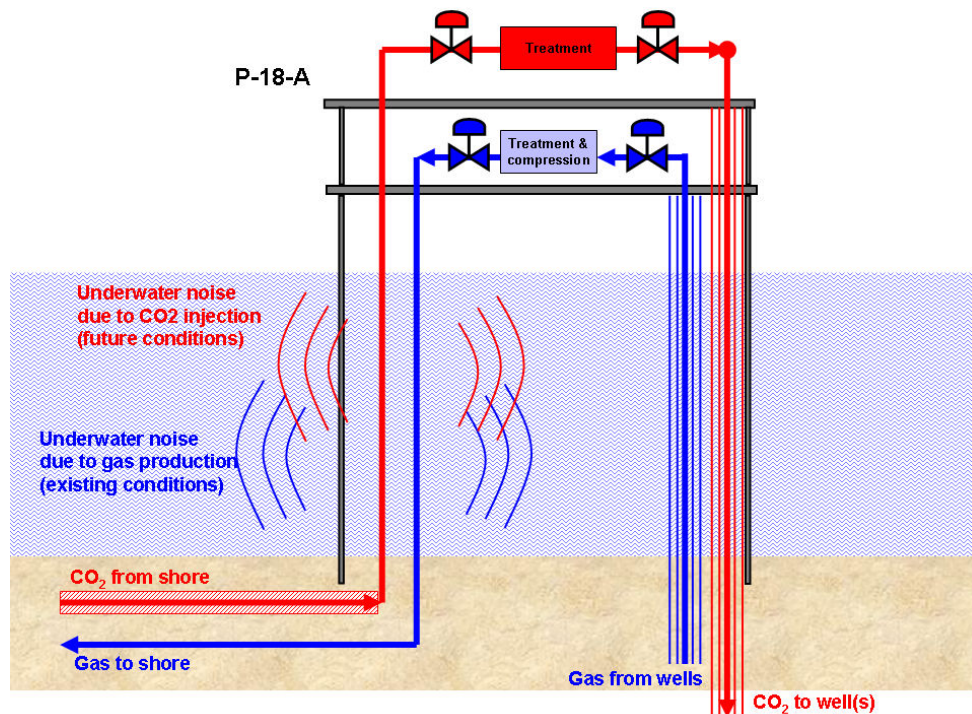
Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op [www.tno.nl](http://www.tno.nl).  
Op verzoeken zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655 .

Datum  
5 april 2011

Onze referentie  
TNO-MEM-2011-000560

Blad  
2/9



Figuur 1 Overzicht geluid bronnen.

## 2. Input gegevens voor het rekenmodel

De gebruikte riser data is gegeven in **Tabel 1**.

Tabel 1 Riser gegevens

|  |  |
|--|--|
| Aantal risers (CO <sub>2</sub> )                   | 1 upstream, meerdere downstream (injectie putten). |
| Riser lengte                                       | 20 m   |
| CO <sub>2</sub> Riser buitendiameter <sup>1)</sup> | 406.4 mm (16")                                     |
| CO <sub>2</sub> Riser wanddikte <sup>1)</sup>      | 20 mm  |
| Aantal risers (aardgas productie)                  | 5 upstream (productie putten), 1 downstream        |
| Riser lengte                                       | 20   |
| Aardgas riser buitendiameter <sup>2)</sup>         | 406.4 (16")  |
| Aardgas riser wanddikte <sup>2)</sup>              | 20 mm  |

- 1) Deze gegevens betreffen de upstream riser van CO<sub>2</sub> injectie: de downstream risers zijn meervoudig concentrisch geplaatste buizen, gevuld met een mengsel van water en olie. Deze geven een zeer sterke isolatie van geluid en worden daarom buiten beschouwing gelaten.
- 2) Deze gegevens betreffen de downstream riser van aardgas productie: de upstream risers zijn meervoudig concentrisch geplaatste buizen, gevuld met een mengsel van water en olie. Deze geven een zeer sterke isolatie van geluid en worden buiten beschouwing gelaten.

In de vergelijkende analyse zijn voor 4 injectie scenario's gedefinieerd (**Tabel 2**). Deze zijn gebaseerd op de maximale injectie rate met een variatie in pijpleiding druk en temperatuur. Voor de productie cases (Tabel 3) is gebruik gemaakt van de productie data van de afgelopen 4 jaar.

**Datum**  
5 april 2011

**Onze referentie**  
TNO-MEM-2011-000560

**Blad**  
3/9

De 5<sup>e</sup> case is gebaseerd op de maximale productie (1998). Voor deze case is wel aangenomen dat de pijpleiding druk nog steeds de maximale druk van 120 bar was.

*Tabel 2 CO2 injectie cases.*

| Case | Flow [kg/s] | P <sub>up</sub> [bar] | T <sub>up</sub> [°C] |
|------|-------------|-----------------------|----------------------|
| C1   | 47          | 67                    | 59                   |
| C2   | 47          | 67                    | 46                   |
| C3   | 47          | 125                   | 59                   |
| C4   | 47          | 125                   | 46                   |

*Tabel 3 Aardgas productie cases. Cases G1-G4 zijn de productie van de laatste 4 jaren 2006-2009. Case G5 is de maximale gas productie, die optrad in 1998.*

| Case | Flow [kg/s] | P <sub>down</sub> [bar] | T <sub>down</sub> [°C] |
|------|-------------|-------------------------|------------------------|
| G1   | 19.3        | 27                      | 10                     |
| G2   | 10.9        | 25                      | 10                     |
| G3   | 8.4         | 24                      | 10                     |
| G4   | 6.0         | 20                      | 10                     |
| G5   | 102         | 120                     | 10                     |

De aardgas productie gegevens zijn afkomstig uit de TNO database

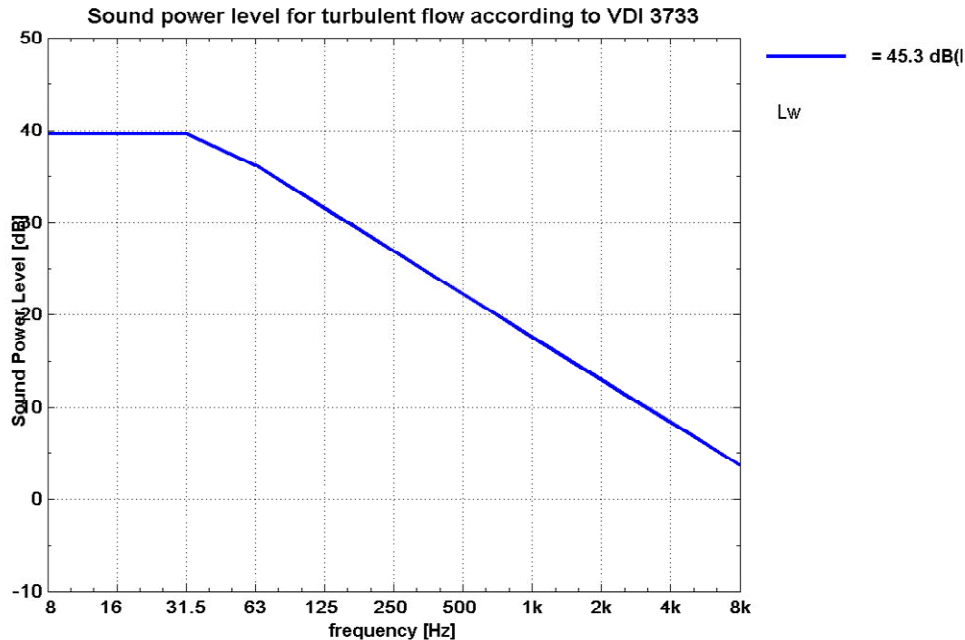
### **3. Afgestraald geluid ten gevolge van turbulente stroming**

De turbulentie van de stroming in de leiding leidt tot een breedbandig geluidsspectrum in de leiding. De standaard VDI 3733- "Noise at Pipes" geeft een empirische uitdrukking voor het totale geluidvermogen in leiding [1]. Deze standaard geeft ook een richtlijn voor de spectrale verdeling van het geluid in octaafbanden. Belangrijke parameters zijn o.a. de dichtheid en de stroomsnelheid in de leiding. Een typisch resultaat is weergegeven in **Figuur 2** (geluidvermogen in de CO<sub>2</sub> injectie piping stroomopwaarts van het platform, bij P=67 bar, T=46°C).

Datum  
5 april 2011

Onze referentie  
TNO-MEM-2011-000560

Blad  
4/9



Figuur 2 Typisch spectrum van het intern stromingsgeluidvermogen.

Het geluidvermogen in de leiding valt af met  $\sim 5$ dB per octaaf. Voor lagere frequenties is het geluidvermogen constant. Het omslagpunt ligt bij  $f \sim 12.5 \cdot U$ , met  $U$  de gas snelheid in m/s.

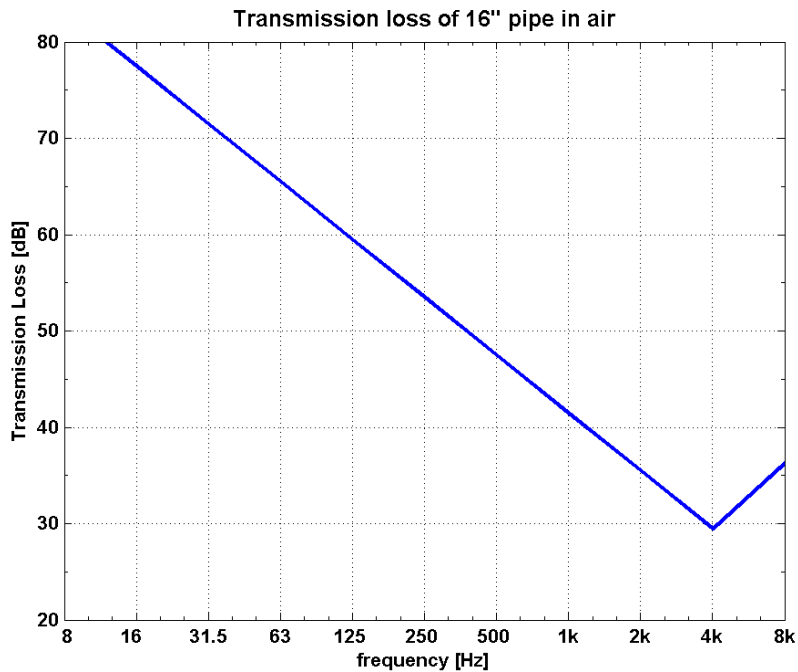
#### 4. Overdracht door de buiswand

Het interne geluidvermogen wordt door de buiswand afgeschermd. De overdracht van het geluid door de buiswand hangt af van de eigenschappen van de buis en het gas en is sterk frequentie-afhankelijk. VDI 3733 geeft een empirische relatie voor de overdracht van geluid in de leiding naar afgestraald geluid naar de omgeving, voor een enkelvoudige buis in lucht (voor een buis in water is een extra correctie nodig). **Figuur 3** geeft een typisch voorbeeld van de overdracht door de buiswand. De buiswand schermt het laagfrequente geluid zeer efficiënt af, terwijl de buis bij hogere frequenties meer 'transparant' wordt.

**Datum**  
5 april 2011

**Onze referentie**  
TNO-MEM-2011-000560

**Blad**  
5/9



*Figuur 3* Typisch spectrum van de geluidoverdracht door een pijpwand.

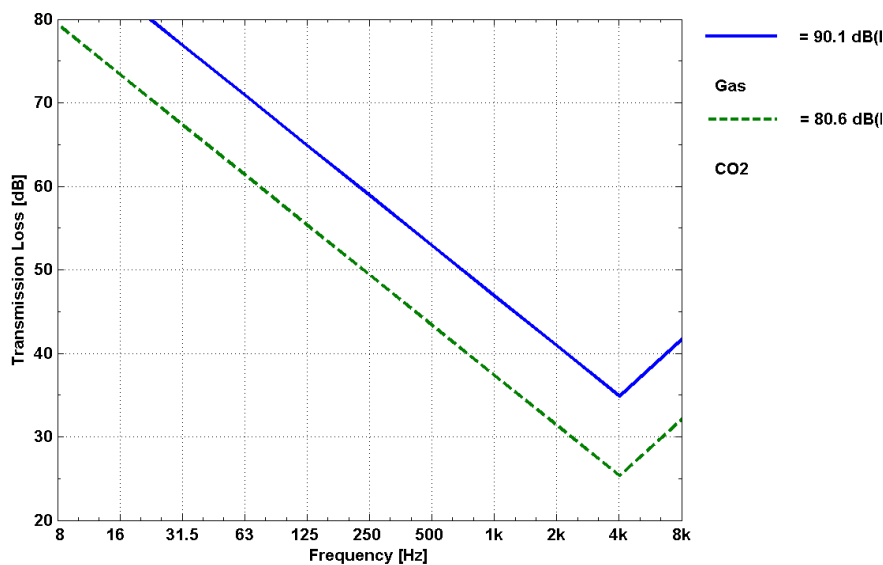
Op het P-18A platform is de buiswand van de upstream aardgasproductieputten niet enkelvoudig, maar bestaat uit een complex van vier concentrisch geplaatste casings and tubings. De binnenste annulus is gevuld met gas/CO<sub>2</sub>, de overige met water/olie. Als eerste orde benadering kan de som van de individuele overdrachten worden gebruikt, het geen resulteert in een extreem goede afscherming van het geluid. Hetzelfde geldt voor de downstream CO<sub>2</sub> injectie putten. Derhalve kan worden volstaan met de analyse van de upstream CO<sub>2</sub> injectie riser en de downstream aardgasproductie riser.

**Figuur 4** geeft de gemiddelde waarden van de overdracht door de pijpwand voor CO<sub>2</sub> en aardgas. De afscherming door de buis is in het geval van aardgas sterker dan in het geval van CO<sub>2</sub>, veroorzaakt door het relatief grote verschil in dichtheid tussen gas en staal. De gemiddelde afscherming van geluid in de aardgasriser is 10 dB hoger dan voor CO<sub>2</sub>.

Datum  
5 april 2011

Onze referentie  
TNO-MEM-2011-000560

Blad  
6/9

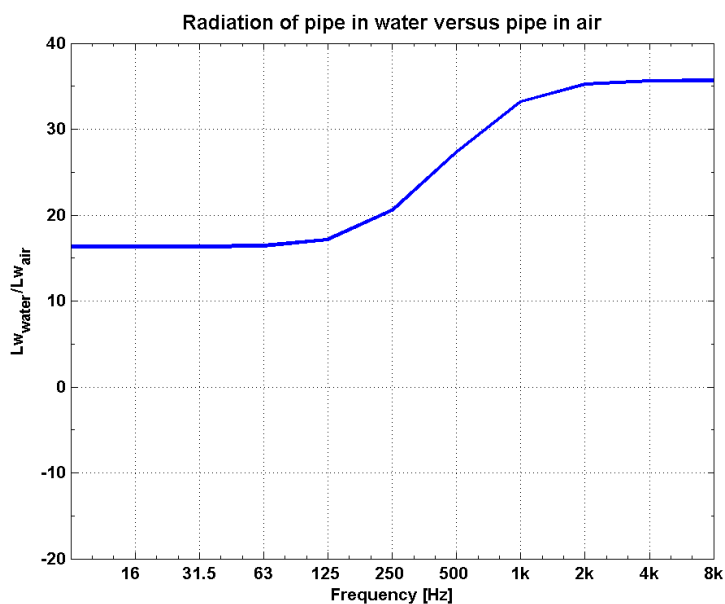


Figuur 4 Overdracht door de buiswand, voor gas productie riser en CO2 injectie riser.

## 5. Afgestraald onderwater geluid

Het bovengenoemde model voor afgestraald geluidvermogen is toepasbaar op pijpen in lucht. Voor de afstraling naar water dient een correctie te worden meegenomen. In het algemeen zal de geluidafstraling naar water efficiënter zijn dan naar lucht. De precieze verhouding is afhankelijk van de frequentie.

**Figuur 5** geeft een voorbeeld; bij lage frequenties is de correctie van een afstralende pijp in water ongeveer 16 dB. Bij hoge frequenties is de correctie van een afstralende pijp in water ongeveer 36 dB.



Figuur 5 Afgestraald vermogen van een pijp in water ten opzichte van een pijp in lucht [1].

## 6. Resultaten

De geluidvermogens in de leiding ( $L_{wi}$ ), uitgedrukt in dB re 1pW (1 picowatt), ten gevolge van stromingsgeluid, voor de CO<sub>2</sub> injectie (4 cases) zijn hieronder weergegeven (**Tabel 4**). Hieruit is het afgestraalde geluidvermogen van de risers naar het water ( $L_{wo}$ ) berekend, rekening houdend met de overdracht door de buiswand (**Figuur 4**), de correctie voor afstraling naar water (**Figuur 5**) en een waterdiepte van 20 meter. Merk op dat het hier gaat om het geluidvermogen, niet om het geluiddrukkniveau. De relatie tussen beide komt later aan de orde.

*Tabel 4 Resultaten voor geluidafstraling voor CO<sub>2</sub> injectie.*

| Case | $L_{wi}$ [dB re 1pW] | $L_{wo}$ [dB re 1pW] |
|------|----------------------|----------------------|
| C1   | 45                   | 41                   |
| C2   | 41                   | 34                   |
| C3   | 12                   | 8                    |
| C4   | 5                    | 2                    |

Dezelfde gegevens ten gevolge van stromingsgeluid door de gasproductie zijn gegeven in **Tabel 5**.

*Tabel 5 Resultaten voor geluidafstraling voor gas productie.*

| Case | $L_{wi}$ [dB re 1pW] | $L_{wo}$ [dB re 1pW] |
|------|----------------------|----------------------|
| G1   | 61                   | 57                   |
| G2   | 48                   | 41                   |
| G3   | 42                   | 34                   |
| G4   | 38                   | 27                   |
| G5   | 72                   | 75                   |

De maximale geluidproductie voor CO<sub>2</sub> injectie is 16 dB lager dan de geluid afstraling door de aardgas productie in 2006-2009. In vergelijking met de maximale aardgasproductie (in 1998) is de afstraling door CO<sub>2</sub> injectie zelfs 34 dB lager.

Het afgestraalde geluid is breedbandig van karakter en heeft een maximum rond 4 kHz.

Om het afgestraalde geluidvermogen om te rekenen naar geluiddrukkniveaus hanteren we een simpele vuistregel. Dit omdat het in eerste instantie om een orde van grootte gaat. Deze regel luidt: een bronniveau (SL) van 171 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  komt overeen met een geluidvermogen van 1 W.

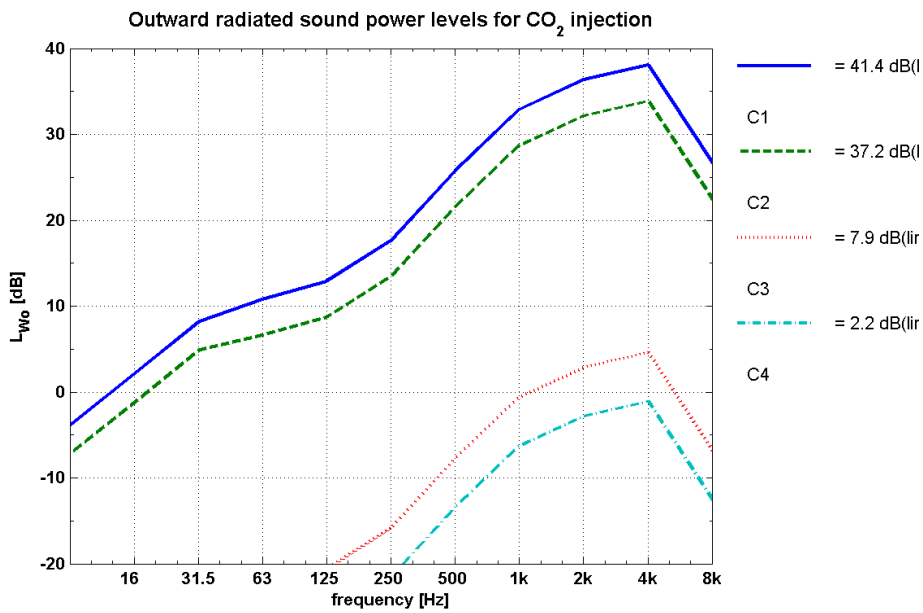
Een geluidvermogniveau van 41 dB re 1 pW komt ongeveer overeen met een geluidvermogen van  $10^{-8}$  W. De vuistregel geeft nu aan dat dit overeenkomt met een geluiddrukkniveau van ongeveer 91 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$ . Dit is een laag getal dat niet leidt tot TTS bij de bruinvis.

Ook het geluid bij de top-gasproductie van destijds, geluidvermogen 75 dB re 1 pW, ofwel een geluiddrukkniveau van grofweg 125 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  leidt niet tot een TTS niveau.

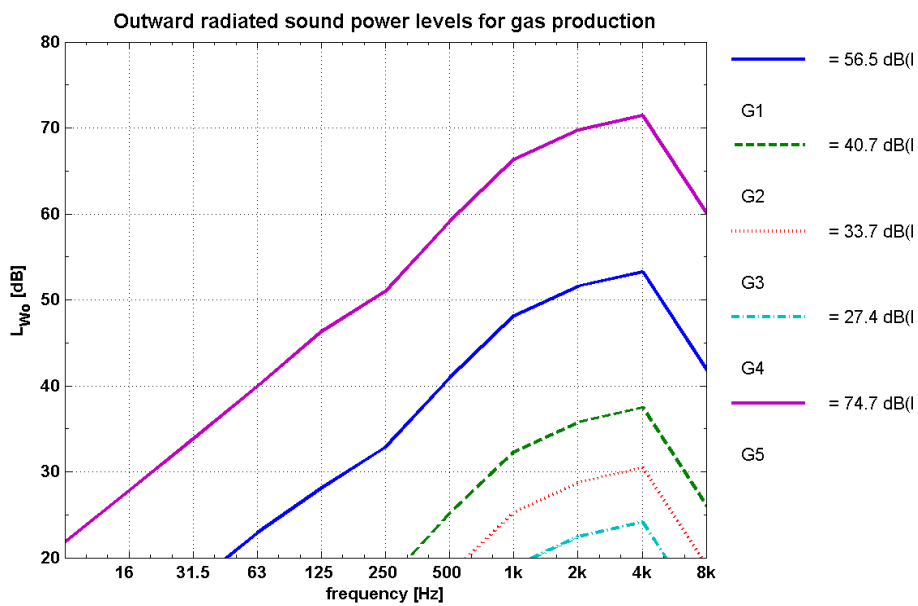
**Datum**  
5 april 2011

**Onze referentie**  
TNO-MEM-2011-000560

**Blad**  
8/9



Figuur 6 Afgestraald geluid als functie van frequentie voor de CO<sub>2</sub> injectie scenario's.



Figuur 7 Afgestraald geluid als functie van frequentie voor de aardgasproductie scenario's.



**Datum**

5 april 2011

**Onze referentie**

TNO-MEM-2011-000560

**Blad**

9/9

## **7. Conclusies**

Het afgestraalde onderwatergeluid ten gevolge van stromingsgeluid door de CO<sub>2</sub> injectie ligt voor de meeste scenario's op een lager niveau dan de geluidafstraling ten gevolge van de aardgasproductie in de jaren 2006-2009, en beduidend onder het geluidniveau veroorzaakt tijdens de top aardgasproductie in de beginjaren van de gaswinning. In geen van de gevallen (CO<sub>2</sub> en aardgas) bereikt het stromingsgeluid het TTS niveau. Voor zowel de productie- als de injectiescenario's ligt het maximum van het afgestraalde spectrum rond 4kHz.

## **8. Referentie**

[1] VDI 3733 "Noise at pipes", July 1996